

Research Paper

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

Seyed Reza Mousavi^{1*}, Monire Mahmoudi Holasoo², Mehdi Shah Mohammad³, Samira Heydari⁴

¹Master of Geomorphology, Noor Azad University

²Master's student of regional planning at Gilan University

³Master's Degree in Geography and Urban Planning - Urban Planning from Shahid Beheshti University, Tehran

⁴Master'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

ABSTRACT

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 Addresses: 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](https://doi.org/10.22034/el.2023.424611.1017)

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

سید رضا موسوی^{۱*}، منیره محمودی هولاسو^۲، مهدی شاه محمد^۳، سمیرا حیدری^۴

کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد نور

دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای دانشگاه گیلان

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

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

مدرس

واژگان کلیدی

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

چکیده

پراکنده رویی شهری، یک نگرانی فشرده برای توسعه پایدار شهری، چالش‌های قابل توجهی را برای کاهش ردپای کربن در محیط‌های شهری ایجاد می‌کند. این مطالعه به پویایی‌های پیچیده پراکنده رویی شهری در شهر ارومیه می‌پردازد و تبعات آن بر انتشار کربن شهر را بررسی می‌کند. این پژوهش هدف پر کردن یک شکاف دانش حیاتی را دارد؛ از طریق تحلیل عوامل فضایی تعیین‌کننده پایداری زیست محیطی و ارائه بینش‌هایی درباره رابطه بین الگوهای پراکنده رویی شهری و شاخص‌های شهر کم کربن. با بهره‌گیری از یک چارچوب روش‌شناختی جامع، این مطالعه تحلیل توصیفی، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، تکنیک ترجیح سفارش بر اساس شباهت به راه حل ایده آل (TOPSIS) و رگرسیون جغرافیایی وزنی چندمقیاسه (MGWR) را ترکیب می‌کند. داده‌های سرشماری جمعیت و مسکن ۱۳۹۵ و داده‌های GIS طرح تفصیلی شهر ارومیه، پایه‌ای برای بررسی توزیع جمعیت، الگوهای کاربری اراضی و شاخص‌های انتشار کربن در میان محله‌های شهر را فراهم می‌کنند. این رویکرد، بررسی دقیق توزیع فضایی پراکنده رویی شهری و تبعات زیست محیطی آن را با تمرکز ویژه بر نقش شکل شهری و تراکم در شکل دادن به روندهای انتشار کربن، تسهیل می‌کند. یافته‌ها، طیف متنوعی از تراکم‌های شهری و الگوهای کاربری اراضی را در سراسر ارومیه آشکار می‌سازد. این پژوهش نقش حیاتی تراکم خالص و ناخالص جمعیت را به عنوان عوامل کلیدی مؤثر بر ردپای کربن شهری برجسته می‌سازد. کاربرد مدل‌های AHP و TOPSIS، درجات متفاوت پراکنده رویی شهری را شناسایی می‌کند که چالش‌های زیست محیطی ناشی از گسترش حومه‌ای را خاطرنشان می‌سازد. علاوه بر این، بینش‌های حاصل از مدل MGWR تأثیر قابل توجه شکل شهری بر پایداری زیست محیطی را برجسته می‌کند و رابطه فضایی میان پراکنده رویی شهری و انتشار کربن را تأیید می‌نماید. در نتیجه، این مطالعه تأیید می‌کند که پراکنده رویی شهری تأثیر قابل توجهی بر شاخص‌های شهر کم کربن در ارومیه دارد و نشان می‌دهد که مناطق شهری پرتراکم ممکن است راه حل‌های جالب‌قوه‌ای برای کاهش انتشار کربن ارائه دهند. این یافته‌ها، لزوم برنامه‌ریزی شهری و سیاستگذاری راهبردی را که بر تراکم و دسترسی برای ارتقای پایداری زیست محیطی تأکید می‌کنند، خاطرنشان می‌سازد. این مطالعه برای تحقیقات مستمر در مورد تعامل پویای شکل شهری و انتشار کربن استدلال می‌کند و رویکرد یکپارچه‌ای را برای توسعه شهری که اهداف رشد کم کربن را پشتیبانی می‌کند، پیشنهاد می‌دهد. تحقیقات آینده باید دامنه متغیرها را گسترش دهد و از روش‌های تحلیلی متنوع برای غنی‌سازی درک ما از تأثیرات پیچیده پراکنده رویی شهری استفاده کند.

۱. مقدمه

شهرنشینی بیش از هر زمانی، الگوی بنیادین زندگی اجتماعی نوین شده است و به مجموعه‌ای از آمیزش عوامل طبیعی، اجتماعی و محیط ساخته شده انسانی بدل شده که یک نظام اجتماعی، اقتصادی و محیطی پیچیده را شکل داده است. شهرها در بستر زیست خود پیوسته رو به رشد و دگرذیسی و گسترش فضایی هستند که این رشد بیشتر در گونه‌های توسعه میان افزا (آروین و همکاران، ۱۳۹۶)، توسعه پیوسته و توسعه شهری گسسته نمود یافته است. رشد جمعیت شهرها در شهرهای بزرگ، فرصت‌ها و چالش‌های عظیمی را برای توسعه پایدار و آینده کشورها ایجاد می‌کند و حدود ۹۰ درصد آن در آسیا و آفریقا اتفاق افتاده که همراه با توسعه اقتصادی منجر به گسترش سریع شهر می‌شود (ترفا و همکاران^۱، 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 (زانگ و همکاران^۲، ۲۰۱۷) که این دگرگونی‌ها 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 می‌گذارند (زنگ و همکاران^۳، 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^۴، ۲۰۱۸). جنبه ی مثبت پراکنده روی شهری این امکان را به مردم داده است که به دور از مرکز شهر، به مناطق ارزان قیمت دسترسی پیدا کنند (پراکاسا و همکاران^۵، 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^۶، ۲۰۱۹)، از دست رفتن مستقیم زمین های کشاورزی و افزایش شدت بهره برداری از اراضی کشاورزی (کائو و همکاران^۷، 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 روی 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 پراکنده روی شهری تاثیر مستقیم بر افزایش گازهای گلخانه ای و افزایش سطح کربن دارد.

