Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas

journal homepage: http://www.gsma.lu.ac.ir
Online ISSN: 2717-2325

Explanation of factors affecting carbon emissions in the neighborhoods of Tabriz metropolis

Poya Faryadkhah [1], Ali Panahi [2] ✉, Hassan Ahmadzadeh [3]

1. Department Geography and Urban Planning, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran. Email: pouyafaryadkhah@gmail.com.
2. Corresponding author, Department of Geography and Urban Planning, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran. Email:panahin@yahoo.com
3. Department of Geography and Urban Planning, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran. Email:hassan.ahmadzadeh@iau.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 23 February 2025;
Received in revised form: 20 May 2025;
Accepted: 21 September 2025
Available online: 10 June 2026

Keywords:
urban spatial structure, carbon emissions, sustainable development, Spatial Analysis, Tabriz metropolis.

ABSTRACT

Objective: The rapid growth of urbanization and industrial development has led to an increase in greenhouse gas emissions, negatively impacting the quality of the urban environment. This has resulted in urban environmental pollution, a decline in citizens' quality of life, and reduced public health. Therefore, the primary objective of this study is to identify and analyze the spatial factors and urban land uses influencing carbon emissions in this metropolis.

Method :The research adopts a descriptive-analytical approach based on spatial and statistical data. Spatial analysis methods such as Moran's spatial autocorrelation and the geographically weighted regression (GWR) model have been utilized.

Results: The results indicate that carbon emissions in Tabriz exhibit a clustered pattern, with the highest concentrations found in industrial areas, densely populated regions, and zones with high building density. Key influencing variables include population density, building density, road network density, industrial land use, commercial land use, traffic volume, and building occupancy rate, all of which significantly contribute to increased carbon emissions. Conversely, an increase in green space land use has played a positive role in reducing carbon dioxide emissions.

Conclusions :The findings suggest that unbalanced urban development, the concentration of polluting industries, high building density, and an extensive road network directly contribute to rising carbon emissions. Based on these results, it is recommended that urban policies prioritize sustainable development, focusing on optimizing land use, expanding green spaces, and reducing traffic-related pollutants.

1. Introduction

Urbanization and rapid population growth have significantly altered the spatial structure of cities, leading to substantial environmental challenges, particularly in terms of carbon emissions. The increasing concentration of human activities, industrial development, and transportation networks has exacerbated the emission of greenhouse gases, particularly carbon dioxide (CO_2), which is a major contributor to climate change. In this context, large cities, especially metropolises in developing countries, are experiencing severe environmental degradation due to unbalanced urban expansion, inefficient land use planning, and increasing reliance on fossil fuels.

Cite this article: Faryadkhah, P., Panahi, A., Ahmadzadeh, H. (2026). Explanation of factors affecting carbon emissions in the neighborhoods of Tabriz metropoli *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 7 (25), 85-104. http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2053296.1063

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Lorestan University.

DOI: http://doi.org/ 10.22034/gsma.2025.2053296.1063

Tabriz, as one of Iran's major metropolitan areas, has undergone rapid and often unplanned urban development. This has led to a significant increase in the city's carbon footprint, with dense urban cores, industrial zones, and high-traffic corridors contributing to the highest levels of emissions. Previous studies suggest that urban form, spatial structure, and land use configurations are critical factors influencing carbon emissions. However, a comprehensive spatial analysis of these relationships, particularly within the context of Tabriz, is lacking.

This study aims to analyze the spatial distribution of carbon emissions in Tabriz at the neighborhood level. By employing geospatial analytical techniques, it identifies the key determinants of carbon emissions and examines how urban spatial structure influences emission patterns. The research provides insights into how land use types, urban density, road networks, and green spaces interact to shape the environmental footprint of the city. Understanding these relationships is essential for designing effective urban policies that promote low-carbon development and mitigate the adverse effects of climate change.

2. Methodology

The research adopts an applied approach and employs a descriptive-analytical method. Data collection involves satellite imagery, census data, and urban planning documents. Geospatial analysis techniques, including spatial autocorrelation (Moran's I) and geographically weighted regression (GWR), were applied to identify spatial clusters of carbon emissions and determine the influence of variables such as building density, population density, road network density, land use types, and traffic patterns.

3. Results

Findings indicate that carbon emissions in Tabriz exhibit a clustered spatial pattern, with significant correlations to factors such as industrial land use, building density, and road network density. High-emission zones are concentrated in industrial and densely populated areas, while the presence of green spaces effectively mitigates carbon emissions. The GWR model confirms that the spatial impact of these factors varies across the city, with industrial areas and high-traffic zones being the most significant contributors.

4. Discussion

The results highlight the uneven distribution of carbon emissions and the role of urban form in shaping environmental sustainability. Compact urban development and efficient land use planning can contribute to carbon reduction. Additionally, integrating green infrastructure and promoting sustainable transportation are key strategies for mitigating emissions.

5. Conclusion

This study underscores the necessity of spatially informed urban policies to curb carbon emissions in Tabriz. By prioritizing sustainable urban planning and adopting data-driven approaches, policymakers can foster low-carbon city development. The findings offer valuable insights for decision-makers aiming to balance urban growth with environmental sustainability.

Author Contributions

In the preparation and writing of this article, all authors (first, second, and third) have contributed equally and jointly. All stages of the research, from study design and data collection to analysis of results and final writing of the article, are the result of collaboration and collective agreement of all authors.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

We are very grateful to everyone who assisted us in conducting this research.

Ethical Considerations

All authors affirm that this research was conducted in accordance with ethical standards, with no data fabrication, falsification, or plagiarism.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

سال هفتم، شماره اول (پیاپی ۲۵)، بهار ۱۴۰۵، ۱۰۴-۸۵

مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی
http://www.gsma.lu.ac.ir
شاپای الکترونیکی: ۲۳۲۵-۲۷۱۷

تبیین عوامل مؤثر بر انتشار کربن در محلات کلانشهر تبریز

پویا فریادخواه[۱]؛ علی پناهی[۲]✉؛ حسن احمدزاده[۳]

۱. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. رایانامه: pouyafaryadkhah@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. رایانامه: panahin@yahoo.com
۳. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. رایانامه: hassan.ahmadzadeh@iau.ac.ir

چکیده

هدف: رشد سریع شهرنشینی و توسعه صنعتی موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است که بر کیفیت محیط‌زیست شهری تأثیر منفی گذاشته است همین عامل منجر به آلودگی‌های محیط زیست شهری، کاهش کیفیت زندگی شهروندان و کاهش سلامت آنها شده است بنابراین این پژوهش با هدف اصلی تحقیق، شناسایی و تحلیل عوامل فضایی و کاربری‌های شهری مؤثر بر انتشار کربن در این کلانشهر است.

روش: روش تحقیق به صورت تو صیفی-تحلیلی و مبتنی بر داده‌های مکانی و آماری ا ست. در این پژوهش، از روش‌های تحلیل فضایی مانند خودهمبستگی فضایی موران و مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی(GWR) استفاده شده است.

نتایج: نتایج نشان می‌دهد که انتشار کربن در تبریز الگوی خوشه‌ای دارد و بیشترین تمرکز آن در مناطق صنعتی، پرجمعیت و دارای تراکم ساختمانی بالاست. متغیرهای مؤثر شامل تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، تراکم شبکه راه، کاربری صنعتی، کاربری تجاری، میزان ترافیک و ضریب اشغال بوده که همگی تأثیر معناداری بر افزایش انتشار کربن دارند. در مقابل، افزایش کاربری فضای سبز نقش مثبتی در کاهش انتشار دی‌اکسید کربن داشته است.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها نشان می‌دهد که توسعه نامتوازن شهری، تمرکز صنایع آلاینده، تراکم بالای ساختمان‌ها و شبکه راه‌ها، تأثیر مستقیمی بر افزایش انتشار کربن دارند. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود که در سیاست‌گذاری‌های شهری، توسعه پایدار با تمرکز بر بهینه‌سازی کاربری زمین، افزایش فضای سبز و کاهش آلاینده‌های ناشی از ترافیک مورد توجه قرار گیرد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت مقاله:
۱۴۰۳/۱۲/۰۵
تاریخ تجدیدنظر:
۱۴۰۴/۰۲/۳۰
پذیرش نهایی:
۱۴۰۴/۰۶/۳۰
تاریخ انتشار:
۱۴۰۵/۰۳/۲۰

واژگان کلیدی:
تاب‌آوری شهری،مخاطرات، عوامل‌اجتماعی،آینده‌پژوهی، کلانشهر تبریز.

۱. مقدمه

بعد از سال ۱۹۷۸، توسعه شهری و رشد شتابان جمعیت باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای شده است و به عنوان اصلی‌ترین محرک‌های رشد اقتصادی، شهرها مصرف زیادی از انرژی دارند (Cai et al, 2021). در دهه‌های اخیر، توافقی در ارتباط با

استناد: فریادخواه، پویا؛ پناهی، علی؛ و احمدزاده، حسن. (۱۴۰۵). تبیین عوامل موثر بر انتشار کربن در محلات کلانشهر تبریز. *مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی*، ۷ (۲۵)، ۸۵-۱۰۴. http//doi.org/ 10.22034/gsma.2025.2053296.1063

DOI: http//doi.org/ 10.22034/gsma.2025.2053296.1063

ناشر: دانشگاه لرستان.

© نویسندگان.

تغییرات اقلیمی به وجود آمده است(Wallace et al , 2014) و در سال ۲۰۱۵، نمایندگان ۲۰۰ کشور توافق نامه پاریس را امضا کردند و متعهد شدند که افزایش دمای متوسط جهان را به کمتر از ۲ درجه سانتیگراد از سطح پیش‌صنعتی محدود کنند و سعی کنند آن را به ۱/۵ درجه سانتیگراد محدود کنند(Clark et al , 2016). تخمین زده می‌شود، شهرها که تنها ۲٪ از سطح کل جهان را اشغال می‌کنند و بیش از ۷۰٪ از انباشت گازهای کربنی انسانی را تولید می‌کنند(Shi et al, 2016). انباشت گازهای کربنی در شهرهای کشورهای در حال توسعه بیش از ۸۰٪ از کل انباشت گازها را تشکیل می‌دهد(Shi et al, 2019) و تضاد میان فرآیند شهری‌شدن سریع در کشورها و محدودیت‌های مرتبط با انباشت گازهای کربن برای توسعه با کیفیت بالا، چالش مهمی ایجاد کرده است. در این سیاق پیچیده، متخصصان برنامه‌ریزی شهری و سیاست‌گذاران باید تدابیر موثری برای کاهش انباشت CO2 و مهار تغییرات اقلیمی تدوین کنند. به علاوه از تدابیر سنتی کاهش انباشت کربن که بر اساس فناوری و راهکارهای سیاستی استوار است، منجر به افزایش تحقیقات مستقیم در ارتباط بین ساختار فضایی شهری و انباشت گازهای کربن شهری، شده است. بنابراین، لازم است برنامه‌ریزی شهری با تسهیل در کاهش انتشار کربن، آینده پایداری را تضمین نمائید. این امر به درک عمیق‌تر از تأثیر عناصر ساختار فضایی چند بعدی بر انتشار کربن در شهرها نیاز دارد.

