



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=fa>

Geography and Environmental Planning

E-ISSN: 2252- 0910

Document Type: Research Paper

Vol. 37, Issue 1, No.101, 2026, pp. 107- 136

Received: 09/04/2026 Accepted: 10/06/2026

The Role of Urban Morphology in Mitigating the Impacts of Climate Change (Case Study: District 4 of Urmia)

Erfan Mahmoudi

Ph.D. student in Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology,
Tehran, Iran
mahmoudie40@gmail.com

Samaneh Jalili Sadrabad  *

Associate professor, Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science
and Technology, Tehran, Iran
s_jalili@iust.ac.ir

Negin Habibpour

Ph.D. student in Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Imam Khomeini International University,
Qazvin, Iran
negin.habibpour78@gmail.com

Abstract

In recent decades, climate change has evolved from a purely global environmental challenge into a structural and operational crisis at the urban scale. As climate change intensifies, cities—serving as the primary hubs of population concentration and human activity—exhibit the highest vulnerability to natural hazards. Consequently, exacerbation of this phenomenon and the emergence of intra-urban thermal inequalities have underscored the urgent need to rethink the physical structure of cities. This study aimed to analyze the urban morphology of District 4 in Urmia and elucidate its role in mitigating the effects of climate change. The research adopted a descriptive-analytical methodology based on quantitative and spatial analyses. Data were collected by using GIS base maps, Landsat satellite imagery, space syntax analysis conducted with DepthmapX software, and physical-environmental indicators. The MEREC method was employed to weight 13 research indicators. The results indicated that the thermal information index of the area with a weight of 0.142 played the most significant role in distinguishing neighborhoods, reflecting spatial inequality in surface heat distribution. Analyses revealed that the western and central zones characterized by low-rise fabric and medium density exhibited more balanced thermal conditions. In contrast, the concentration of barren lands and impervious surfaces in the eastern sector had led to the formation of urban heat island hotspots. Furthermore, the hierarchical structure of the street network—featuring high connectivity, choice, and integration along main axes, as well as greater depth in residential fabrics—held potential for climate-oriented readjustment. Accordingly, a proposed morphological model was

*Corresponding Author

Mahmoudi, E. , Jalili Sadrabad, S. and Habibpour, N. (2026). The Role of Urban Morphology in Mitigating the Impacts of Climate Change (Case Study: District 4 of Urmia). *Geography and Environmental Planning*, 37 (1), 107 - 136 .



2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/gep.2026.148608.1779

presented in the form of functional zoning (A to D), emphasizing the strengthening of continuous green infrastructure, density regulation, and climate-oriented rearrangement of barren lands. By integrating topological analysis, physical indicators, and thermal data at the neighborhood scale, this study provided a localized framework for enhancing climate resilience.

Keywords: Urban Morphology, Climate Change, Space Syntax, MEREC Method, Urmia City.

Introduction

In the contemporary world, sustainable urban development extends beyond economic and social dimensions to encompass the preservation of ecological balance and adaptation to climate change. Through its profound impacts on food security and human settlements, climate change has posed serious challenges to cities—entities that are simultaneously the primary sources of greenhouse gas emissions and the most vulnerable points to hazards, such as heatwaves and floods. In this context, urban morphology, which examines the physical form, the fabric of urban blocks, and the arrangement of open spaces, plays a decisive role in either exacerbating or mitigating phenomena, such as the urban heat island effect and energy consumption.

Urmia, the capital of West Azerbaijan Province, is significantly affected by drying of Lake Urmia—a trend that has led to salt storms, reduced humidity, and intensified drought, all of which threaten the quality of life of its citizens. District 4 of this city characterized by its historical fabric and relatively high density serves as a prime example of the challenges associated with unbalanced urban development. Given that previous studies have largely been descriptive and have insufficiently addressed the analytical link between urban morphology and mitigation of climate impacts, this research was conducted with the aim of assessing the current status and proposing a morphological model to reduce the effects of climate change in District 4 of Urmia. The novelty of this study lay in the integration of topological analysis of the road network, physical-environmental indicators, and thermal data at the neighborhood scale, as well as the presentation of a localized framework for addressing these challenges.