- از میان شاخص های پراکنده روی شهری شاخص دسترسی بیشترین تاثیر را بر افزایش گازهای گلخانه ای 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 مدل سازی های فضایی و رویکردهای تصمیم گیری 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 ۱۰۷۳ درصد از منطقه ناپایدار بود.

یانگزی و همکاران^۱ (۲۰۲۲) در تحقیقی ویژگی های مکانی-زمانی و عوامل مؤثر بر کارایی تاب آوری 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 می دهد که کل مصرف برق و مساحت زمین جهت ساخت و ساز، همبستگی قابل توجهی با تاب آوری 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-TOPSIS برآورد 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.

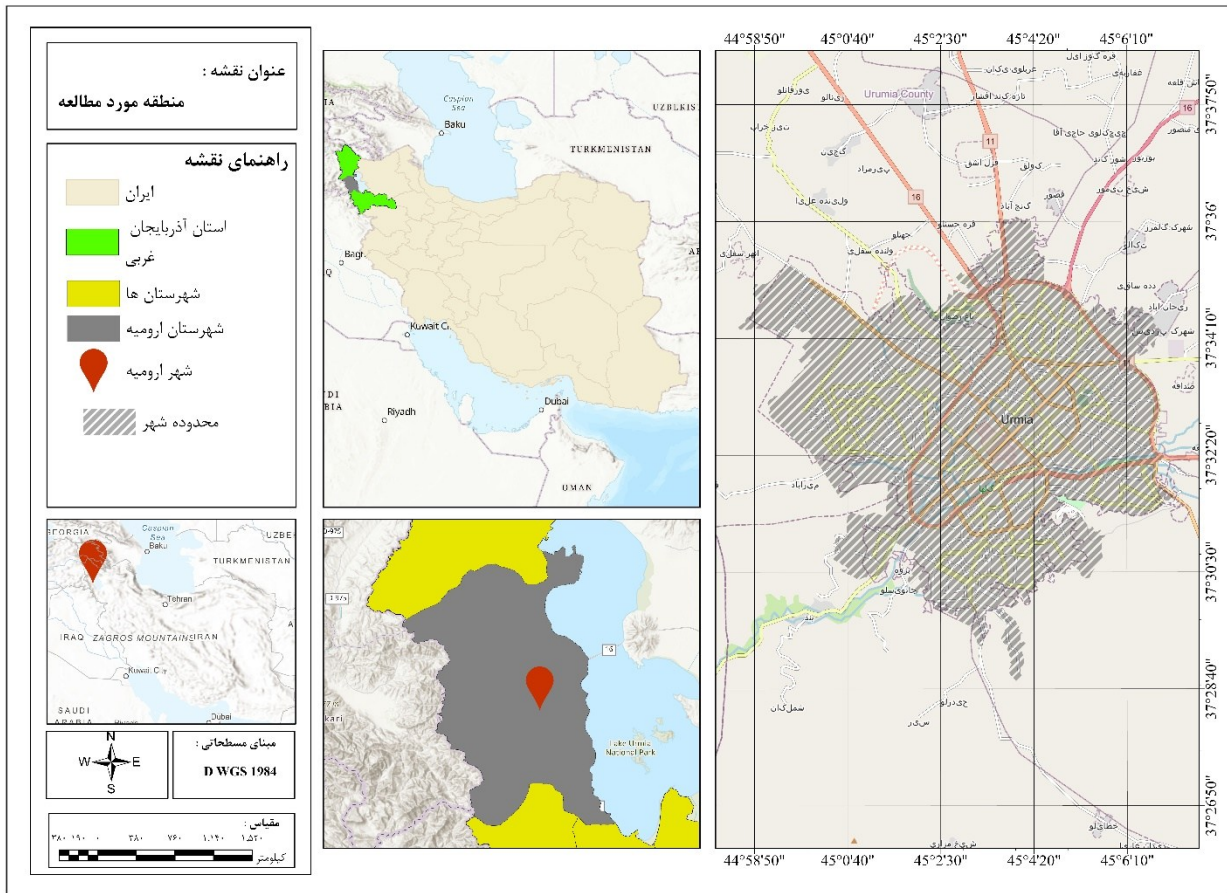
نامور و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی الگوهای مدیریت رشد شهری در کلان شهر شیراز را با استفاده از مدل AHP-TOPSIS بررسی کردند. نتایج نشان می دهد که سیاستهای بیرونی مدیریت رشد به علت تاثیر کلان و گستردگی مساحت تحت تاثیر به طور کل از اولویت بالاتری برای مدیریت شهری برخوردار است. مانند: ایجاد کمربند سبز شهری، 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 تاثیرگذارترین 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 تاثیر 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 SAW و Topsis و ضریب چولگی پیرسون پرداختند.

۳. منطقه مورد مطالعه

شهر ارومیه، مرکز شهرستان ارومیه و مرکز استان آذربایجان غربی است که در فاصله ۲۰ کیلومتری غرب دریاچه ارومیه، درون جلگه ای به طول ۹۰ کیلومتر و عرض ۳۰ کیلومتر قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی این شهر بین ۹۹ درجه و ۱ دقیقه تا ۹۱ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و ۳۹ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی، در شمال غرب ایران میباشد (شکل ۱). 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 منطقه ارومیه گسستگی های زیادی وجود دارد، که گسترش آنها در نواحی کوهستانی غربی و پهنه میانی این منطقه زیاد است (نصیری، ۱۳۹۵).

^۱ 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 روی 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 روی 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 عرصه های گسترده حومه ای را به تصویر می کشد. علاوه بر این، تراکم خالص جمعیت (NPD) با حذف مناطق غیرمسکونی، این تنوع را برجسته می کند و محدوده ای از ۰.۴۳ تا ۱۲۸۶.۶۲ نفر در هر هکتار را آشکار می سازد.

حدود ۳۷ درصد از محله ها سطوح تراکم متوسطی را نشان می دهند، با ارقام GPD بین ۷۸.۵۹ تا ۱۱۴.۴ نفر در هر هکتار که نمادی از تعادل بین پر جنب و جوش شهری و آرامش حومه ای است. در مقابل، حدود ۳۱ درصد از محله ها تراکم پایین تر مشخصه گسترش حومه ای را نشان می دهند. 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 نشان دهنده موارد پراکنده گسترش حومه ای 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 بخش های عمده ای از محله های ارومیه را برجسته می سازد.