تحقیقات انجام شده در زمینه برنامه‌ریزی شهری بیشتر عناصر چندسطحی از ساختار فضایی شهر را شامل می‌شوند. از نظر ساختار شهری و کاربری اراضی، تعدادی از محققان تأکید دارند که شهرهای با تراکم بالا و فشرده، در هر دو کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، تأثیر مثبتی در کاهش انتشار گازهای کربنی دارند(Ma et al, 2018). انتشار کربن مرتبط با بخش مسکونی نیز به طور مستقیم با ساختار و کاربری اراضی شهری ارتباط دارد(Makido et al, 2012). شکل شهر به عنوان یک عامل مهم، درخصوص تقاضای کلی انرژی برای گرمایش و مصرف انرژی هر واحد مسکونی برای گرمایش فضا، نقش مؤثری دارد. همچنین، انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطوح بخش‌های مختلف نیز تحت تأثیر ساختار فضایی شهر و کاربری اراضی قرار دارد(Liu & Song, 2014). اصطلاح «ساختار فضایی شهری» به چیدمان یا ترتیب اجزای شهری اشاره دارد و اصولاً به تحلیل ویژگی‌ها و الگوهای توزیع فضایی فعالیت‌ها در داخل مناطق شهری می‌پردازد. این شامل بررسی نحوه توزیع جمعیت و صنایع در تمامی بافتارهای شهری می‌شود. مطالعه ساختار فضایی شهری به هدف درک سازمان عناصر شهری و ارتباطات فضایی آنها می‌پردازد و به تأمل درباره پویایی توسعه شهری و تعاملات میان اجزا مختلف در محیط شهری منجر می‌شود(Yousefi & Dadashpoor, 2020). یک مطالعه انجام شده در منطقه خلیج بزرگ گوانگ‌دونگ–هنگ‌کنگ–ماکائو نشان می‌دهد که ارتباطی میان ساختار فضایی، کاربری اراضی و کارآیی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در شهرها وجود دارد(Li et al, 2022).

انتشار کربن به شدت تحت تأثیر تغییر در اراضی ساخته‌شده قرار دارد و توزیع فشرده اراضی ساخته‌شده به طور قابل توجهی افزایش انتشارکربن را مهار می‌کند. علاوه بر این، مدیریت فشرده زمین‌های کشاورزی و تولید نیز رشد انتشارات کربن را مهار خواهد کرد. در گذشته، به دلیل تبدیل ناقص زمین‌های کشاورزی و پیشرفت سریع زمین‌های ساخت‌وساز شده، توسعه زمین‌ها توسط دولت‌ها منجر به تجزیه توسعه زمین‌ها شده و این استفاده تجزیه‌شده از زمین و توسعه، پیچیدگی در داخل منطقه را افزایش می‌دهد، در حالی که به طور قابل توجهی در افزایش انتشارات کربن محلی مشارکت دارد(Zhu et al, 2021). بنابراین به عنوان یک عنصر مهم در ساختار فضایی شهری، تراکم شهری و جمعیت تأثیر آشکاری بر انتشار کربن دارد، اما تأثیر آن ممکن است تحت تأثیر سطوح مختلف فرآیند شهری شدن قرار گیرد. علاوه بر این، تراکم اشتغال و کاربری اراضی و موارد مشابه نیز فرض شده است که تأثیری بر انتشار کربن داشته باشند(Wu et al, 2019; Liu et al, 2018).

در این چارچوب در ایران ۸ کلانشهر وجود دارد که به عنوان شهرهای آلوده ایران شناخته می شوند که یکی از این کلانشهرها، کلانشهر تبریز می باشد این کلانشهر از یک سو ، به عنوان کلانشهری بزرگ در شمال غرب کشور، نقش بسیار مهمی در توسعه و پیشرفت اقتصادی، اجتماعی، و فرهنگی این منطقه ایفا می‌کند. با موقعیت مکانی استراتژیک خود، این شهر به لحاظ جغرافیایی از حوزه نفوذ گسترده‌ای برخوردار است. این ویژگی، آن را به یک مرکز جذاب برای سرمایه‌گذاری، تجارت، و تبادلات فرهنگی تبدیل کرده است. از نظر سیاسی و اداری، تبریز به عنوان مرکزیت مهم در این منطقه شناخته می‌شود. دستیابی به سطح بالایی از تخصص و خدمات در زمینه‌های مختلف، این شهر را به یک

مرکز فرهنگی و آموزشی تبدیل کرده است. تمرکز فعالیت‌های صنعتی و اقتصادی در تبریز، این شهر را به یک مرکز اقتصادی مهم در کشور تبدیل کرده است. تنوع بالای بخش‌های صنعتی، از صنایع سنگین تا خدماتی، از توسعه پایدار و ایجاد اشتغال در این منطقه حمایت می‌کند. تلاش‌های مستمر در جهت بهره‌وری و بهبود عملکرد صنعتی، تبریز را به یک قطب تولید و نوآوری تبدیل کرده است. با توجه به موارد فوق، می‌توان گفت که تبریز به عنوان یک شهر مسلط نقش ماکروسفالی را در شمال غرب کشور بازی می‌کند و از سوی دیگر وجود حدود ۶۰۰ هزار خودرو با مصرف نزدیک به هفت میلیون لیتر بنزین در روز، به چالش‌ها و مشکلات زیست محیطی در کلانشهر تبریز می افزاید (transport.tabriz.ir). این موضوع می‌تواند عوامل مختلفی از جمله آلودگی هوا، ترافیک شدید، و افزایش مصرف سوخت را به همراه داشته باشد. با این حال، استفاده و وابستگی به اتومبیل در این کلانشهر همچنان در حال افزایش است.

تعداد زیادی از تحقیق انتشار کربن در کلان شهرها را بررسی کرده‌اند به عنوان مثال، آلبرت و همکاران (۲۰۱۵) از طریق مطالعه خود درباره شهرهای اروپایی نتیجه گرفتند که چگونه تراکم بالاتر ناحیه‌های شهری منجر به کاهش انتشار کربن می‌شود(Baur et al, 2015). یی و همکاران (۲۰۱۷) تحلیل تکامل مکانی-زمانی تأثیر اشکال فضایی بر انتشار کربن در ۱۰۸ شهر چین را با استفاده از مدل داده‌های کمی انجام دادند و الگوهای شهری فشرده را به عنوان یک عامل کلیدی برای ساخت شهرهای کم‌کربن شناسایی کردند(Baur et al, 2015). Sarkodie et al, 2020 اظهار کردند که گسترش شهری منجر به کاهش فضای ذخیره کربن در شهر، افزایش مصرف انرژی در زندگی روزمره و افزایش انتشار کربن می‌شود. برخی پژوهشگران تنها به تأثیر عوامل اجتماعی-اقتصادی (مانند جمعیت کل، درآمد ، پیشرفت فناوری و محیط ساختار صنعتی) بر انتشار کربن در شهرها متمرکز شده‌اند. به عنوان مثال، Martínez et al, 2007 اظهار داشتند که سیاست‌های تغییرات آب و هوا باید تأثیر مثبت تغییرات جمعیت بر انتشار CO2 را در نظر بگیرند. Zhou & Liu,2016 در یک مطالعه با استفاده از مدل ارزیابی پویای منطقه‌ای، به این نتیجه رسیدند که ترویج نوآوری فناوری از طریق مقررات زیست‌محیطی می‌تواند انتشار CO2و مصرف انرژی را کاهش دهد

تغییرات چشمگیر در ساختار شهری تبریز، علاوه بر ایجاد حوادث ترافیکی فراوان، منجر به افزایش مصرف انرژی و انتشار بیش از حد گازهای گلخانه‌ای شده است. این مسائل باعث جلب توجه به تبریز به‌عنوان دومین شهر آلوده ایران شده و میزان آلودگی هوا در این شهر به صورت روزافزون در حال افزایش است. به عنوان مثال، در طول سال ۱۴۰۱، تعداد روزهای آلوده به حدود ۴۱ روز افزایش یافت و در این روزها شرایط زیست محیطی به شدت تحت تأثیر هوا از لحاظ آلودگی در حد هشدار و اضطرار بوده است. این نتایج نشان دهنده وضعیت نامناسب شهر تبریز از لحاظ آلودگی هوا بوده و تقریبا به ازای هر ۲ روز، ۱ روز وضعیت هوا در حالت هشدار است(Ghorbani et al, 2023). بنابراین همه این چالش‌ها در کلانشهر تبریز می تواند تحت تاثیر عوامل تراکم شهری، فعالیت‌ها، نوع کاربری اراضی، ساختار ترافیکی و غیره کلانشهر تبریز می باشد. بنابراین این پژوهش بر آن است به این سوال پاسخ دهد که کدام عوامل در انتشار کربن بیشترین تاثیر را دارد؟

۲. روش تحقیق

پژوهش حاضر ازلحاظ هدف کاربردی و ازنظر ماهیت،توصیفی-تحلیلی می باشد و جهت گردآوری اطلاعات مورد نیاز از روش کتابخانه‌ای که شامل تصاویر ماهواره ای، اسناد، عکس‌ها، نتایج طرح‌ها، استفاده از آمارهای رسمی مرکز آمار ایران، شهرداری، راه و شهرسازی بود، استفاده شد برای تجزیه و تحلیل با توجه به قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی از طریق روش‌های مبتنی بر آمار فضایی، تحلیل عوامل موثر در شکل گیری شهر کم کربن در کلانشهر تبریز قابل بررسی خواهد بود. در تحلیل خوشه و ناخوشه و تحلیل لکه داغ می‌توان مکان‌هایی را که در آن‌ها موارد معنی‌دار از نظر آماری وجود دارد، تعیین نمود.