Materials & Methods

This research adopted a descriptive-analytical method with an applied orientation and a quantitative nature based on the analysis of spatial data and spatial configuration in District 4 of Urmia. The study area covered approximately 1,221 hectares, accounting for about 10.9% of the total city area. According to the 2019 Detailed Plan, the district had a population of over 137,140 residents. Data collection was carried out through a combination of library research, field surveys, GIS base maps, and satellite imagery. Spatial data analysis was performed using ArcGIS software, while spatial configuration analysis was conducted by using DepthmapX software. The novel MEREC method was employed to weight the criteria.

The process of screening and final selection of indicators was carried out in 3 main stages, ultimately resulting in the selection of 13 indicators across 4 categories: (1) physical-environmental and social characteristics, (2) green and natural elements, (3) accessibility, and (4) topological characteristics and road network configuration. The MEREC method derived final weights by constructing a decision matrix, applying linear normalization, and calculating the performance deviations of alternatives after removing each criterion. This method provided objective weights without relying on subjective judgments. Finally, by integrating the weighting results with spatial analyses, the morphological status of the district was evaluated and a proposed model for mitigating climate impacts was presented.

Research Findings

The research findings indicated that the morphology of District 4 in Urmia functioned as a climatic regulatory system, playing an active role in either generating or mitigating thermal stresses. The most prominent finding was the high weight of the thermal information index of the area (0.142) within the MEREC model, indicating that thermal differences among neighborhoods had contributed most significantly to distinguishing their climatic status. This demonstrated that the impacts of climate change were not distributed uniformly but were instead reproduced within the framework of spatial patterns shaped by urban form. The integrated analysis of physical-environmental indicators revealed a type of morphological duality within the district. The western and central zones characterized by the predominance of low-rise fabric and medium building density exhibited more balanced temperature levels. In contrast, the eastern neighborhoods had become hotspots for intensifying the heat island effect due to the concentration of barren lands and higher surface imperviousness. From a topological perspective, the road network structure of the district was defined by the concentration of connectivity, integration, and choice along the main axes, as well as greater depth within residential fabrics. Although the concentration of barren lands in the eastern sectors acted as a warming intensifier, it also provided important

strategic capacity for climate-oriented reorganization. Based on strategic analysis, the optimal morphological model was formulated around 4 principles: (1) regulating and controlling density and building height, (2) strengthening continuous green infrastructure, (3) climate-oriented rearrangement of barren lands, and (4) managing road network topology. Accordingly, the district was divided into 4 functional zones: A (stabilization of the status quo), B (qualitative improvement), C (network enhancement), and D (land use conversion).

Discussion of Results & Conclusion

The results indicated that the spatial structure of the district functioned as a climatic regulatory system. Specifically, the thermal information of the area played the most significant role in distinguishing between neighborhoods and revealed spatial inequality in the distribution of heat. Analyses demonstrated that the low-rise fabric and medium density in the western and central sections had created more balanced thermal conditions. In contrast, barren lands and the lack of vegetation cover in the eastern zone had transformed it into a heat island hotspot. Furthermore, while the hierarchical structure of the road network was suitable for the cold climate, it required climate-oriented readjustment.

The findings underscored that climate resilience lay in the targeted rearrangement of the existing urban structure. Accordingly, a proposed morphological model based on 4 functional zones (A to D) was presented, which included stabilizing the western fabric, strengthening the main axes, facilitating ventilation in deep textures, and reorganizing the eastern barren lands. This model, by emphasizing continuous green infrastructure and natural ventilation corridors, facilitated the transition toward a climate-responsive morphology. For future studies, the use of microclimate simulation models is recommended to further validate and refine these findings.

مقاله پژوهشی

نقش ریخت‌شناسی شهری بر کاهش تأثیرات تغییر اقلیم (نمونه مطالعاتی: منطقه ۴ شهر ارومیه)