۵-۱-۳. کاربری اراضی و الگوهای مسکونی

کاربری اراضی مسکونی در ارومیه دوگانگی ظریفی را ارائه می کند که از گسترده های کم تراکم حومه ای تا تنگناهای شهری پر جمعیت را در بر می گیرد. 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 می دهد که در آن توسعه مسکونی اندک در مناطق حومه ای و ساخت وسازهای گسترده در مناطق شهری در هم آمیخته شده اند. علاوه بر این، ابعاد قطعات مسکونی تنوع قابل توجهی را آشکار می سازد؛ متوسط اندازه پلاک های زمین مسکونی (ASRL) از ۹۲.۵۴ متر مربع تا ۲۳۵۴.۸۰ متر مربع گسترده است و میانگین آن ۲۶۰۰.۴ متر مربع است. این تنوع نشان می دهد که ترجیح غالب در بیش از ۹۱ درصد محله ها، مسکن با اندازه زمین مسکونی زیر ۳۲۶ متر مربع است، هر چند وجود مناطقی با قطعات بسیار بزرگ تر که نشانگر توسعه کم تراکم و سبک حومه ای 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 می سازد و الگوهای توسعه شهری را روشن می کند. به طور چشمگیری، میانگین ۹۶.۸۵ درصد از جمعیت در شعاع ۲۰۰ متری کاربری های تجاری زندگی می کنند که بیانگر دسترسی بالایی در حدود ۸۷ درصد از محله ها است و منظره شهری چندمنظوره را تقویت می کند که نیاز به رفت و آمدهای طولانی را کاهش می دهد.

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.

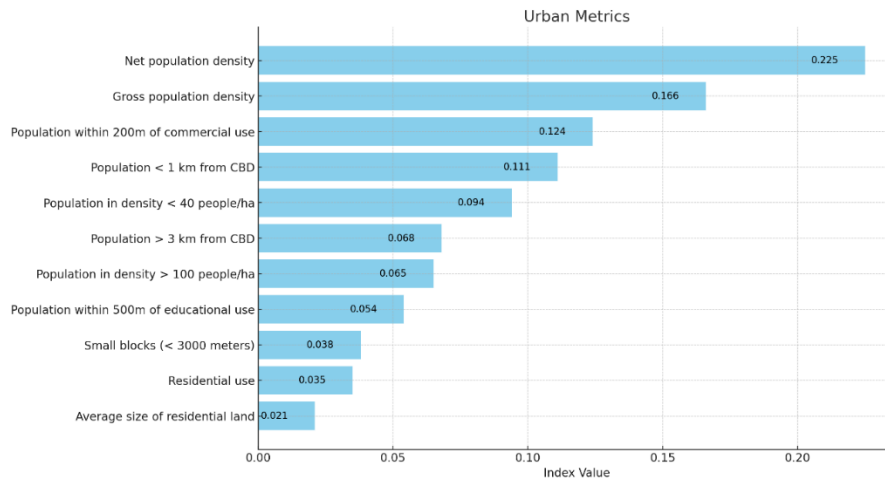
۵-۱-۵. ریخت شناسی شهری و انتشار کربن

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.

۵-۱-۶. تعیین اهمیت شاخص‌ها

روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) امکان کمی‌سازی تجربی اهمیت نسبی شاخص‌های 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 می‌کند و اعتبار وزن‌های اخذ شده از طریق یک چارچوب ارزیابی سازگار را تأیید می‌کند. 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 برنامه‌ریزی شهری و پیامدهای زیست محیطی آن را برجسته می‌کند و این فرضیه را مطرح می‌کند که GPD بالا با وابستگی کمتر به وسایل نقلیه و افزایش کارایی حمل و نقل عمومی همراه است و بنابراین می‌تواند انتشار کربن را کاهش دهد. پس از آن، درصد کاربری اراضی مسکونی (PRLU) و تراکم خالص جمعیت (NPD)، با وزن‌های قابل توجه، به عنوان عوامل تعیین‌کننده اصلی ردپای کربن شهری شناسایی شدند که نقش کلیدی توزیع و تراکم جمعیت شهری را در ارزیابی‌های تأثیر زیست محیطی برجسته می‌کند.

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 می‌کند و بر نقش محوری پراکندگی مسکونی در پویایی‌های زیست محیطی شهری تأکید می‌کند. در مقابل، دسترسی نزدیک به امکانات تجاری و آموزشی گفته شد که تأثیر کمتری بر انتشار کربن کلی دارد که نشان‌دهنده تأثیر محلی بر محیط زیست است. با تلفیق این بینش‌ها، تحلیل AHP تغییر جهت راهبردی سیاست‌های توسعه شهری را به سمت ایجاد مناطق سکونت با تراکم بالا ترویج می‌کند و در عین حال روابط پیچیده میان کاربری اراضی، دسترسی و انتشار کربن در چارچوب گسترش شهری را به رسمیت می‌شناسد.



شکل ۲. سطح بندی محلات با مدل Topsis

تراکم جمعیت خالص (NPD) بالا به عنوان ویژگی مثبت مطرح شد، با بالاترین شاخص مثبت ایده‌آل ۰.۰۰۲۸۲۷۸۰۳۷. 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 ایده‌آل مثبت و منفی شاخص‌های شش گانه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. مقدار ایده‌آل مثبت و منفی شاخص‌های 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	PPLT1KM CBD	PPMT3KM CBD	
A+	0.003698	0.01513	0.006593	0	0.01172	
A-	0.003698	0	0.006593	0	0.01172	

مناطق 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 می‌باشد. 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 می‌باشند. 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 ایده آل دارد که نشان دهنده 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 محللات	فاصله با ایده آل مثبت	فاصله با ایده آل منفی	محللات	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 شاخص CLi ، منطقه ۲۲۷ با امتیاز بسیار بالای ۰.۷۱۶۸۹۸۵۰۴ مشخص می شود که این منطقه را می توان 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 ارزش های پایین تری 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. رتبه بندی

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 می‌دهد.