۲. ۱. خودهمبستگی فضایی

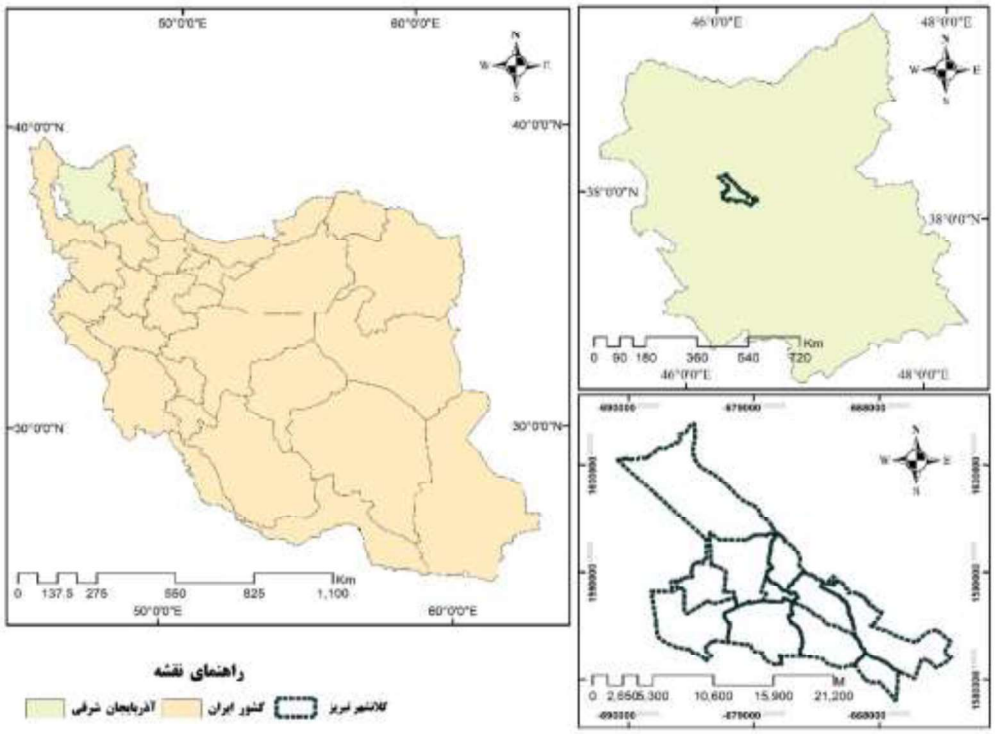
تحلیل خودهمبستگی فضایی به ما این امکان را می‌دهد که در مورد یک سیستم منطقه‌ای فکر کنیم و بررسی کنیم که حضور یک متغیر در یک منطقه چه تأثیراتی بر حضور همان متغیر در مناطق مجاور دارد. این رویکرد نشان‌دهنده این است که پدیده‌های جغرافیایی که نزدیک به یکدیگر هستند، ممکن است دارای ارتباطات و نظم‌های ظاهری متفاوت باشند؛ این ارتباط و نظم می‌تواند قوی، ضعیف یا حتی دارای الگوی تصادفی باشد(Ahadnejad Reveshty et al, 2023).

۲. ۲. رگوسیون وزنی جغرافیایی

این روش برای نخستین بار در سال ۱۹۹۲ توسط اساتید دانشگاه لندن برای بررسی عوامل تأثیرگذار در قیمت مساکن در لندن مورد استفاده قرار گرفت. این روش کاربردهای متنوعی از جمله آشکار کردن و تحلیل متغیرها در مقیاس محلی داشته و مدل‌سازی مکانی در رشته‌های مانند برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، محیط‌شناسی، جغرافیا و غیره مورد استفاده قرارگرفته است. بنابراین می‌توان گفت مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی روش جدید برای مدل‌سازی فرایندهای ناهمگن مکانی است که ناهمگنی مکانی بیانگر این است که در هر نقطه رابطه‌ای متفاوت بین متغیر وابسته و مستقل به دلیل وابستگی پارامترها یا ضرایب مدل نسبت به مکان وجود دارد (عسگری، ۱۳۹۰: ۱۱۲).

۲. ۳. معرفی محدوده مورد مطالعه

کلانشهر تبریز با وسعتی حدود ۲۵۰۵۶ هکتار در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. ارتفاع متوسط این کلانشهر از سطح دریاهای آزاد حدود ۱۴۶۰ متر برآورد شده است. تبریز در شمال غربی کشور و در مسیر محور بین‌المللی تهران – بازرگان، که ایران را به اروپا متصل می‌کند، قرار دارد. موقعیت جغرافیایی و طبیعی این شهر و هسته اولیه شکل‌گیری آن نشان‌دهنده مناسب‌ترین و مساعدترین شرایط جغرافیایی بوده است. به دلیل همین ویژگی‌های مطلوب جغرافیایی، تبریز در طول تاریخ به یکی از بزرگترین شهرهای کشور تبدیل شده است. در واقع، تبریز در یکی از بی‌نظیرترین موقعیت‌های جغرافیایی قرار دارد که علاوه بر بسیاری از ویژگی‌های مشابه با دیگر مناطق، از برخی توان‌ها و محدودیت‌های آشکار و پنهان نیز برخوردار است که در روند تاریخی توسعه شهر تأثیرگذار بوده است. به هر حال، موقعیت نسبی تبریز از دیدگاه جغرافیایی و طبیعی بر اساس عوامل زیر تبیین می‌گردد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

۳. یافته‌های پژوهش

۳. ۱. خودهمبستگی فضایی موران

برای تبیین عوامل مؤثر بر انتشار کربن در محلات کلانشهر تبریز در رساله حاضر از رگرسیون وزنی جغرافیایی استفاده شد چراکه دلیل استفاده از این روش بدین علت است که باقیمانده‌های رگرسیون حداقل مربعات بر اساس آماره

«خودهمبستگی فضایی موران» به لحاظ فضایی الگوی خوشه‌ای یا متمرکز و تصادفی را نشان می‌دهد؛ لذا در چنین مواردی استفاده از رگرسیون وزنی جغرافیایی به‌جای رگرسیون حداقل مربعات مفید خواهد بود، در رگرسیون وزنی جغرافیایی برعکس روش رگرسیون حداقل مربعات می‌توان با استفاده از آن، مدلی را برای همه عوارض اجرا و به هریک از عوارض یک مدل محلی برای متغیرها فراهم کرد. بنابراین برای اجرای بهتر مدل در گام اول از آماره خودهمبستگی فضایی موران به‌منظور تعیین وجود یا عدم وجود خودهمبستگی فضایی در مقادیر انتشار کربن در محلات کلانشهر تبریز و چگونگی نحوه توزیع آن‌ها با استفاده از آماره موران ابتدا مقادیر تعداد مولفه‌ها به تفکیک محلات شهری محاسبه گردید. این مقادیر و همچنین آماره Z استاندارد در منطقه موردمطالعه حاکی از معنی‌داری آن‌ها در سطح اطمینان ۹۸ درصد می‌باشد و با توجه به این مقادیر که همگی بالای ۰/۹ محاسبه‌شده‌اند و همچنین مقادیر بزرگ‌تر از ۲/۵ محاسبه شد، می‌توان نتیجه گرفت که انتشار کربن در محلات کلانشهر تبریز از یک الگوی خوشه‌ای با تمرکز بالا برخوردار بوده و مولفه‌های موثر دارای خودهمبستگی فضایی مثبت معنی‌دار می‌باشند؛ بنابراین با توجه به فرضیات محتمل (H0 و H1)، فرض صفر که مبنی بر عدم وجود ارتباط فضایی در داده‌های مولفه‌های موثر بر انتشار کربن در محلات کلانشهر تبریز است، رد شده و فرض یک مبنی بر وجود همبستگی بین داده‌ها است مورد تائید قرار می‌گیرد؛ بنابراین می‌توان بیان کرد انتشار کربن در محلات کلانشهر تبریز از ساختار فضایی آن متاثر می شودو به شکل خوشه‌ای توزیع‌شده‌اند. جدول ۱ متغیرهای مورد استفاده ونتایج خودهمبستگی فضایی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. متغیرهای مورداستفاده و نتایج خودهمبستگی فضایی آن‌ها

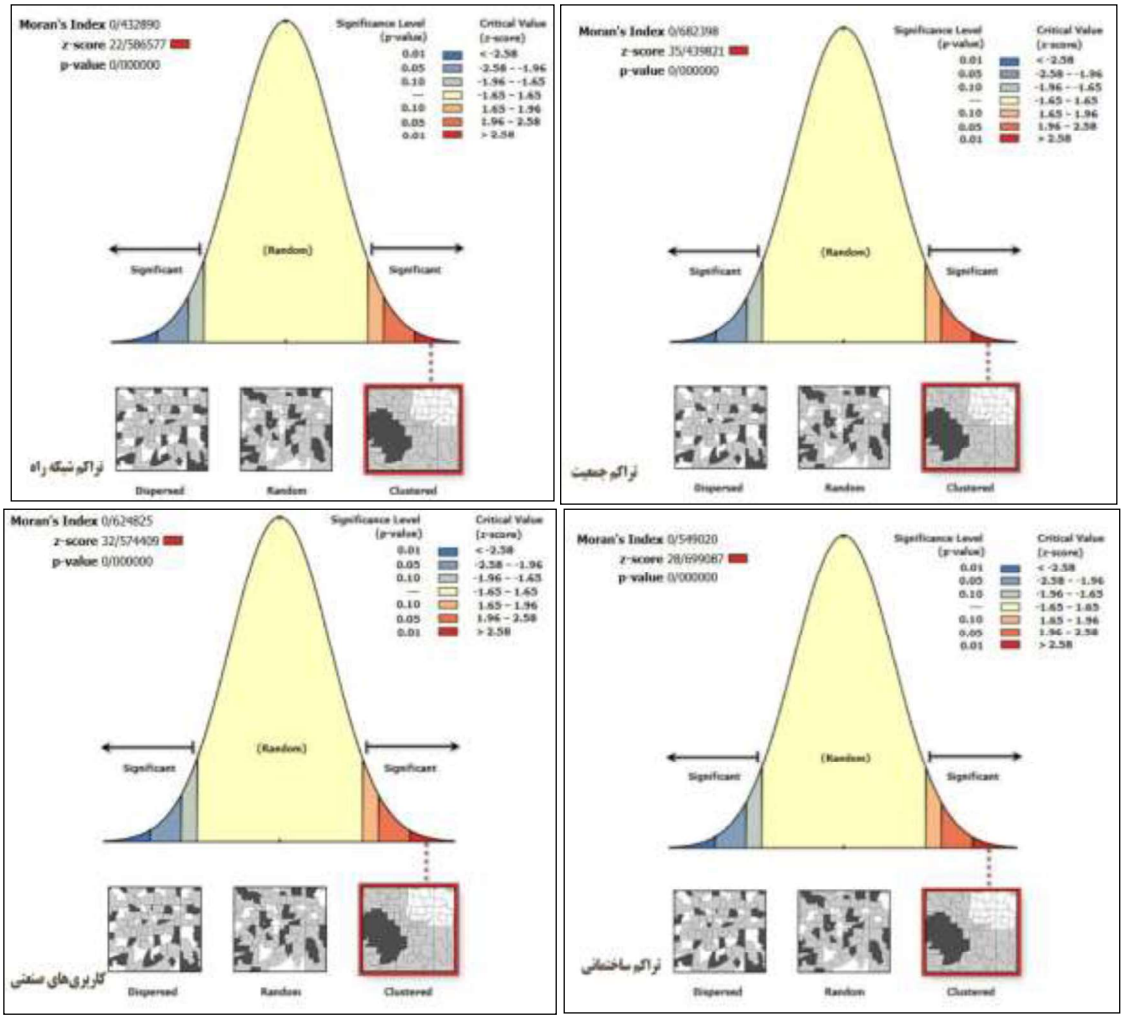
ردیف	نام متغیر	نوع متغیر	Moran's I	Expected I	z-score	p-value	Pattern
۱	**انتشار کربن**	وابسته	۳۶۱۶۶۸/۰	۰۰۴۶۳۰/۰-	۹۱۷۶۲۳/۱۸	۰/۰۰۰	خوشه‌ای
۲	**تراکم ساختمانی**	مستقل	۵۴۹۰۲۰/۰	۰۰۴۶۳۰/۰-	۶۹۹۰۸۷/۲۸	۰/۰۰۰	خوشه‌ای
۳	**تراکم جمعیت**	مستقل	۶۸۲۳۹۸/۰	۰۰۴۶۳۰/۰-	۴۳۹۸۲۱/۳۵	۰/۰۰۰	خوشه‌ای
۴	**تراکم شبکه راه**	مستقل	۴۳۲۸۹۰/۰	۰۰۴۶۳۰/۰-	۵۸۶۵۷۷/۲۲	۰/۰۰۰	خوشه‌ای
۵	**کاربری صنعتی**	مستقل	۶۲۴۸۲۵/۰	۰۰۴۶۳۰/۰-	۵۷۴۴۰۹/۳۲	۰/۰۰۰	خوشه‌ای
۶	**کاربری تجاری**	مستقل	۵۳۴۸۴۰/۰	۰۰۴۶۳۰/۰-	۸۳۶۰۰۴/۲۷	۰/۰۰۰	خوشه‌ای
۷	**ترافیک**	مستقل	۲۹۵۹۳۷/۰	۰۰۴۶۳۰/۰-	۷۷۴۸۰۵/۱۵	۰/۰۰۰	خوشه‌ای
۸	**کاربری فضای سبز**	مستقل	۶۳۰۵۷۵/۰	۰۰۴۶۳۰/۰-	۸۲۷۷۸۲/۳۲	۰/۰۰۰	خوشه‌ای
۹	**ضریب اشغال**	مستقل	۶۴۴۷۲۳/۰	۰۰۴۶۳۰/۰-	۶۳۶۹۳۹/۳۳	۰/۰۰۰	خوشه‌ای