عرفان محمودی، دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

mahmoudie40@gmail.com

سمانه جلیلی صدرآباد *، دانشیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

s_jalili@iust.ac.ir

نگین حبیب‌پور، دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

negin.habibpour78@gmail.com

چکیده

در دهه‌های اخیر، پدیده تغییر اقلیم از یک چالش زیست‌محیطی صرفاً جهانی به یک بحران ساختاری و عملیاتی در مقیاس شهری تبدیل شده است. همچنین، با افزایش شهرنشینی، رشد جمعیت و تغییرات کاربری اراضی، شهرها در تعامل با نوسانات اقلیمی و روندهای گرمایشی، بیش از پیش در معرض تنش‌ها و مخاطرات محیطی قرار گرفته‌اند؛ بنابراین، تشدید تغییر اقلیم و بروز نابرابری‌های حرارتی درون‌شهری، ضرورت بازاندیشی در ساختار کالبدی شهرها را دوچندان کرده است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل ریخت‌شناسی شهری منطقه ۴ شهر ارومیه و تبیین نقش آن در تقلیل اثرات تغییر اقلیم انجام شده است. روش تحقیق توصیفی تحلیلی و مبتنی بر تحلیل‌های کمی و مکانی است. داده‌ها از طریق نقشه‌های پایه GIS، تصاویر ماهواره‌ای لندست، تحلیل چیدمان فضا در نرم‌افزار DepthmapX و شاخص‌های کالبدی - زیست‌محیطی گردآوری شد. برای وزن‌دهی ۱۳ شاخص پژوهش از روش مبتنی بر حذف اثرات معیارها (MERECE) استفاده شد. نتایج نشان داد شاخص اطلاعات گرمایی محدوده با وزن ۰/۱۴۲ بیشترین نقش را در تمایز محلات داشته و بیانگر نابرابری فضایی در توزیع گرمایش سطحی است. تحلیل‌ها حاکی از آن است که پهنه‌های غربی و مرکزی با بافت کم‌ارتفاع و تراکم متوسط، شرایط گرمایی متعادل‌تری دارند. در مقابل، تمرکز اراضی بایر و سطوح نفوذناپذیر در بخش شرقی به شکل‌گیری کانون‌های جزیره گرمایی انجامیده است. همچنین، ساختار سلسله‌مراتبی شبکه معابر، با اتصال، انتخاب و هم‌پیوندی بالا در محورهای اصلی و عمق بیشتر در بافت‌های مسکونی، ظرفیت بازتنظیم اقلیم‌محور را داراست. بر این اساس، الگوی ریخت‌شناسانه پیشنهادی در قالب پهنه‌بندی عملکردی (A تا D) ارائه شد که بر تقویت زیرساخت سبز پیوسته، تنظیم تراکم و بازآرایی اقلیم‌محور اراضی بایر تأکید دارد. پژوهش حاضر با تلفیق تحلیل توپولوژیک، شاخص‌های کالبدی و داده‌های دمایی در مقیاس محله‌ای، چارچوبی بومی برای ارتقای تاب‌آوری اقلیمی ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ریخت‌شناسی شهری، تغییر اقلیم، تحلیل چیدمان فضا، روش MERECE، شهر ارومیه

*نویسنده مسئول

محمودی، عرفان، جلیلی صدرآباد، سمانه و حبیب‌پور، نگین. (۱۴۰۵). نقش ریخت‌شناسی شهری بر کاهش تأثیرات تغییر اقلیم (نمونه مطالعاتی: منطقه ۴ شهر ارومیه)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۷ (۱)، ۱۳۶-۱۰۷.