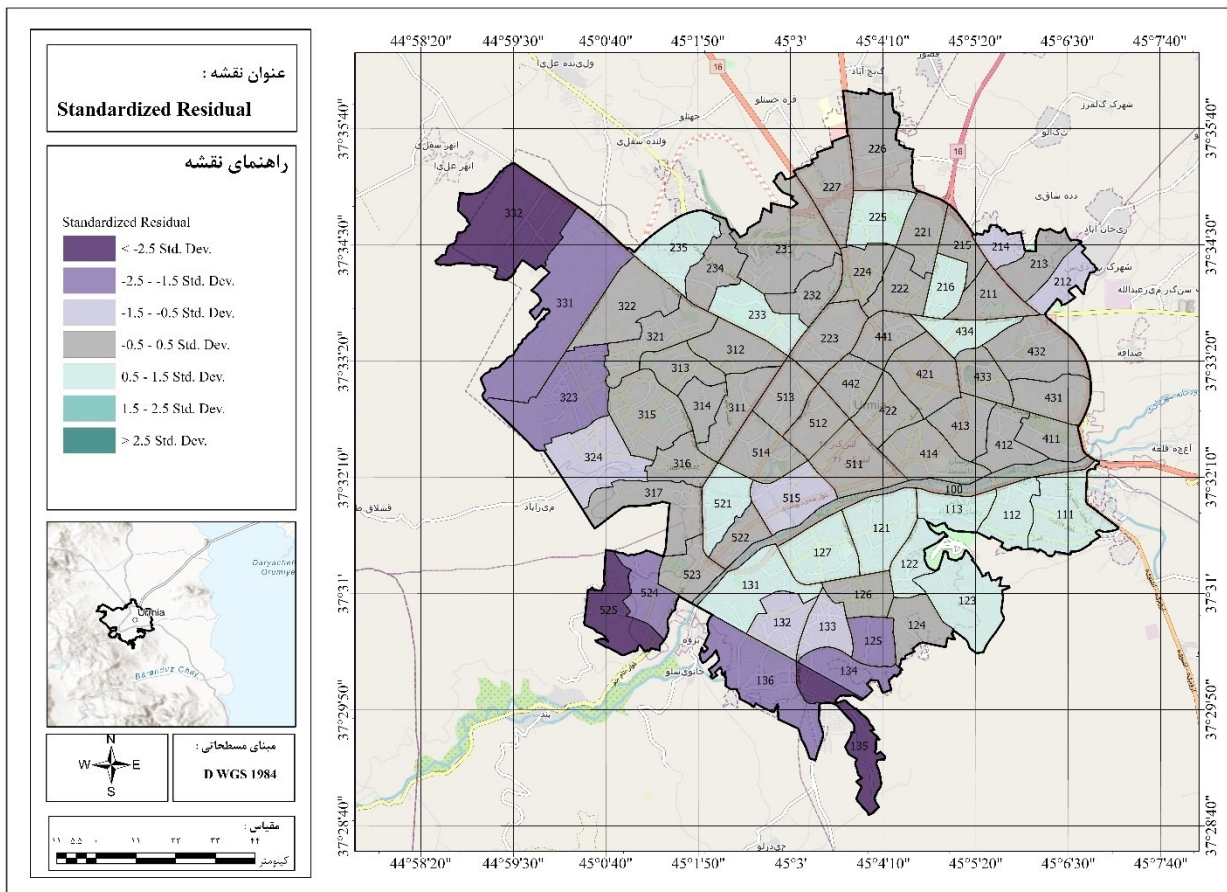
جدول ۳. رتبه بندی پراکنده رویی محلات

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 مقایسه شده (MGWR) امکان بررسی محلی روابط متقابل میان گسترش شهری و روندهای انتشار کربن در میان محله‌های مختلف ارومیه را فراهم کرد. انحراف معیار باقیمانده‌های مدل، که کمی زیر صفر در ۰.۹۶ قرار دارد، به پراکندگی متوسطی از داده‌های کربن در اطراف میانگین پیش بینی شده اشاره می‌کند 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 می‌دهد. دامنه گسترده بین حدهای باقیمانده‌ها، 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 داده‌های پرت یا عوامل نادیده گرفته شده در چارچوب مدل است. با وجود این تنوع، مدل MGWR یک برآورد نسبتاً دقیق از مقادیر کربن در زمینه گسترش شهری ارائه می‌دهد، اگرچه راه‌هایی برای تکمیل و افزایش دقت را پیشنهاد می‌کند، همانطور که در شکل (۳) نمایش داده شده است که باقیمانده‌های استاندارد شده را نشان می‌دهد.