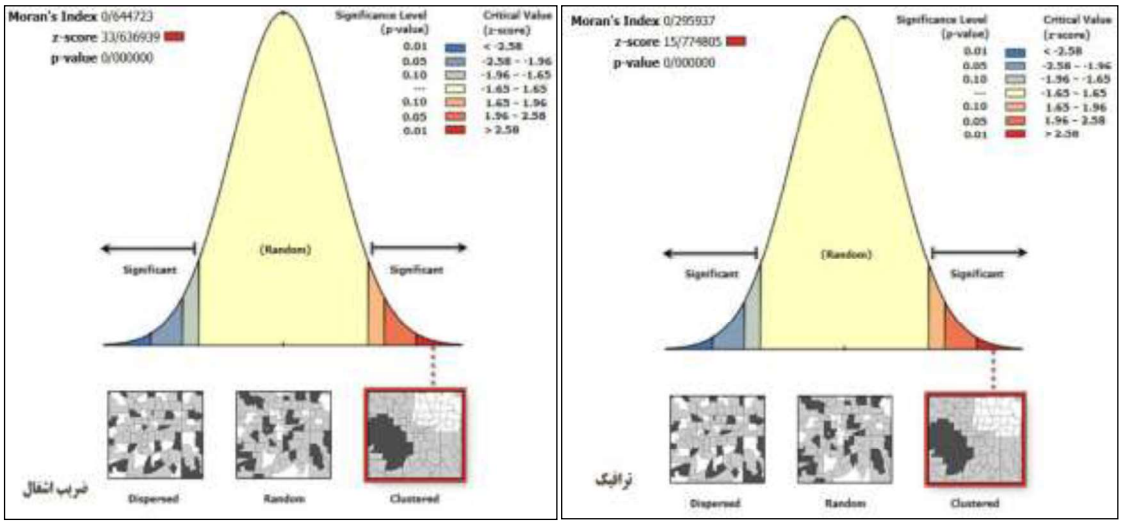
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

آماره موران نوعی آماره استدلالی و استنتاجی بوده که نتایج حاصل از آن با توجه به فرضیه صفر تعبیر و تفسیر می‌شود چراکه فرضیه صفر در این آماره آن است که هیچ‌گونه خوشه-بندی فضایی بین مقادیر خصیصه مرتبط با عوارض جغرافیایی موردنظر وجود ندارد درنتیجه زمانی که مقدار سطح آلفا[1] از حد موردنظر (۰/۰۵ و ۰/۰۱) کمتر و z-score بزرگ‌تر از ۱/۹۶ باشد فرضیه صفر رد می‌شود که در این صورت بیانگر این است که الگوی جغرافیایی پدیده موردنظر خوشه‌ای و پراکنده است حال اگر مقدار شاخص موران مثبت و بزرگ‌تر از صفر باشد داده‌ها نوعی خوشه‌بندی فضایی را نشان خواهد داد و بالعکس اگر مقدار آن منفی و کمتر از صفر باشد پدیده موردمطالعه دارای الگوی پراکنده هستند در این رساله بر مبنای نتایج حاصل از آماره موران در جدول ۴-۲۵ و اشکال ۴-۲۳، امتیاز Z-Score محاسبه‌شده برای متغیرهای وابسته و مستقل

[1] P-value

موردبررسی از مقادیر آستانه بسیار بزرگ‌تر است و مقدار p-value از سطح آلفا تعیین‌شده ۰/۰۵ کمتر است لذا فرضیه یک در ارتباط با خوشه‌ای بودن باقیمانده‌های رگرسیون وزنی جغرافیایی تائید می‌گردد که این امر نشان‌دهنده آن است که متغیرهای تراکم ساختمانی، تراکم جمعیت، تراکم شبکه راه، ترافیک، کاربری‌های صنعتی، کاربری‌های تجاری، کاربری فضای سبز، ضریب اشغال جنسی در محلات شهر کلانشهر تبریز از دقت بالایی در تبیین عوامل مؤثر بر میزان انتشار کربن برخوردار هستند و همان‌طور که ذکر شد یک ارتباط فضایی بین متغیر وابسته و مستقل وجود دارد (شکل۲).





شکل ۲. نتایج خودهمبستگی فضایی آماره موران برای انتشار کربن در محلات کلانشهر تبریز منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

۳. ۲. بررسی عوامل موثر با استفاده از رگرسیون وزنی جغرافیایی

مدل رگرسیون خطی که بر اساس نتایج جدول ۴-۲۶ تحلیل شده است، نشان‌دهنده روابط معنادار بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته است. ضرایب ([Coefficient [a]) که جهت و شدت تأثیر متغیرهای مستقل را مشخص می‌کنند. نشان دهنده این که تمام ضرایب در این مدل مثبت هستند، که نشان می‌دهد هر متغیر مستقل به طور مستقیم بر متغیر وابسته اثر افزایشی دارد. به عبارت دیگر، با افزایش هر یک از متغیرهای مستقل، متغیر وابسته نیز افزایش می‌یابد. برای مثال، کاربری صنعتی با ضریب ۰,۷۳۹۲ بیشترین اثر را بر متغیر وابسته دارد. این بدان معناست که با افزایش سهم یا میزان کاربری صنعتی در منطقه، متغیر وابسته به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، تراکم جمعیت، اگرچه ضریب مثبتی (۰,۰۸۱۳۰) دارد اما اثر آن نسبت به سایر متغیرها کمتر است. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که تراکم جمعیت، در مقایسه با عواملی مانند کاربری صنعتی یا تراکم شبکه راه، نقش کمتری در تعیین تغییرات متغیر وابسته ایفا می‌کند. ضرایب نشان می‌دهند که تراکم ساختمانی(۰,۰۵۹۵۶۰) نیز اثر قابل توجهی بر متغیر وابسته دارد. این متغیر، دومین اثرگذاری قوی را در میان عوامل مستقل دارد. تراکم ساختمانی نشان‌دهنده سطح توسعه یافتگی و شدت استفاده از فضاهای شهری است. این ارتباط منطقی است؛ زیرا افزایش تراکم ساختمانی معمولاً به معنای فعالیت‌های اقتصادی بیشتر، تغییرات اجتماعی و زیرساختی و در نتیجه تأثیر مستقیم بر متغیر وابسته خواهد بود. با توجه به ضریب۱/۲۶۲۳، این متغیر از هم‌خطی با سایر متغیرها مصون است، و نقش مستقلی در مدل ایفا می‌کند. ضرایب تراکم شبکه راه و آماره‌های معناداری با ضریب ۰,۱۶۲۷۰ نشان می‌دهند که این متغیر تأثیر مثبت و معناداری دارد. تراکم شبکه راه منعکس‌کننده سطح دسترسی و اتصال در مناطق شهری است. هر چه شبکه راه‌ها گسترده‌تر و بهینه‌تر باشد، حرکت افراد و کالاها تسهیل شده و فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی بیشتری رخ می‌دهد، که این موضوع تأثیر مستقیمی بر متغیر وابسته دارد. کاربری تجاری با ضریب۰,۱۵۱۹ اثر مثبت و معناداری دارد، اما شدت تأثیر آن نسبت به متغیرهای دیگر کمتر است. این موضوع ممکن است نشان‌دهنده این باشد که فعالیت‌های تجاری به‌تنهایی تأثیر گسترده‌ای ندارند. ترافیک، اگرچه آماره‌های معناداری دارد(value=0.0079)، اما ضریب نسبتاً کوچکی(0.2180) داشته و مقدار Robustt = 0.1382 نشان دهنده ضعف کیفیت داده‌ها یا تنوع زیاد در تأثیر این متغیر است. این موضوع ممکن است به اثرات متناقض ترافیک مرتبط باشد؛ از یک سو، ترافیک بالا می‌تواند نشانه‌ای از فعالیت اقتصادی باشد، اما از سوی دیگر، معضلاتی مانند آلودگی و کاهش بهره‌وری ایجاد می‌کند.

آماره t و سطح معناداری (Probability [b]) نیز نشان‌دهنده اهمیت آماری این روابط است. تمام متغیرها دارای سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ هستند، که این موضوع بیانگر این است که روابط مشاهده‌شده بین متغیرهای مستقل و وابسته قابل اعتماد بوده و نمی‌توان آنها را به‌صورت تصادفی دانست. به‌ویژه، متغیرهای تراکم ساختمانی و کاربری صنعتی دارای آماره‌های t بزرگ‌تری هستند که این امر بر قدرت تأثیرگذاری این متغیرها تأکید دارد.