مقدمه

در دنیای امروز، توسعه شهری پایدار به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین چالش‌های شهرسازی، نه تنها بر جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی تمرکز دارد، بر حفظ تعادل اکولوژیکی و انطباق با تغییر اقلیم تأکید می‌کند (Egerer et al., 2021, p. 1). تغییر اقلیم با شدت گرفتن تأثیرات خود بر جوامع بشری، به تهدیدی ویژه برای سیستم‌های انسانی و بقای بشریت بدل شده است (Galan & Perez, 2025, p. 3; Dablander et al., 2024, p. 1; Rolnick et al., 2022, p. 43). این چالش به‌طور خاص امنیت غذایی (Lee et al., 2024, p. 1)، تولیدات کشاورزی و سکونتگاه‌های انسانی را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده (Bibi & Rahman, 2023, p. 1; McGranahan et al., 2007, p. 18) و بدین ترتیب به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های اجتماعی امروز تبدیل شده است (Sun et al., 2024, p. 2). شهرها به‌عنوان متراکم‌ترین و پیچیده‌ترین شکل سکونتگاه‌های انسانی، نه تنها از آسیب‌پذیرترین نقاط در برابر پیامدهای تغییر اقلیم هستند، کانون اصلی اقدامات سازگاری و کاهش اثرات این پدیده نیز به‌شمار می‌روند (Aboagye & Sharifi, 2024, p. 1). به‌عبارتی، تغییر اقلیم یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های بشریت در دهه‌های اخیر به‌شمار می‌رود که نه تنها اکوسیستم‌های طبیعی را تحت تأثیر قرار داده، ساختارهای شهری و الگوهای سکونتگاهی انسان‌ها را نیز به‌شدت دگرگون کرده است (Junqueira et al., 2021, p. 380). در این میان، تغییرات شدید آب‌وهوایی به‌عنوان یکی از پیامدهای مهم این پدیده، تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌ها، زیرساخت‌ها و جوامع انسانی محسوب می‌شوند و با گرم‌تر شدن زمین، فراوانی و شدت این رویدادها افزایش می‌یابد و پیامدهای گسترده‌ای در پی دارد (Shoja et al., 2025, p. 2). این پدیده با رشد سریع جمعیت و گسترش شهرنشینی تشدید شده و این موضوع از دهه ۱۹۷۰ میلادی، به‌ویژه پس از بحران انرژی، به‌طور گسترده‌ای مطرح شد. انسان تأثیر عمیقی بر محیط زیست وارد می‌کند؛ به‌طوری‌که افزایش شهرنشینی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییرات گسترده‌ای در اقلیم مناطق ایجاد می‌کند (حسنی و مفیدی‌شمیرانی، ۱۳۹۹، ص. ۴۶۲). به‌طور میانگین، در سطح کشور روند افزایشی دما مشاهده شده و دمای کمینه و بیشینه به ترتیب حدود ۱/۹ و ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته‌اند (Namroodi et al., 2021, p. 1).

بر پایه گزارش‌های سازمان ملل متحد، شهرها که میزبان بیشترین درصد جمعیت جهان‌اند، اصلی‌ترین منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای به حساب می‌آیند و در برابر پدیده‌های اقلیمی مانند گرمای شدید، سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها آسیب‌پذیر هستند (Parmesan et al., 2022). در این زمینه، ریخت‌شناسی شهری که به بررسی شکل فیزیکی شهرها می‌پردازد (De Oliveira, 2022) نقش محوری در تشدید یا کاهش این تأثیرات دارد (Javanroodi et al., 2018, p. 2)؛ زیرا اقلیم شهری توسط ساختار فضایی شهر، بافت بلوک‌ها، فرم ساختمان‌ها، آرایش فضاها، باز و عوامل مشابه تعیین می‌شود (Xu et al., 2019, p. 1). بر این اساس، شهرهای پرتراکم با ساختمان‌های بلند اغلب به‌عنوان جزایر گرمایی شهری عمل می‌کنند و دما را افزایش می‌دهند؛ امری که نه تنها مصرف انرژی را بالا می‌برد، سلامت عمومی ساکنان را نیز به خطر می‌اندازد (Parsaee et al., 2019, p. 2). در این چارچوب، ریخت‌شناسی شهری به‌مثابه کالبد فیزیکی شهر، شامل الگوی استقرار ساختمان‌ها، نحوه آرایش بلوک‌های شهری، ساختار شبکه معابر، نسبت فضاها، باز به ساخته‌شده و میزان تراکم کالبدی است که می‌تواند بر جریان هوا، جذب و بازتاب تابش خورشیدی و در نهایت

بر الگوی توزیع حرارت در سطح شهر اثرگذار باشد (Guller & Toy, 2024; Sanaieian et al., 2014). موارد بیان‌شده، نشان‌دهنده پتانسیل جهانی این رویکرد برای شهرهای آسیب‌پذیر هستند؛ بنابراین، با توجه به کمبود مطالعات بومی در ایران، انجام پژوهش حاضر ضرورتی دوچندان می‌یابد.

درحالی‌که در بسیاری از مطالعات بین‌المللی رابطه میان ریخت‌شناسی شهری و پدیده‌هایی مانند جزیره حرارتی شهری و آسایش حرارتی بررسی شده است (Guller & Toy, 2024; Elkhazindar et al., 2022; He et al., 2020)، در ایران این پیوند به‌ویژه در مقیاس محله‌ای و با رویکرد تحلیل فضایی و توپولوژیک کمتر مورد توجه قرار گرفته و همین امر بیانگر وجود شکاف دانشی در این حوزه است.