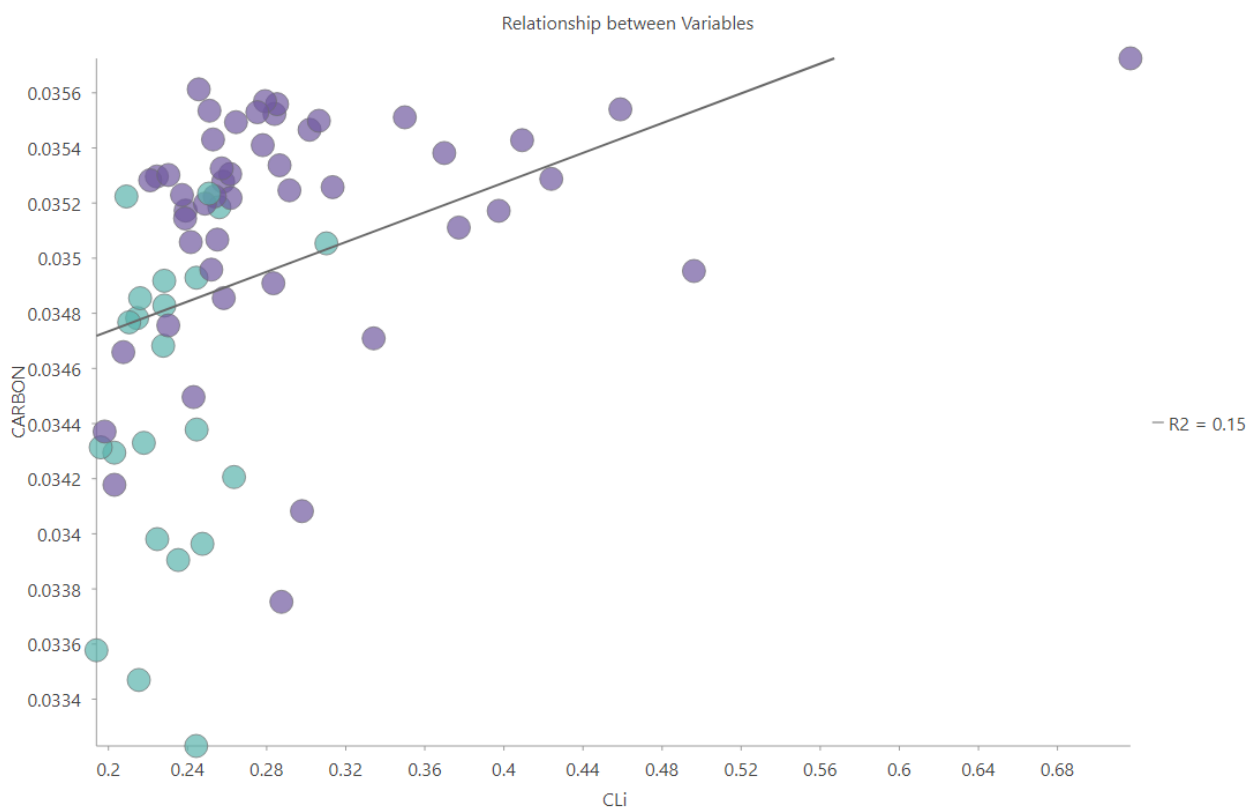


شکل ۳. باقیمانده استاندارد

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 باقیمانده‌های استاندارد شده را روشن می‌کند و نشان می‌دهد که باقیمانده‌ها 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 ایجاد می کند و حاکی از تحریف احتمالی توسط داده های پرت یا ناپهنجاری 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.

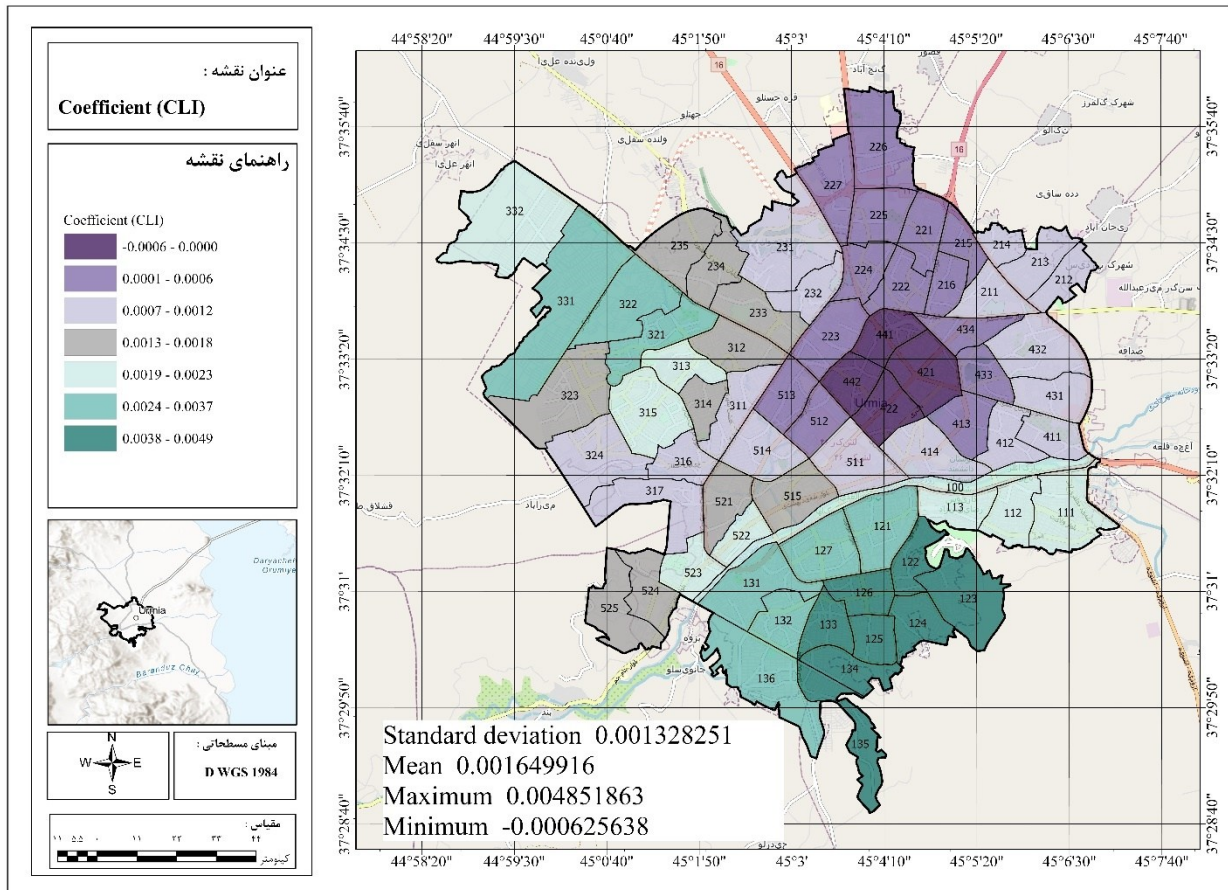


شکل ۴. پیش بینی و باقیمانده استاندارد

در مدلی که تأثیر گسترش شهری بر انتشار کربن را بررسی می کند، ضرایب نقش محوری دارند و قدرت و جهت رابطه بین گسترش شهری که با شاخص پراکندگی بالا نشان داده می شود، و سطوح کربن در محله ها را نشان می دهند. انحراف معیار ضریب، ۰.۰۰۱۳۲۸۲۵۱، معیاری از پراکندگی ارائه می کند و پراکندگی متوسط مقادیر گسترش شهری را در اطراف میانگین نشان می دهد. این انحراف معیار نشان می دهد 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 محله های مورد بررسی را نشان می دهد.