اگرچه سطح معناداری تمام متغیرها در روش Robust نیز قابل قبول است، اما مقدار RobusttRobust_tRobustt برای برخی متغیرها مانند ترافیک کاهش قابل توجهی دارد. این کاهش ممکن است ناشی از خطاهای موجود در داده‌ها، یا حساسیت متغیر ترافیک به تغییرات در مدل باشد. بنابراین، می‌توان گفت که تأثیر این متغیر در شرایط مختلف ممکن است کمتر قابل پیش‌بینی باشد. مقادیر VIF (ضریب تورم واریانس) در این مدل بسیار پایین و کمتر از ۲ هستند، که نشان می‌دهد بین متغیرهای مستقل هم‌خطی جدی وجود ندارد. این موضوع اعتبار مدل را تقویت می‌کند، چرا که در صورت وجود هم‌خطی شدید، اثرات برخی متغیرها ممکن است به‌اشتباه تفسیر شوند. بنابراین، می‌توان اطمینان داشت که متغیرهای مستقل هر کدام به طور جداگانه بر متغیر وابسته اثر می‌گذارند. بنابراین براساس نتایج OLS کاربری صنعتی و ضریب اشغال بیشترین اهمیت را دارند. این دو متغیر نشان‌دهنده تأثیرگذاری بیشتر بر متغیر وابسته هستند. در نهایت این مدل رگرسیون خطی به خوبی نشان داده که متغیرهای مستقل انتخاب‌شده دارای اثرات معناداری بر متغیر وابسته هستند. با این حال، تفاوت در شدت و کیفیت این اثرات، نشان‌دهنده ضرورت تمرکز بر متغیرهایی مانند کاربری صنعتی و ضریب اشغال برای سیاست‌گذاری‌های آینده است.

جدول ۳. نتایج حاصل از OLS برای روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته

Variable	Coefficient [a]	StdError	t-Statistic	Probability [b]	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr [b]	VIF [c]
Intercept	۱۰/۶۹۵	۲/۰۶۱۷	۲/۷۳۸	*۰/۰۰۰۲	۱۰/۱۲۳	۱/۱۵۵	*۰/۰۰۰۲	----
تراکم ساختمانی	۰/۵۹۵۶	۰/۰۱۶۷	۲/۵۵۷۹	*۰/۰۰۰۳	۰/۹۳۳	۰/۶۲۰	*۰/۰۰۰۵	۱/۲۶۲۳
تراکم جمعیت	۰/۰۸۱۳	۰/۰۱۲۶	۳/۶۳۲۶	*۰/۰۰۵۲	۰/۱۰۲۲	۰/۷۸۸	*۰/۰۰۳۲	۱/۰۷۷۸
تراکم شبکه راه	۰/۱۶۲۷	۰/۰۲۰۲	۳/۲۸۰۳	*۰/۰۰۲۳	۰/۱۵۸۳	۰/۹۱۷	*۰/۰۰۳۳	۱/۹۰۷۲
کاربری صنعتی	۰/۷۳۹۲	۰/۰۱۷۲	۲/۰۰۹۷	*۰/۰۰۳۷	۰/۲۰۵۲	۰/۶۳۸۲	*۰/۰۰۲۳	۱/۹۰۷۲
کاربری تجاری	۰/۱۵۱۹	۰/۰۱۵۶	۱/۲۱۳۸	*۰/۰۰۲۱	۰/۱۵۱۶	۱/۰۰۲۲	*۰/۰۰۲۱	۱/۶۰۷۸
ترافیک	۰/۲۱۸	۰/۰۱۶۷	۱/۲۰۳۹	*۰/۰۰۷۹	۰/۱۳۷۵	۰/۱۳۸۲	*۰/۰۰۸۰	۱/۹۲۹۳
کاربری فضای سبز	۰/۰۹۰۹	۰/۰۲۳۰	۲/۷۸۵۹	*۰/۰۰۵۲	۰/۰۲۵۸	۰/۵۱۷۵	*۰/۰۰۶۲	۱/۲۸۶۳
ضریب اشغال	۰/۲۲۷۰	۰/۰۱۲۵	۱/۸۸۲۳	*۰/۰۰۰۹	۰/۰۹۱۱	۱/۵۹۹۸	*۰/۰۰۱۰	۱/۷۳۹۷

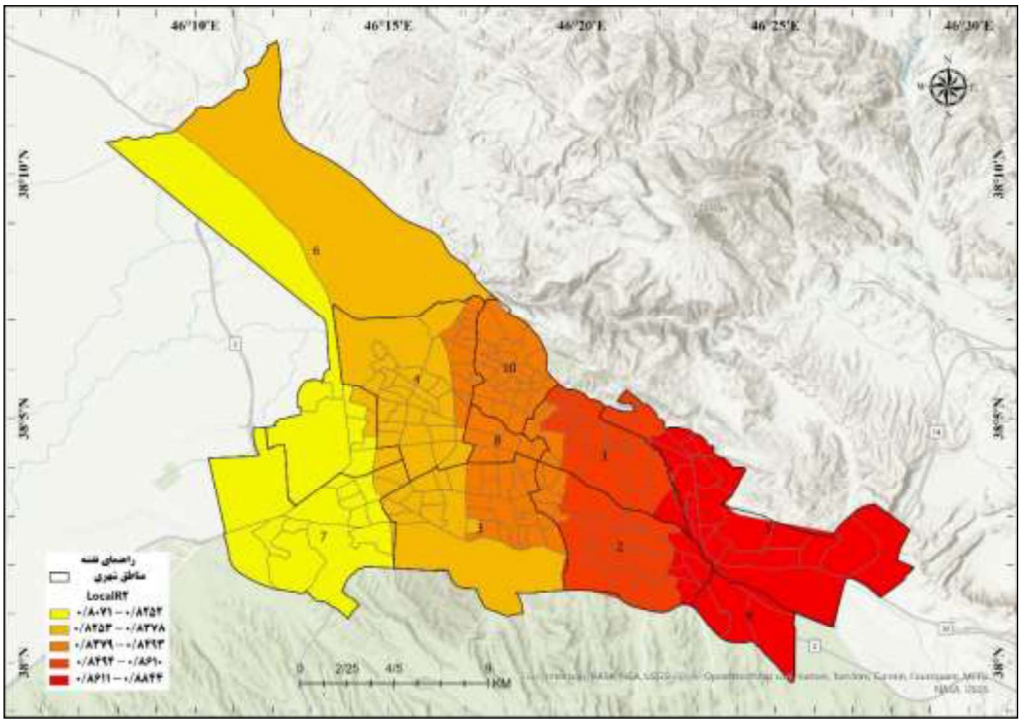
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

از آماره R^2 محلی در راستای درک ارتباط فضایی انتشار کربن با متغیرهای مستقل از قبیل تراکم ساختمانی، تراکم جمعیت، تراکم شبکه راه، کاربری صنعتی، کاربری تجاری، ترافیک، کاربری فضای سبز، ضریب اشغال در محلات کلانشهر تبریز استفاده‌شده است با توجه به این‌که مقدار این آماره بین صفر و یک می‌باشد، گویای این است که چگونه مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی مقادیر مشاهده‌شده متغیر وابسته (میزان انتشار کربن) را برازش می‌کند مقادیر بیشتر این آماره بیانگر عملکرد خوب مدل و مقادیر کم آن بیانگر عملکرد ضعیف مدل است بنابراین با توجه به مطالب ذکرشده شکل ۴-۲۳ نشان می‌دهد که مقادیر ضریب محلی در مورد ارتباط بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل بین ۰/۸۰ تا ۰/۸۸

قرار دارد که برازش خوب و با دقت بالا را نشان می‌دهد و نتایج این ضریب نشان می‌دهد که متغیر های مستقل از محلات شرقی تا محلات بخش مرکزی بیشترین تاثیر(با رنگ قرمز) و از بخش مرکزی تا غربی(از رنگ نارنجی به رنگ زرد) آن از میزان اثرات آن کاسته می شود و بیشتر مناطق ۵، ۱، ۹، ۲ را تحت تاثیر قرار می دهد.(شکل ۴-۲۴).

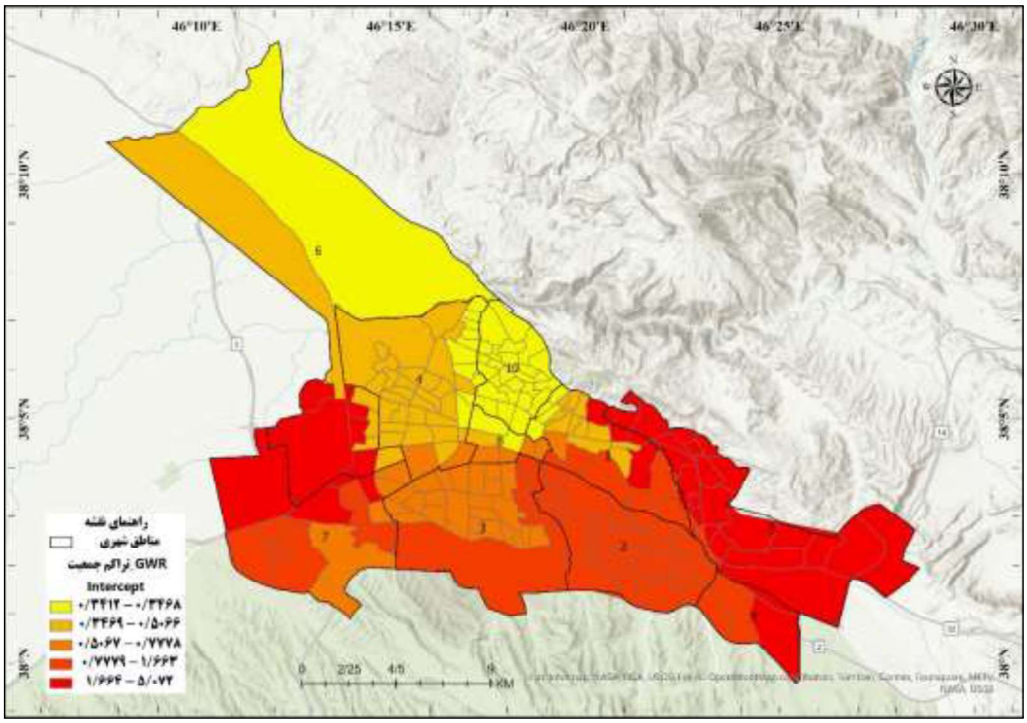
نقشه‌های ضریب محلی تخمین زده‌شده نشان می‌دهد که تأثیر متغیرهای مستقل در مدل به میزان قابل‌توجهی در محدوده موردمطالعه تغییر می‌کند و دارای جهت خاصی است اگر ضرایب رگرسیون محلی تخمین زده برای متغیر مستقل مثبت باشد، نشان‌دهنده این است که با افزایش سهم بر متغیر وابسته افزوده می‌شود و اگر ضرایب محلی تخمین زده‌شده منفی باشد، گویای آن است که با افزایش سهم متغیر مستقل، از سهم متغیر وابسته در محدوده موردنظر کاسته خواهد شد و همچنین در برخی از موارد، ضرایب محلی نزدیک به صفر هستند که نشان‌دهنده عدم تأثیر متغیرهای موردنظر بر نوسانات محلی موجود در مدل است.

ضرایب رگرسیون محلی تخمین‌زده شده برای متغیر تراکم جمعیت و انتشار کربن نشان می‌دهد که در اغلب محلات با افزایش متغیر تراکم جمعیت بر متغیر انتشار کربن افزوده شد است که این امر در محلات شرق و جنوب شهر به‌مراتب بیشتر از محلات شمال است (شکل ۴).