در ایران، شهر ارومیه به‌عنوان مرکز استان آذربایجان غربی با رشد جمعیت سالانه حدود ۱/۵ تا ۲ درصد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)، با چالش‌های شدیدی ناشی از خشک‌شدن دریاچه ارومیه روبه‌رو است. چنین روندی، نه تنها اکوسیستم منطقه را تهدید می‌کند، منجر به طوفان‌های نمکی، کاهش رطوبت خاک، افزایش تبخیر و تشدید خشکسالی‌ها شده است که مستقیماً بر کیفیت زندگی شهری تأثیرگذار است. این تغییرات، شدت و نحوه بروز اثرات خود را در همه نقاط شهر یکسان نشان نمی‌دهند؛ بلکه فرم، شاکله و ریخت‌شناسی هر منطقه در میزان آسیب‌پذیری آن نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. منطقه ۴ شهر ارومیه، به‌عنوان یکی از مناطق با تراکم نسبتاً بالای جمعیت و برخوردار از بخش‌هایی از بافت تاریخی شهر، نمونه‌ای بارز از چالش‌های ناشی از توسعه نامتوازن شهری است؛ بنابراین، ریخت‌شناسی این منطقه می‌تواند نقش مستقیمی در میزان آسیب‌پذیری آن در برابر تغییر اقلیم داشته باشد. اهداف این پژوهش عبارت‌اند از:

- ارزیابی و تحلیل وضعیت موجود ریخت‌شناسی شهری منطقه ۴ شهر ارومیه؛
 - ارائه الگویی ریخت‌شناسانه برای تقلیل اثرات تغییر اقلیم.
- خلاً موجود در مطالعات پیشین نیز اهمیت این موضوع را تقویت می‌کند؛ زیرا با وجود مطالعات کمی انجام‌شده در زمینه جزیره حرارتی و آسایش حرارتی ارومیه (علبدینی و همکاران، ۱۴۰۳ الف؛ تیموری و همکاران، ۱۴۰۱)، نقش مورفولوژی در کاهش اثرات تغییر اقلیم کمتر مورد توجه قرار گرفته است؛ بنابراین پژوهش حاضر در پی پاسخگویی به سؤالات زیر است:
- وضعیت موجود ریخت‌شناسی شهری در منطقه ۴ شهر ارومیه چگونه است؟
 - چه الگوی ریخت‌شناسانه‌ای می‌تواند به تقلیل اثرات تغییر اقلیم در منطقه ۴ شهر ارومیه کمک کند؟

پیشینه پژوهش

در طی سال‌ها و دهه‌های اخیر مطالعات زیادی در ارتباط با ریخت‌شناسی شهری یا تغییر اقلیم انجام شده است. در این بخش از پژوهش، به بررسی مقالات معتبر جهانی مرتبط با این موضوع پرداخته می‌شود؛ به‌طور مثال در مطالعه‌ای، پژوهشگران با بهره‌گیری از مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین مانند XGBoost و ANN، اثر هم‌افزایی پارامترهایی چون تراکم، جهت‌گیری و پوشش گیاهی را بررسی کرده و نشان داده‌اند که بهینه‌سازی ترکیبی این پارامترها می‌تواند