مقدار میانگین ضریب، ۰.۰۰۱۶۴۹۹۱۶، اثر متوسط مثبت را نشان می دهد، که به طور کلی نشان می دهد 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 ۰.۰۰۰۴۸۵۱۸۶۳، تأثیرات متنوع گسترش شهری در محله های مختلف را نشان می دهد: برخی مناطق با گسترش بیشتر، افزایش قابل توجهی در انتشار کربن را تجربه می کنند، 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.

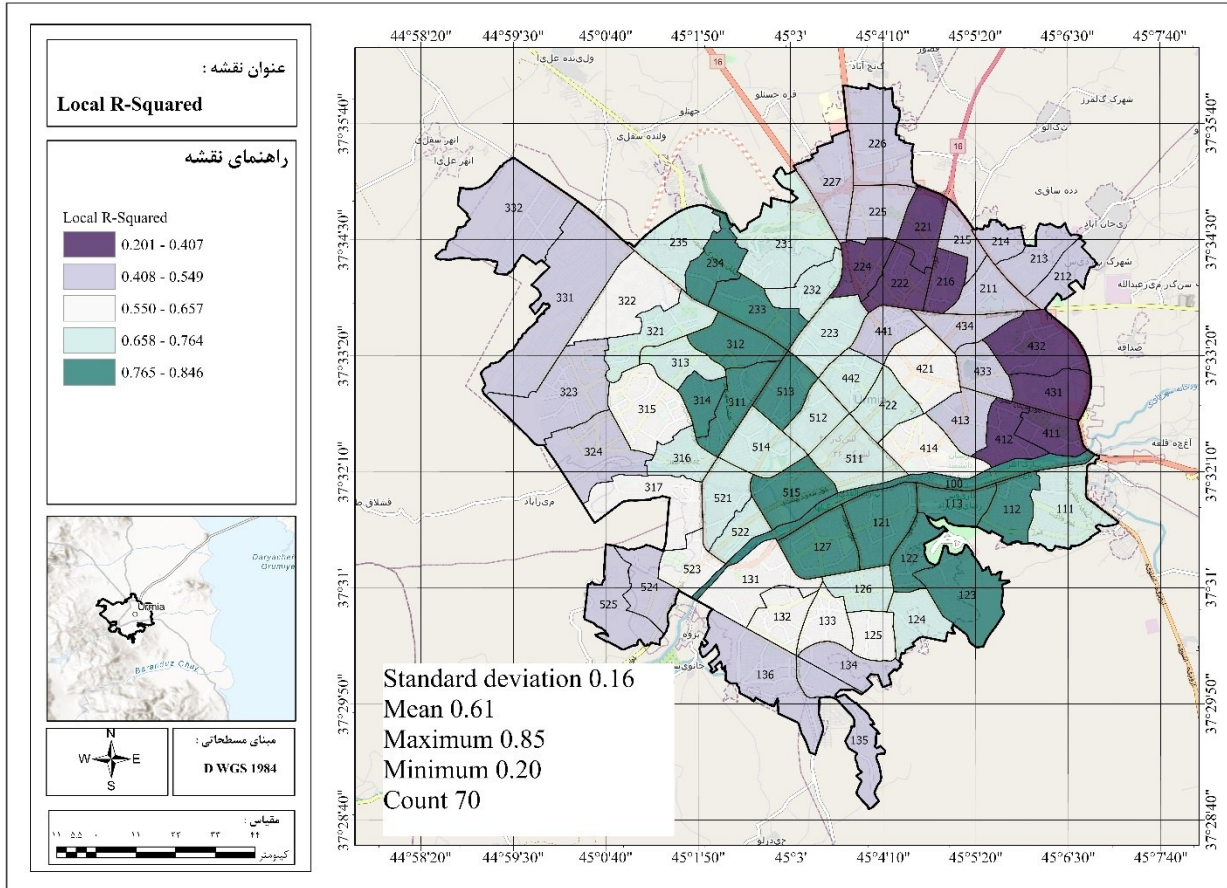


شکل ۵. ضریب (coefficient)

در تحلیل تأثیر گسترش شهری بر شاخص‌های شهر کم کربن در شهر ارومیه، مقادیر R-Squared محلی از مدل MGWR بینش ارزشمندی در مورد میزان برآزش مدل در محله‌های مختلف ارائه می‌دهد. معیار R-Squared محلی، سهم واریانس در متغیر وابسته (مقادیر کربن) را که می‌تواند توسط متغیر مستقل (گسترش شهری یا شاخص پراکندگی) در یک محله خاص پیش‌بینی شود، کمی می‌کند. خروجی‌های آماری نشان‌دهنده پراکندگی متوسط در عملکرد مدل است، با انحراف معیار ۰.۱۶. در مقادیر R-Squared محلی، که نشان می‌دهد توانایی پیش‌بینی مدل در محله‌های مختلف متفاوت است. علاوه بر این، مقدار میانگین R-Squared محلی ۰.۶۱ نشان می‌دهد که به طور متوسط، حدود ۶۱ درصد از تغییرپذیری در مقادیر کربن می‌تواند با شاخص پراکندگی توضیح داده شود، که گسترش شهری را به عنوان یک پیش‌بینی کننده مهم برای انتشار کربن برجسته می‌کند.

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 می‌کند. در برخی محله‌ها، 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 محله‌های مشاهده شده تحت تأثیر قرار می‌دهد که نشان‌دهنده تأثیر پایدار آن بر انتشار کربن است. این یافته‌ها پیچیدگی پویایی‌های شهری و نیاز به رویکردی ظریف در برنامه‌ریزی شهری و سیاست‌گذاری زیست‌محیطی را برجسته می‌کند.

با مقادیر R-Squared محلی بالا می‌تواند 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 می‌توانند بینشی در مورد سایر عوامل مؤثر که نیازمند بررسی بیشتری هستند، ارائه دهند.