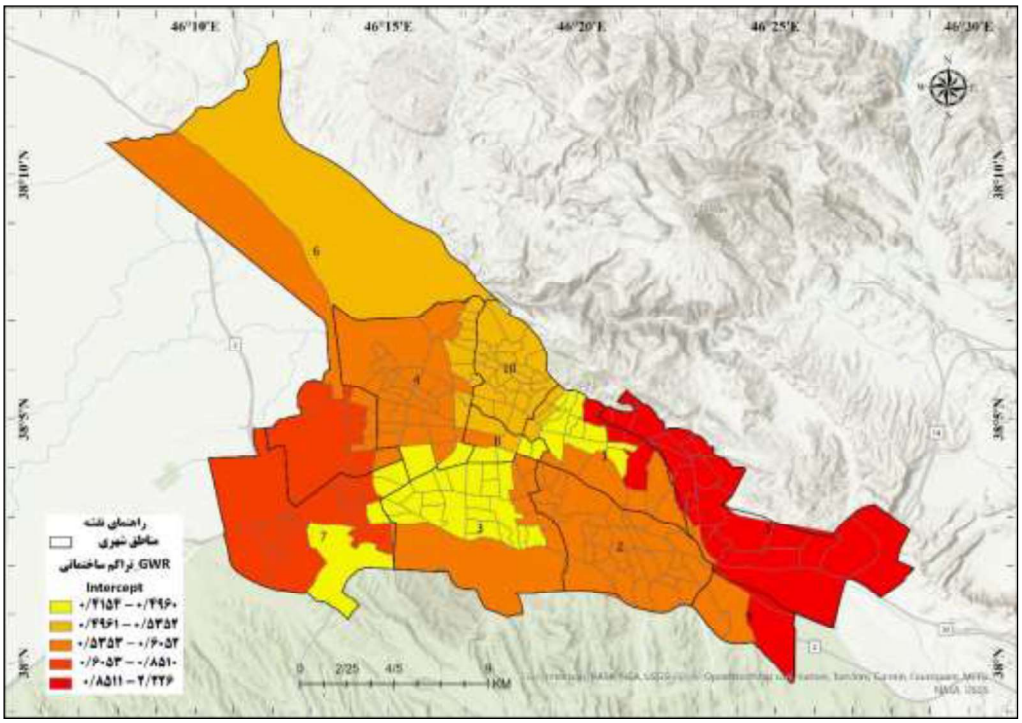
شکل۳. مقادیر R^2 محلی بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر برازش شده حاصل از رگرسیون وزنی جغرافیایی منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

۱. Intercept



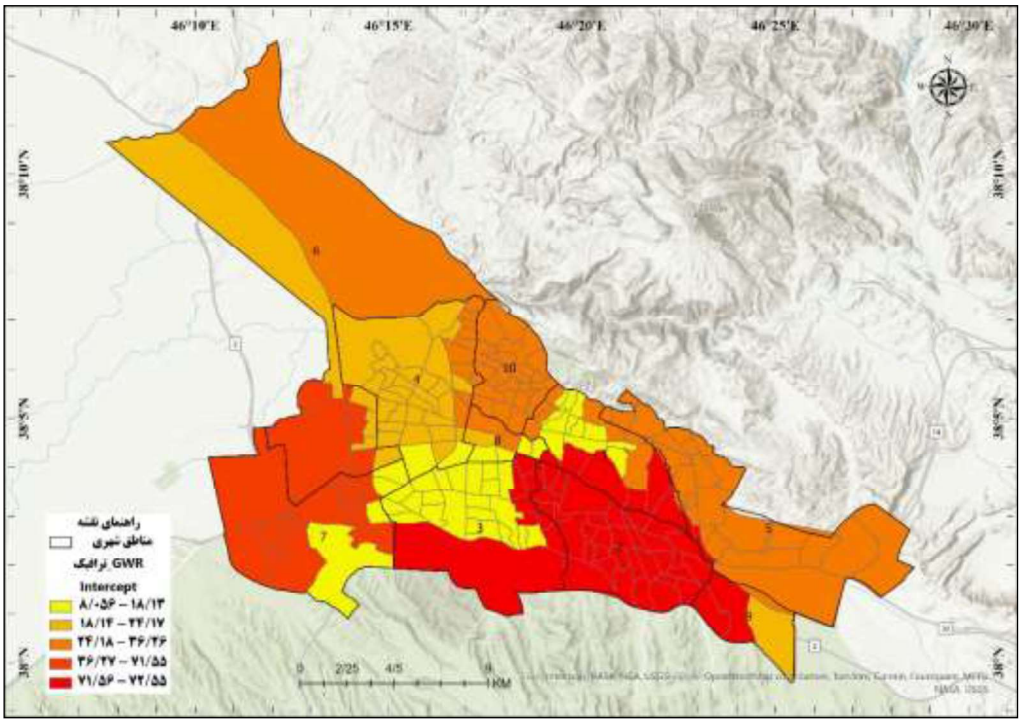
شکل ۴. ضرایب محلی تخمین زده شده برای متغیر مستقل (تراکم جمعیت) مورد استفاده شده در مدل منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

ضرایب رگرسیون محلی تخمین زده‌شده برای متغیر تراکم ساختمانی و میزان انتشار کربن نشان می‌دهد که بیشتر محلات در شرق و غرب با افزایش تراکم ساختمانی بر میزان انتشار کربن افزوده می‌شود این در حالی است که در محلات مرکزی عکس آن صادق بوده است (شکل ۵).



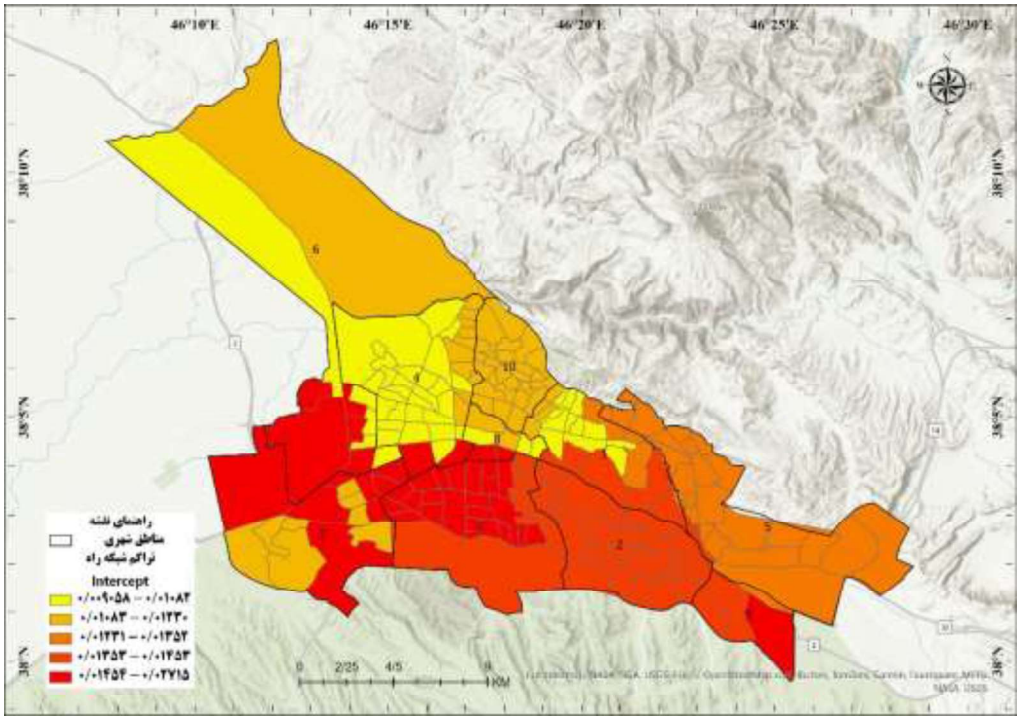
شکل ۵: ضرایب محلی تخمین زده شده برای متغیر مستقل (تراکم ساختمانی) مورد استفاده شده در مدل منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

ضرایب رگرسیون محلی تخمین زده شده برای متغیر ترافیک و انتشار کربن نشان می‌دهد که در اغلب محلات با افزایش متغیر ترافیک بر متغیر انتشار کربن افزوده شده است که این امر در محلات جنوب شهر به مراتب بیشتر از محلات شمال است در حالی که در بافت مرکزی از میزان آن کاسته می شود (شکل ۶).



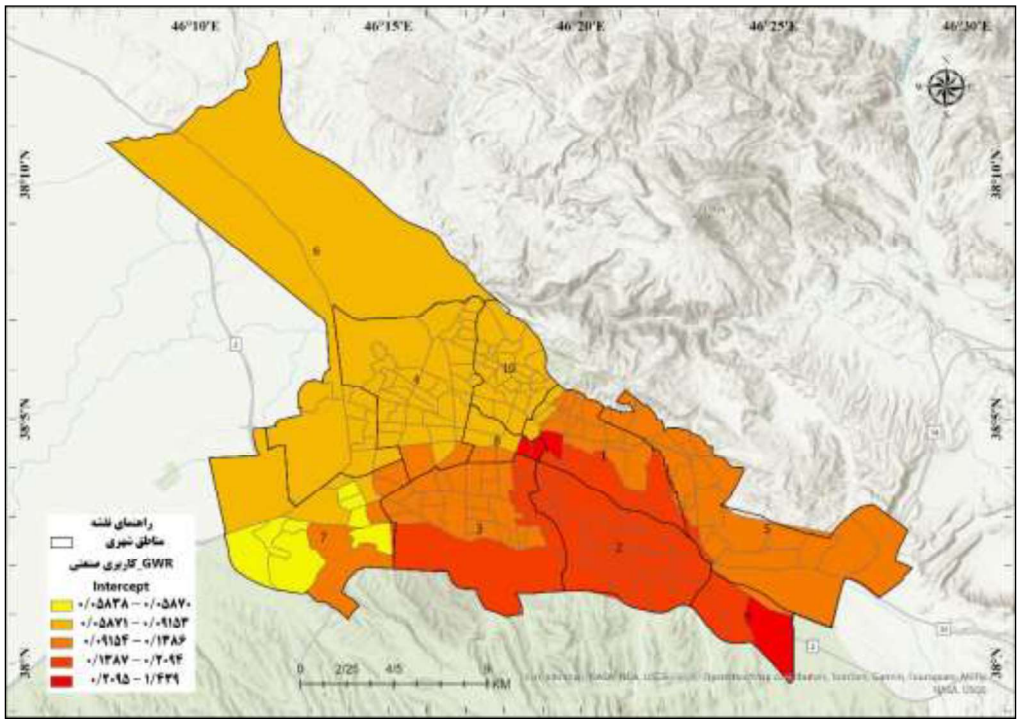
شکل ۶: ضرایب محلی تخمین زده شده برای متغیرهای مستقل (ترافیک) مورد استفاده شده در مدل منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

ضرایب رگرسیون محلی تخمین‌زده شده برای متغیر تراکم شبکه و انتشار کربن نشان می‌دهد که در اغلب محلات با افزایش متغیر شبکه راه بر متغیر انتشار کربن افزوده شده است که این امر در محلات جنوب شهر به‌مراتب بیشتر از محلات شمال و شرق شهر است (شکل ۴–۲۸).