دمای شهری را ۲ تا ۴ درجه سلسیوس کاهش و مصرف انرژی سرمایشی را تا ۲۵ درصد پایین آورد (Wang et al., 2025). در همین راستا، مروری بر مطالعات ۲۲ کشور نشان داد که کشور چین با ۴۶ درصد، بیش‌تاز بهینه‌سازی چندهدفه فرم شهری است. در این میان، الگوریتم‌های تکاملی مانند NSGA-II برای کاهش اثرات جزیره گرمایی پیشنهاد شده و متغیرهای کلیدی شامل جهت‌گیری، نسبت پنجره به دیوار و ارتفاع ساختمان معرفی شده‌اند (Castrejon-Esparza et al., 2025). همچنین، پژوهشی چارچوبی برای افزایش تاب‌آوری سیستم‌های انرژی در برابر رویدادهای اقلیمی پیشنهاد کرده است که ریخت‌شناسی شهری می‌تواند تقاضای انرژی را تا ۲۷ درصد افزایش اما هزینه‌ها را تا ۳۰ درصد کاهش دهد (Javanroodi et al., 2023). در اقلیم گرم و خشک نیز شبیه‌سازی‌های پارامتریک ENVI-met نشان داد که اصلاح هندسه شهری دمای فضاهای باز را کاهش و جریان هوا را بهبود می‌بخشد (Mahmoud et al., 2021). به‌علاوه، پژوهشی تطبیقی در چنگدو و چونگ‌کینگ چین با استفاده از مدل رگرسیون جغرافیایی وزنی^۱ نشان داد که ریخت‌شناسی سه‌بعدی ساختمان‌ها در چنگدو تأثیر بیشتری بر دمای سطح زمین دارد و مدیریت آن می‌تواند دما را تا ۱/۸ درجه سلسیوس کاهش دهد (Wen et al., 2024). مطالعه‌ای دیگر با الگوریتم جنگل تصادفی^۲ نشان داد که کنترل تراکم ساختمان و حفظ فضاهای باز دمای سطح را کاهش می‌دهد؛ به‌طور مثال، افزایش مناسب ارتفاع ساختمان، دما را تا ۲ درجه پایین می‌آورد (Han, 2023). در سطح مرورهای سیستماتیک با روش PRISMA، مطالعه‌ای شش بعد اصلی ریخت‌شناسی (پیکربندی بافت، شبکه خیابان‌ها، ویژگی‌های زمین، فضاهای سبز، کاربری و رشد شهری) را با پایداری مرتبط دانسته و به این نتیجه رسیده است که روش‌های GIS و Space Syntax غالب‌اند، اما خلأ مطالعات سه‌بعدی و بلندمدت برای طراحی اقلیم - سازگار برجسته است (Zhang et al., 2023).

در پژوهش‌های داخلی نیز مطالعه‌ای در سال ۱۴۰۴ با رویکرد توصیفی - نیمه‌تجربی نشان داد که اگرچه بارش سیلاب فرین (بالای صدک ۹۵ درصد) بوده است؛ اما عوامل انسانی مانند ساخت‌وسازهای شهری، گسترش جاده‌های عمود بر آبراه‌ها و تخریب مسیل‌ها نقش اصلی در تشدید سیل مشهد داشته‌اند (حمیدیان‌پور، ۱۴۰۴). در زمینه ارزیابی تأثیر مورفولوژی شهری بر آسایش حرارتی، بررسی بافت ارگانیک ارومیه با نرم‌افزار ENVI-met نشان داد که بافت قدیم با مصالحی مانند آجر و کاهگل، عملکرد حرارتی بهتری نسبت به بافت جدید دارد (علبدینی و همکاران، ۱۴۰۳ الف). همچنین، پژوهشی به ارزیابی عوامل اکولوژی و مورفولوژی بر جزیره گرمایی شهری پرداخته که با روش سنجش از دور انجام شده است. این مطالعه نشان داد که ناحیه یک منطقه یک تبریز نسبت به ناحیه چهار منطقه شش، خنک‌تر است (آزمون و محمدنژاد، ۱۴۰۳) و مطالعه‌ای روی تهران با استفاده از تصاویر لندست (۱۹۹۵ تا ۲۰۲۱) نشان داد که ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه متراکم، دمای سطح بالاتری نسبت به ساختمان‌های بلندمرتبه و میان‌مرتبه متراکم دارند (ناصری و همکاران، ۱۴۰۱).