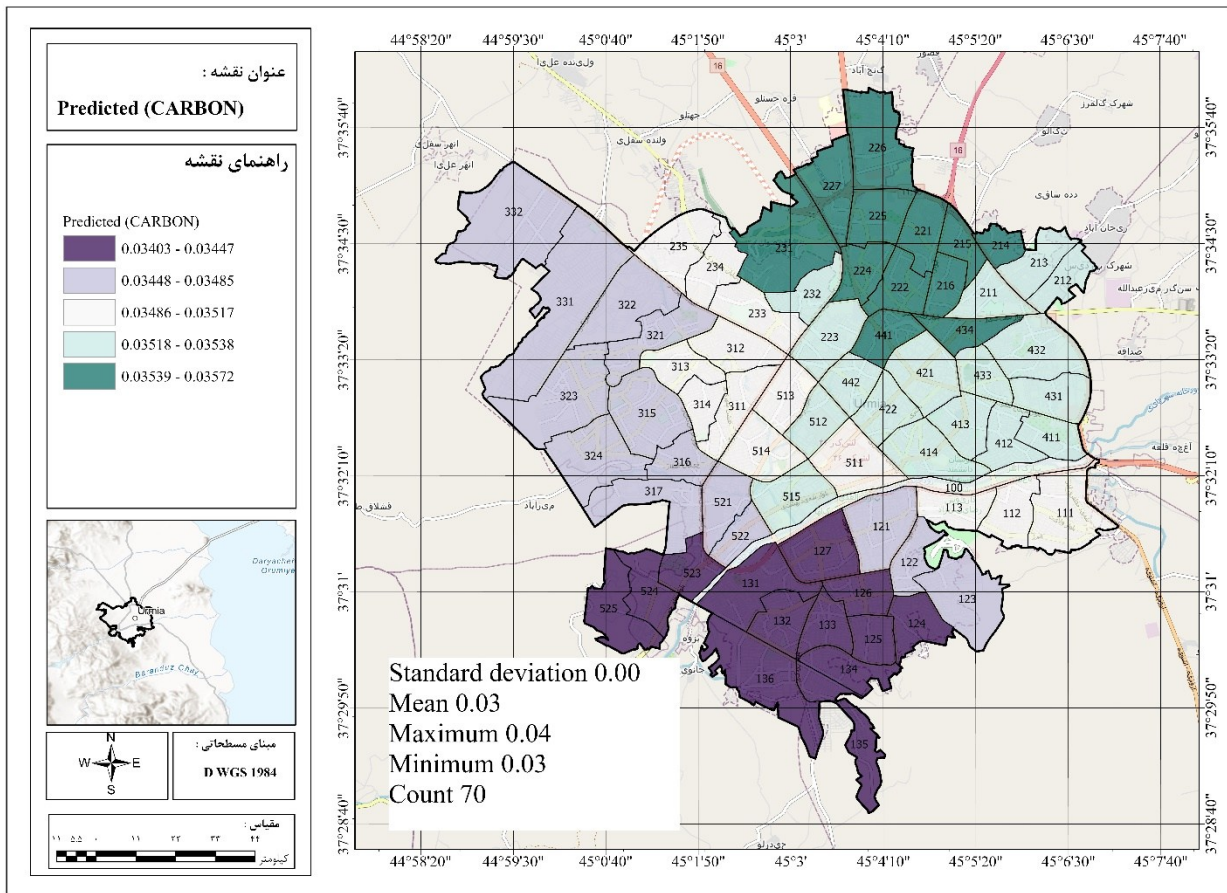


شکل ۶. R-Squared محلی

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 قابل توجهی را در مقادیر کربن در رابطه با الگوهای گسترش شهری ثبت کند. علاوه بر این، مقدار حداکثر پیش‌بینی شده کربن ۰.۰۴ و میانگین مقدار پیش‌بینی شده 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 پیش‌بینی شده کربن، با عبارت "حداقل ۰.۰۳"، تا حدودی مبهم است، اما نشان می‌دهد که کمترین مقدار پیش‌بینی شده به میزان قابل توجهی 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 پیش‌بینی شده کربن دامنه بسیار باریکی را نشان می‌دهد، که بر اساس این مدل خاص، مقادیر کربن و گسترش شهری تأثیر قابل توجهی 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 پیش‌بینی شده کربن را نشان می‌دهد و نمایش بصری از دامنه باریک پیش‌بینی شده توسط مدل را ارائه می‌کند.



شکل ۷. کربن پیش‌بینی شده

۶. بحث

بحث در مورد تأثیر گسترش شهری بر شاخص‌های شهر کم کربن در شهر ارومیه، یافته‌های حاصل از تحلیل جامع شامل تحلیل توصیفی، کاربرد فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، مدل تکنیک ترجیح سفارش بر اساس شباهت به راه حل ایده آل (TOPSIS) و رگرسیون جغرافیایی وزنی چندمقیاسه (MGWR) را یکپارچه می‌کند. تحلیل توصیفی، طیف گسترده‌ای از تراکم جمعیت و الگوهای کاربری اراضی را آشکار کرد که تضاد آشکار میان مراکز شهری متراکم و مناطق حومه‌ای گسترده را برجسته می‌سازد. یک مشاهده کلیدی از این تحلیل، تنوع قابل توجه در تراکم جمعیت بود، به طوری که اکثریت قریب به اتفاق محله‌های ارومیه شرایط زندگی پرتراکم را به نمایش می‌گذارند. این یافته، پیچیدگی توسعه شهری در ارومیه را برجسته می‌کند، مناطق پرجمعیت را در کنار گسترش حومه‌ای قرار می‌دهد. تنوع در کاربری مسکونی اراضی و نزدیکی محله‌ها به خدمات ضروری، چالش‌ها و فرصت‌ها را در پیشبرد توسعه پایدار شهری، به ویژه در کاهش انتشار کربن و ارتقای کیفیت زندگی شهری، بیشتر برجسته می‌سازد.

کمی‌سازی تجربی شاخص‌های گسترش شهری توسط مدل AHP به همراه بینش‌های حاصل از مدل TOPSIS، درک نکته‌ای از عوامل مؤثر بر انتشار کربن را فراهم می‌کند. 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 سیاست‌های توسعه شهری حمایت می‌کند که تقاضای

گسترش شهری را با پایداری زیست محیطی سازگار می‌سازد. مدل TOPSIS این تحلیل را با شناسایی محله‌هایی با درجات متفاوت از گسترش، تکمیل می‌کند و بنابراین چشم‌انداز ریزی را برای توزیع فضایی گسترش شهری و تبعات آن بر روندهای انتشار کربن ارائه می‌دهد.