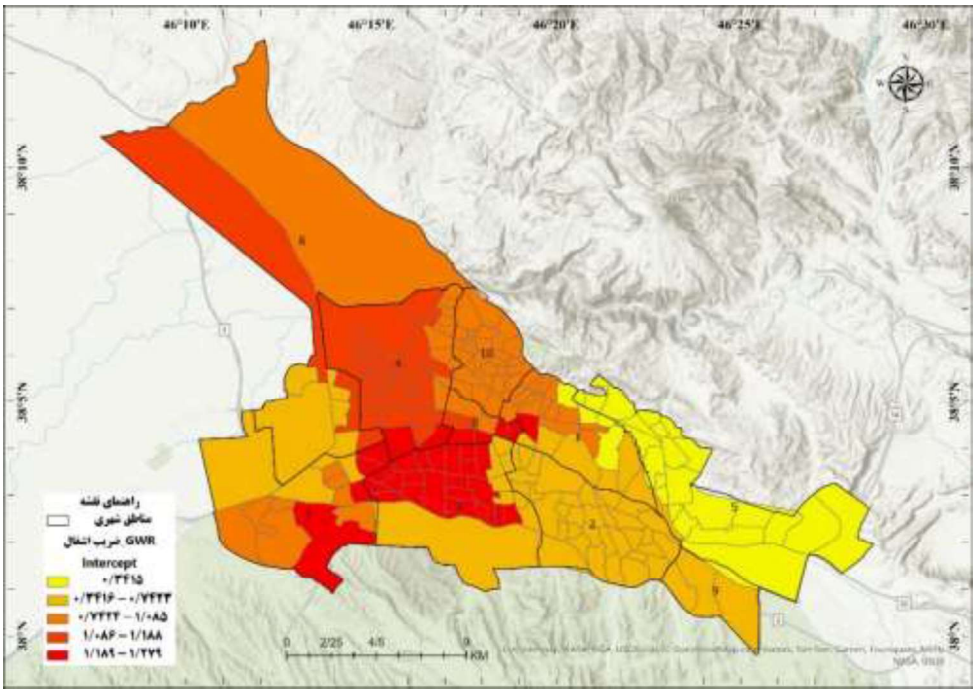
شکل ۷: ضرایب محلی تخمین زده شده برای متغیرهای مستقل (تراکم شبکه راه) مورد استفاده شده در مدل منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

ضرایب رگرسیون محلی تخمین‌زده شده برای متغیر کاربری‌های صنعتی و انتشار کربن نشان می‌دهد که در اغلب محلات با افزایش متغیر تراکم جمعیت بر متغیر انتشار کربن افزوده شده است که این امر در محلات جنوب شهر به‌مراتب بیشتر از محلات شمال و شرق و غرب کلانشهر تبریز است (شکل ۸).



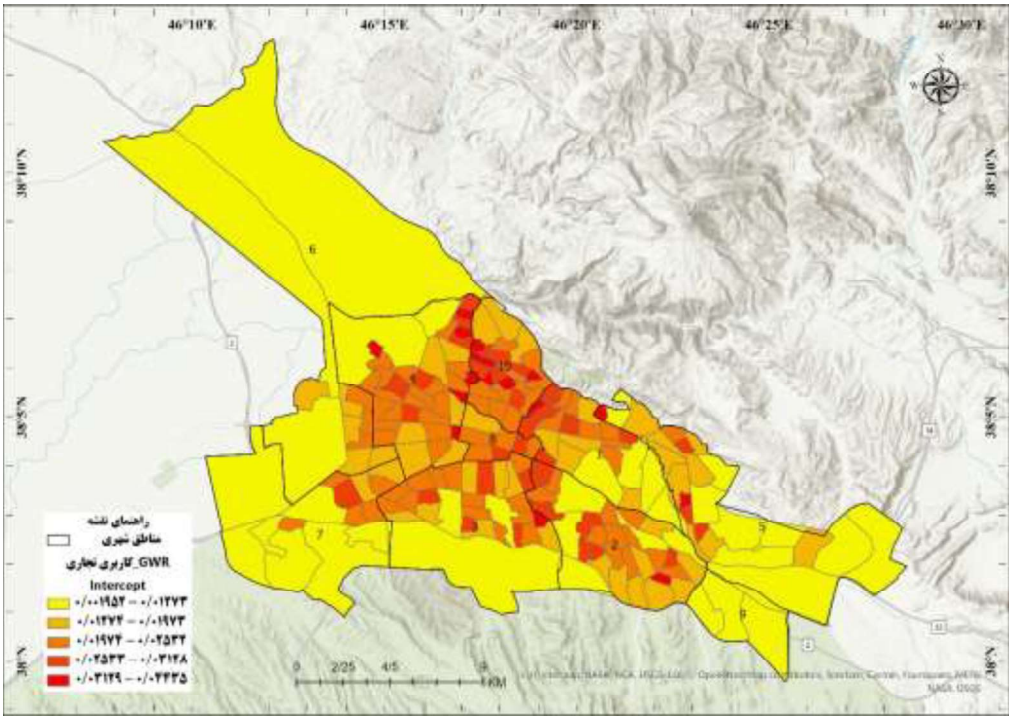
شکل ۸. ضرایب محلی تخمین زده شده برای متغیرهای مستقل (کاربری صنعتی) مورد استفاده شده در مدل منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

ضرایب رگرسیون محلی تخمین‌زده شده برای متغیر ضریب اشغال و انتشار کربن نشان می‌دهد که در اغلب محلات با افزایش متغیر ضریب اشغال بر متغیر انتشار کربن افزوده شده است که این امر در محلات غرب به‌مراتب بیشتر از محلات شمال، شرق و جنوب کلانشهر تبریز است (شکل ۸).



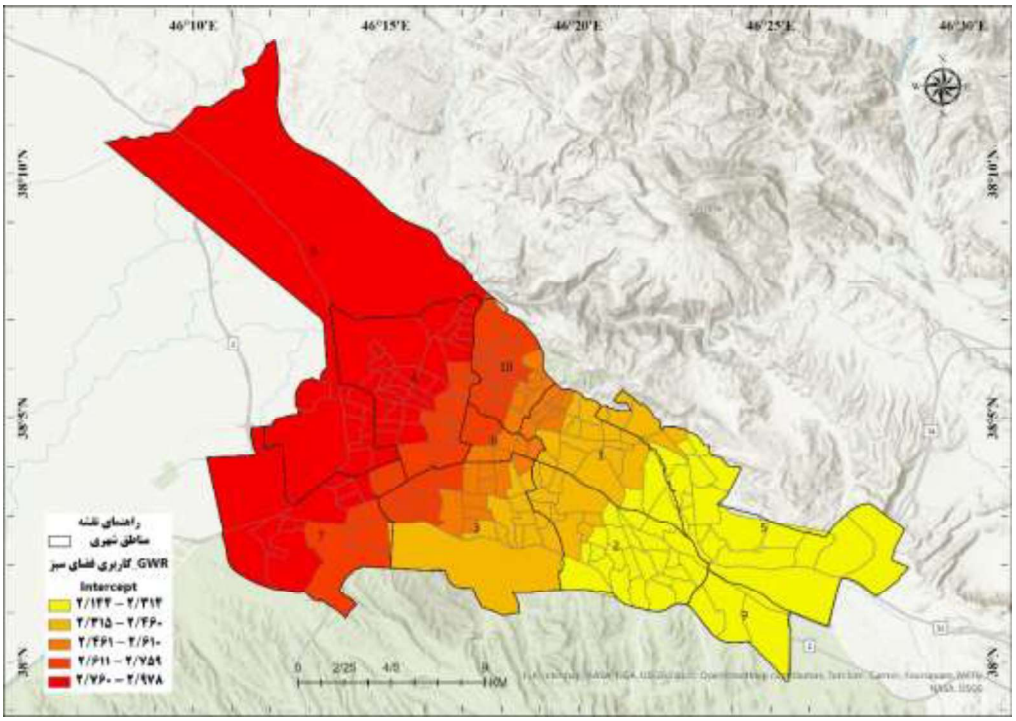
شکل ۹. ضرایب محلی تخمین زده شده برای متغیرهای مستقل (ضریب اشغال) مورد استفاده شده در مدل منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

ضرایب رگرسیون محلی تخمین‌زده شده برای متغیر کاربری‌های تجاری و انتشار کربن نشان می‌دهد که در اغلب محلات با افزایش متغیر کاربری تجاری بر متغیر انتشار کربن افزوده شده است که این امر در محلات بافت مرکزی کلاشهر تبریز و به‌مراتب بیشتر از محلات حاشیه‌ای آن است (شکل ۱۰).



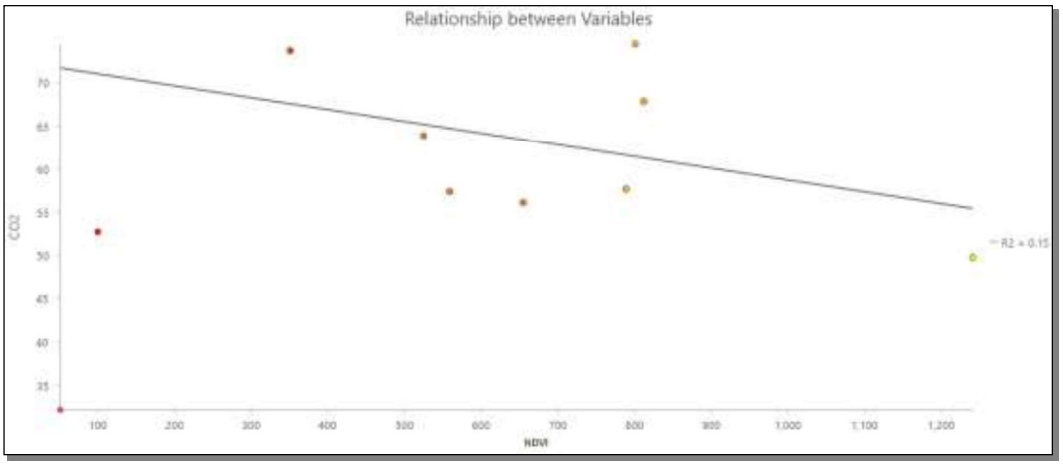
شکل ۱۰. ضرایب محلی تخمین زده شده برای متغیر مستقل (کاربری تجاری) مورد استفاده شده در مدل منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

ضرایب رگرسیون محلی تخمین‌زده شده برای متغیر کاربری فضای سبز و انتشار کربن نشان می‌دهد که در اغلب محلات با افزایش متغیر کاربری فضای سبز بر متغیر انتشار کربن، از میزان آن کاسته است که این امر در محلات غرب شهر به‌مراتب بیشتر از محلات شرق آن است (شکل۱۱).