با توجه به مطالعات بررسی‌شده، می‌توان آنها را براساس تمرکز موضوعی و رویکرد مطالعاتی به سه دسته اصلی تقسیم کرد. دسته اول مربوط به مطالعات متمرکز بر بهینه‌سازی ریخت‌شناسی شهری با روش‌های محاسباتی پیشرفته

¹ Geographically Weighted Regression (GWR)

² Random Forest

است که با بهره‌گیری از مدل‌های یادگیری ماشین و الگوریتم‌های تکاملی، اثرات هم‌افزایی پارامترهای ریخت‌شناسانه را بررسی کرده‌اند (Wang et al., 2025; Castrejon-Esparza et al., 2025). دسته دوم مربوط به مطالعاتی با تأکید بر تحلیل تجربی، تطبیقی و شبیه‌سازی اثرات ریخت‌شناسی بر دمای سطح زمین و عملکرد حرارتی است که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست، مدل رگرسیون جغرافیایی وزنی الگوریتم جنگل تصادفی و شبیه‌سازی‌های پارامتریک ENVI-met، تأثیر ریخت‌شناسی سه‌بعدی ساختمان‌ها، ترکیب کاربری زمین و هندسه شهری را در شهرهای توپوگرافی پیچیده و اقلیم گرم - خشک ارزیابی کرده‌اند (حمیدیان‌پور، ۱۴۰۴؛ عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳ الف؛ آزمون و محمدنژاد، ۱۴۰۳؛ ناصحی و همکاران، ۱۴۰۱؛ Mahmoud et al., 2021; Han, 2023; Wen et al., 2024). دسته سوم مربوط به مطالعاتی با رویکرد مرور سیستماتیک و بررسی سیاستی - تاب‌آوری است که با روش‌هایی مانند مرور سیستماتیک، تحلیل اسنادی سیاست‌های محلی و بررسی فنی، پیوند ریخت‌شناسی شهری با پایداری اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی، تاب‌آوری سیستم‌های انرژی و سیاست‌های سازگاری با تغییر اقلیم را مورد توجه قرار داده‌اند (Zhang et al., 2023; Javanroodi et al., 2023).

بنابراین، با عنایت به موارد فوق می‌توان بیان داشت که در مقایسه با پژوهش حاضر که بر تحلیل ریخت‌شناسی منطقه ۴ شهر ارومیه با هدف تقلیل اثرات تغییر اقلیم تمرکز دارد، اغلب مطالعات پیشین بر بهینه‌سازی کلی ریخت‌شناسی شهری با روش‌های محاسباتی پیشرفته، تحلیل تجربی دمای سطح زمین، عملکرد گرمایی در اقلیم‌های متنوع جهانی و بررسی‌های سیاستی و تاب‌آوری در مقیاس‌های کلان متمرکز بوده‌اند و کمتر به ارائه الگوهای ریخت‌شناسانه بومی برای مناطق خاص شهری توجه کرده‌اند؛ بنابراین، بداعت پژوهش حاضر در تمرکز بر منطقه ۴ شهر ارومیه به‌عنوان مطالعه موردی با چالش‌های اقلیمی خاص و ارائه الگوی ریخت‌شناسانه عملی برای تقلیل اثرات تغییر اقلیم نهفته است. همچنین، این پژوهش با ارزیابی وضعیت موجود ریخت‌شناسی و پیشنهاد الگویی بومی برای افزایش ظرفیت اکولوژیکی و کاهش آسیب‌پذیری، خلأهای موجود در مطالعات داخلی را تا حدی پوشش می‌دهد و با پیوند دادن ریخت‌شناسی شهری با چالش‌های محلی ارومیه، راهکارهایی عملی برای تنظیم کالبدی شهر در برابر تنش‌های اقلیمی ارائه می‌دهد.

مبانی نظری

تمرکز بیش از حد جمعیت و گسترش کنترل‌نشده شهرها بر ویژگی‌های ریزاقليمی و مولفه‌های مختلف آن اثرگذار است (Bherwani et al., 2020, p. 2). شهرها با جایگزینی سطوح طبیعی و نفوذپذیر با سطوح و ساختمان‌های نفوذناپذیر، تعادل تابشی و تبادل انرژی خود را بر هم زده‌اند (Cady et al., 2020, p. 1827). یکی از شناخته‌شده‌ترین پیامدهای این دگرگونی، پدیده جزیره گرمایی شهری است که به افزایش معنادار دمای هوای شهر نسبت به پیرامون روستایی یا طبیعی اطلاق می‌شود (Sturiale & Scuderi, 2019, p. 1). از منظر اقلیم‌شناسی شهری، تغییر اقلیم در این پژوهش به معنای تحولات درازمدت دمای جهانی نیست که در پژوهش‌های چون (Essenam Kissi et al, 2023, p. 76; Nikombolwe, 2023, p. 1) اشاره شده است؛ بلکه به معنای تغییرپذیری الگوهای دمایی در مقیاس محله و بلوک

شهری در نتیجه مداخلات انسانی در فرم و بافت شهر تعریف می‌شود. به عبارت دیگر، هرگونه تغییر در پوشش گیاهی، تراکم ساختمانی و شبکه معابر که به‌عنوان مولفه‌های ریخت‌شناسی شهری شناخته می‌شوند، می‌تواند به‌طور مستقیم بر دمای محدوده تأثیرگذار باشد (Mohamed et al., 2025).