کاربرد مدل MGWR، بررسی عمیق رابطه فضایی میان گسترش شهری و انتشار کربن در میان محله‌های ارومیه را ممکن ساخت. یافته‌های این مدل، به ویژه پراکندگی متوسط داده‌های کربن و قدرت پیش‌بینی شاخص گسترش، ناهمگونی فضایی ذاتی در فرآیندهای زیست محیطی شهری را برجسته می‌سازد. با وجود محدودیت‌های مدل در ثبت تمام متغیرهای سطوح کربن، بینش‌های به دست آمده تأثیر پایدار گسترش شهری بر انتشار کربن را خاطر نشان می‌سازد. این تحلیل، لزوم ادغام متغیرهای بیشتر در مدل برای افزایش دقت پیش‌بینی آن و نیاز گسترده‌تر به رویکرد ظریف برای برنامه‌ریزی شهری و سیاست‌گذاری زیست محیطی را نشان می‌دهد. بحث در مورد این یافته‌ها، مطالعه را در چارچوب گفتمان گسترده‌تر توسعه پایدار شهری قرار می‌دهد و بر تعامل حیاتی میان شکل شهری، گسترش و پیامدهای زیست محیطی تأکید می‌کند.

۷. نتیجه‌گیری

مطالعه جامع گسترش شهری در شهر ارومیه، بینش‌های حیاتی را درباره پویایی‌های فضایی و تبعات زیست محیطی گسترش شهری روشن ساخته است. این نتیجه‌گیری، یافته‌های کلیدی را ترکیب می‌کند و به تعامل پیچیده میان شکل شهری، تراکم جمعیت، الگوهای کاربری اراضی و تأثیر مجموعی آنها بر انتشار کربن اشاره می‌کند.

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 حومه‌های گسترده دارد. شواهد نشان می‌دهد که مناطق با تراکم خالص و ناخالص جمعیت (NPD) و (GPD) بالاتر، نشان دهنده شکل شهری پایدارتر است که می‌تواند با کاهش وابستگی به حمل و نقل خودرویی، انتشار کربن را کاهش دهد. در مقابل، شاخص گسترش که از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تکنیک ترجیح سفارش توسط شباهت به راه حل ایده آل (TOPSIS) اخذ شده است، مناطق گسترده پراکنده را شناسایی کرد که نگرانی‌های مربوط به رشد غیرمتمرکز و پیامدهای زیست محیطی آن را برجسته می‌کند. این ناهمگونی فضایی، لزوم برنامه‌ریزی شهری راهبردی را که بر تراکم و دسترسی تأکید می‌کند، برای مهار انتشار کربن و تسهیل توسعه پایدار، خاطر نشان می‌سازد.

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، یافته‌های مدل، تأثیر قابل توجهی از الگوهای گسترش بر ردپای کربن شهری را نشان می‌دهد؛ هرچند با تنوع قابل توجهی در میان محله‌ها. این تنوع نه تنها نقش شکل شهری در پایداری زیست محیطی را برجسته می‌کند، بلکه به ضرورت راهکارهای محلی در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری شهری اشاره می‌کند.

در نتیجه، این مطالعه پیوندهای پیچیده میان گسترش شهری، تراکم جمعیت، کاربری اراضی و پایداری زیست محیطی در شهر ارومیه را تأیید می‌کند. یافته‌ها، تلاش هماهنگ برای توسعه شهری با تراکم بالا، برنامه‌ریزی یکپارچه کاربری اراضی و دسترسی بهبودیافته به خدمات و امکانات را به عنوان راهبردهای کلیدی برای دستیابی به رشد شهری کم‌کربن، حمایت می‌کند. با به رسمیت شناختن محدودیت‌ها و سوگیری‌های بالقوه در مدل‌های استفاده شده، این پژوهش، ضرورت تحقیقات بیشتر در زمینه تعامل پویای شکل شهری و پیامدهای زیست محیطی را خاطر نشان می‌سازد. مطالعات آینده باید به دنبال ادغام طیف گسترده‌تری از متغیرها و به کارگیری رویکردهای متنوع روش شناختی باشند تا درک عمیق‌تری از تأثیرات چندوجهی گسترش شهری به دست آید و راه را برای محیط‌های شهری با تاب‌آوری 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 زمین های بایر به منظور توسعه میان افزا با استفاده از تکنیک های تصمیم گیری تلفیقی**، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۷، شماره ۲۶، دانشگاه گلستان
۳. افتخاری الهام، گنجلی جعفر. (۱۴۰۰). **سنجش توسعه کالبدی سکونتگاه های روستایی استان اصفهان با بهره گیری از مدل AHP و TOPSIS**، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی. شماره سی و نه، ۲۷-۴۰
۴. حاتمی نژاد حسین، پوراحمد احمد، منصوریان حسین، رجایی عباس، ۱۳۹۲، **تحلیل مکانی شاخص های کیفیت زندگی در شهر تهران**، پژوهش های جغرافیای انسانی، دوره ۴۵، شماره ۴، ۲۹-۵۶.
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، ۳۰-۳۱.
۶. قدسی پور، سید حسن. (۱۳۸۱)، **مباحثی در تصمیم گیری چند معیاری**، چاپ سوم، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
۷. گیوه چی، سعید و رضا قنوتی، 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 شهر شیراز**. فصلنامه علمی پژوهش و برنامه ریزی شهری. ۳۹. ۹۰-۱۰۲.
- نصیری، علی. (۱۳۹۵). **ارزیابی آسیب پذیری شهر ارومیه در برابر زلزله با استفاده از روش AHP پارامترهای در محیط GIS**. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. سال شانزدهم. شماره ۴۰. ۹۰-۱۱۳.
۹. نیک پور، عامر، لطفی، صدیقه، رضازاده، مرتضی. ۱۳۹۶. **تحلیل رابطه میان فرم شهر و شاخص دسترسی مورد مطالعه: شهر بابلسر**، فصلنامه برنامه ریزی فضایی، دانشگاه اصفهان، ۳، ۸۵-۱۰۶.
۱۰. هوشمند شریفی، تکتیم. 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-level, *Applied Geography*, Vol. 34, pp. 548-558.
15. Fotheringham, A. S., Brunson, 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.