شکل ۱۱. ضرایب محلی تخمین زده شده برای متغیر (کاربری فضای سبز) مورد استفاده شده در مدل منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

با توجه به اینکه رابطه بین فضای سبز شهری و انتشار دی‌اکسید کربن (CO_2) از زوایای مختلف قابل بررسی است. این رابطه نشان‌دهنده اثرات متقابل فضای سبز بر کاهش یا مهار انتشار گازهای گلخانه‌ای در محیط‌های شهری است. بنابراین شکل۱۲نشان می دهد که بین فضای سبز شهری با انتشار دی اکسید کربن یک رابطه عکس وجود دارد چرا که با افزایش میزان فضای سبز میزان انتشار دی اکسید کربن کاسته می شود(شکل ۱۲).



شکل ۱۲. رابطه بین متغیر فضای سبز با دی اکسید کربن منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

۴. بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که انتشار کربن در محلات کلان‌شهر تبریز دارای الگوی خوشه‌ای است و به‌طور مستقیم تحت تأثیر ساختار فضایی شهری قرار دارد. به‌ویژه، عواملی نظیر تراکم ساختمانی، تراکم جمعیت، تراکم شبکه راه، کاربری صنعتی، کاربری تجاری، ترافیک و میزان فضای سبز، نقش کلیدی در میزان انتشار کربن ایفا می‌کنند.

تحلیل نتایج حاصل از رگرسیون وزنی جغرافیایی نشان می‌دهد که کاربری صنعتی بیشترین اثر را بر انتشار کربن دارد. این امر منطقی به نظر می‌رسد، زیرا واحدهای صنعتی، به‌ویژه در مناطق پرتراکم شهری، سهم بالایی در تولید گازهای گلخانه‌ای دارند. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تراکم ساختمانی و ضریب اشغال، میزان انتشار کربن افزایش می‌یابد. این موضوع بیانگر آن است که سیاست‌های شهری که منجر به افزایش تراکم بدون برنامه‌ریزی مناسب می‌شوند، می‌توانند تأثیرات زیست‌محیطی قابل توجهی به همراه داشته باشند.

همچنین، یافته‌ها نشان می‌دهد که تراکم شبکه راه و میزان ترافیک از دیگر عوامل تأثیرگذار بر انتشار کربن هستند. توزیع نامتوازن شبکه حمل‌ونقل و وابستگی بالا به خودروهای شخصی، منجر به افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. این در حالی است که بررسی نقش کاربری فضای سبز نشان می‌دهد که این عامل تأثیر معکوسی بر میزان انتشار کربن دارد؛ به‌عبارت‌دیگر، افزایش فضای سبز می‌تواند به کاهش انتشار کربن کمک کند. این یافته اهمیت توسعه فضاهای سبز شهری را در راستای دستیابی به شهری پایدار و کم‌کربن برجسته می‌کند.

بنابراین پراکندگی انتشار کربن در سطح محلات نه تنها تحت تأثیر ساختار فضایی شهر است، بلکه به‌شدت به الگوهای توسعه شهری و توزیع فعالیت‌های اقتصادی وابسته است. مدیریت بهینه این ساختار می‌تواند نقشی کلیدی در کاهش آلودگی هوا داشته باشد، اما این امر مستلزم اتخاذ سیاست‌های چندبعدی است که شامل برنامه‌ریزی کاربری زمین، تنظیم تراکم شهری و بهبود زیرساخت‌های حمل‌ونقل می‌شود. یکی از چالش‌های اساسی در این زمینه، تمرکز فعالیت‌های صنعتی و تجاری در مناطق پرتراکم است که موجب افزایش میزان انتشار کربن شده است.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که الگوی انتشار کربن در محلات کلانشهر تبریز دارای خوشه‌بندی فضایی است و به‌صورت معناداری با عواملی نظیر کاربری صنعتی، تراکم ساختمانی، تراکم جمعیت، تراکم شبکه راه، ترافیک، کاربری تجاری و ضریب اشغال مرتبط است. در مقابل، کاربری فضای سبز نقش بازدارنده‌ای در افزایش انتشار دی‌اکسید کربن ایفا می‌کند. این یافته‌ها با نتایج مطالعات پیشین مانند یی در سال ۲۰۱۷ و سارکودی در سال ۲۰۲۰ مطابقت دارد و لذا سیاست‌گذاران شهری باید در راستای متوازن‌سازی توسعه شهری، کاهش ضریب اشغال، توسعه کاربری‌های کم‌کربن، افزایش فضاهای سبز و اتخاذ راهکارهای نوین مدیریت ترافیک گام بردارند. از جمله راهکارهای اجرایی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

بازنگری در توزیع کاربری‌های صنعتی و تجاری : اعمال محدودیت‌های زیست‌محیطی بر صنایع آلاینده و توسعه مناطق صنعتی در نواحی کم‌تراکم.

افزایش سرانه فضای سبز :گسترش پارک‌ها و فضاهای سبز در مناطق با تراکم بالای انتشار کربن.

بهینه‌سازی تراکم شهری :مدیریت توسعه شهری به نحوی که تراکم ساختمانی و جمعیتی منجر به افزایش آلودگی نشود.

بهبود سیستم حمل‌ونقل عمومی :کاهش وابستگی به وسایل نقلیه شخصی و ترویج استفاده از وسایل حمل‌ونقل پاک.

استفاده از فناوری‌های نوین در پایش و کاهش آلودگی :بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند شهری برای کنترل انتشار کربن و ارتقای کیفیت هوای شهری.

محدودیت‌های پژوهش

– مشکل دسترسی به داده‌های به روز و دقیق؛

–عدم رغبت و تمایل برخی از سازمان‌ها به مشارکت در ارائه داده‌ها و همکاری به علت عدم اعتماد.

References

Ahadnejad Reveshty, M., Heydari, M. T., & Tahmasebimoghaddam, H. (2024). Spatial analysis of the factors impacting on the spread of Covid-19 in the neighborhoods of Zanjan, Iran. *Spatial Information Research*, *32*(2), 151-164. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2024SpInR..32..151A/doi:10.1007/s41324-023-00550-0

Baur, A. H., Förster, M., & Kleinschmit, B. (2015). The spatial dimension of urban greenhouse gas emissions: analyzing the influence of spatial structures and LULC patterns in European cities. Landscape ecology, 30, 1195-1205. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2015LaEco..30.1195B/doi:10.1007/s10980-015-0169-5

Clark, P. U., Shakun, J. D., Marcott, S. A., Mix, A. C., Eby, M., Kulp, S., ... & Plattner, G. K. (2016). Consequences of twenty-first-century policy for multi-millennial climate and sea-level change. Nature climate change, 6(4), 360-369. DOI: 10.1038/nclimate2923

Cui, T., & Pan, K. (2024). An analysis and prediction of carbon emissions in the sphere of consumer lifestyles in Beijing. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(6), 9596-9613. https://doi.org/10.1007/s11356-023-31748-2

Ghorbani R, Asghari Zamani A, gholamhosseini R. (2023). The Analysis of Urban Form Elements Effect on the Behaviour of the travel and to Develop low-carbon City Case Study: Tabriz Metropolitan. *jgs*. *23*(71),7 doi:10.61186/jgs.23.71.123 (In persian).

Herold, M., Scepan, J., & Clarke, K. C. (2002). The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. Environment and planning A, 34(8), 1443-1458

Liu, J., Low, S. P., & Wang, L. F. (2018). Critical success factors for eco-city development in China. *International Journal of Construction Management*, *18*(6), 497-506. https://doi.org/10.1080/15623599.2017.1351731

Liu, L., Wang, Z., Li, X., Liu, Y., & Zhang, Z. (2022). An evolutionary analysis of low-carbon technology investment strategies based on the manufacturer-supplier matching game under government regulations. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(29), 44597-44617. https://doi.org/10.1007/s11356-021-18374-6

Liu, Y., Song, Y., & Song, X. (2014). An empirical study on the relationship between urban compactness and CO2 efficiency in China. Habitat International, 41, 92-98. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.07.005

Ma, J., Zhou, S., Mitchell, G., & Zhang, J. (2018). CO2 emission from passenger travel in Guangzhou, China: A small area simulation. Applied Geography, 98, 121-132. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.07.015

MacMunn, A., (2018 April 17). More than 4 in 10 Americans Live with Unhealthy Air According to 2018 'State of the Air' Report, 2018 [cited 2020 April 18, 2020]; Available from. https://www.lung.org/media/press-releases/2018-state-of-the-air.

Makido, Y., Dhakal, S., & Yamagata, Y. (2012). Relationship between urban form and CO2 emissions: Evidence from fifty Japanese cities. Urban Climate, 2, 55-67. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2012.10.006

Martínez-Zarzoso, I., Bengochea-Morancho, A., & Morales-Lage, R. (2007). The impact of population on CO 2 emissions: evidence from European countries. Environmental and Resource Economics, 38, 497-512. DOI: 10.1007/s10640-007-9096-5

Sarkodie, S. A., Owusu, P. A., & Leirvik, T. (2020). Global effect of urban sprawl, industrialization, trade and economic development on carbon dioxide emissions. Environmental Research Letters, 15(3), 034049.

Shi, F., Liao, X., Shen, L., Meng, C., & Lai, Y. (2022). Exploring the spatiotemporal impacts of urban form on CO2 emissions: Evidence and implications from 256 Chinese cities. Environmental Impact Assessment Review, 96, 106850. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106850

Shi, K., Chen, Y., Li, L., & Huang, C. (2018). Spatiotemporal variations of urban CO2 emissions in China: A multiscale perspective. Applied Energy, 211, 218-229. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.042

Shi, Z. (2019). Urban Air Pollution. *Atmospheric Science for Environmental Scientists*, 331.

Wallace, J. M., Held, I. M., Thompson, D. W., Trenberth, K. E., & Walsh, J. E. (2014). Global warming and winter weather. Science, 343(6172), 729-730.

Williams, J. (2016). Can low carbon city experiments transform the development regime? *Futures*, *77*, 80-96. https://doi.org/10.1016/j.futures.2016.02.003

Wu, D., Lin, J. C., Oda, T., & Kort, E. A. (2020). Space-based quantification of per capita CO2 emissions from cities. Environmental Research Letters, 15(3), 035004.

Wu, W. (2019). Modern urban planning and design based on low carbon economy concept. Eindhoven: Open House International. 44(3):108-111. DOI:10.1108/OHI-03-2019-B0028.

Yousefi, Z., & Dadashpoor, H. (2020). How do ICTs affect urban spatial structure? A systematic literature review. Journal of Urban Technology, 27(1), 47-65. DOI: 10.1080/10630732.2019.1689593

Zhou, Y., & Liu, Y. (2016). Does population have a larger impact on carbon dioxide emissions than income? Evidence from a cross-regional panel analysis in China. Applied Energy, 180, 800-809. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.035

Zhu, B., Guo, R., Deng, Z., Zhao, W., Ke, P., Dou, X., & Liu, Z. (2021). Unprecedented decarbonization of China's power system in the post-COVID era. ArXiv preprint arXiv: 2104.06904. https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.06904