با توجه به نقش تعیین‌کننده ویژگی‌های کالبدی در شکل‌دهی ریزاقلیم شهری، مفهوم ریخت‌شناسی شهری به‌عنوان چارچوبی کلیدی برای تحلیل و مدیریت این اثرات مطرح می‌شود. مفهوم ریخت‌شناسی شهری و تغییر اقلیم، به‌عنوان دو چارچوب مکمل، می‌توانند در راستای تحقق شهرهایی پایدارتر عمل کنند. واژه ریخت‌شناسی برای اولین بار توسط فون گوته در پایان قرن هجدهم مطرح شد و از آن برای قلمدادکردن علمی استفاده شد که با ماهیت و جوهره اشکال و فرم‌ها سروکار دارد (De Oliveira, 2022). در زمینه شهری، این مفهوم به تحلیل الگوهای فضایی شهرها از جمله عناصر اصلی مانند شبکه خیابان‌ها، بلوک‌های ساختمانی، پلات‌های زمین و ساختمان‌ها و چگونگی تعامل آنها با فرآیندهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌پردازد (Scheer, 2016, p. 6). ریخت‌شناسی شهری نه تنها به توصیف وضعیت فعلی فرم‌های شهری می‌پردازد، بر فرآیندهای تاریخی و پویای تحول آنها تأکید دارد و به‌عنوان ابزاری برای برنامه‌ریزی پایدار عمل می‌کند؛ از این رو، یکی از اهداف اصلی تحقیقات ریخت‌شناسی شهری، شناسایی الگوهای تکرارشونده در ساختار، شکل‌گیری و دگرگونی محیط مصنوع برای کمک به درک چگونگی کارکرد عناصر با یکدیگر است (Kropf, 2018). به عبارتی، ریخت‌شناسی شهری مطالعه اشکال فیزیکی و چیدمان فضایی سکونتگاه‌های انسانی (مثل ساختمان‌ها، قطعات زمین و خیابان‌ها) و چگونگی تعامل و استفاده انسان‌ها از این اشکال در طول زمان است. این مفهوم اخیراً به پایداری مرتبط شده، اما از ریخت‌شناسی شهری سستی جدا است (Zhang et al., 2023, p. 2)؛ بنابراین، می‌توان بیان داشت که ریخت‌شناسی شهری، نه صرفاً مطالعه فرم و ساختار کالبدی شهر است؛ بلکه حافظه مادی و پویای رابطه انسان با شهر است که در لایه‌لایه پلات‌ها، شبکه معابر و بافت ساختمانی رسوب می‌کند و به‌صورت مداوم تحت تأثیر نیروهای اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیکی بازتولید یا دگرگون می‌شود. از منظر این پژوهش، ریخت‌شناسی شهری «سیستم پاسخ‌دهی کالبدی شهر به تنش‌های اقلیمی» نیز هست؛ به این معنا که هر تصمیمی در مقیاس پلات، بلوک یا منطقه، در واقع تنظیم‌کننده ظرفیت شهر در برابر گرمایی، رواناب شدید، بادهای غالب و غیره است.

در شکل (۱)، به سیر تحول مورفولوژی شهری، نظریات مرتبط و دستاوردهای پژوهشی آن نیز اشاره شده است. با بررسی این سیر تحول مشاهده می‌شود که رویکرد ریخت‌شناسی شهری، از توصیفات صرفاً هندسی و تاریخی به سمت تحلیل‌های اقلیم‌محور سوق یافته است. نتیجه‌گیری حاصل از این سیر تحول برای پژوهش حاضر آن است که ریخت‌شناسی شهری دیگر یک ساختار ثابت و صرفاً بصری نیست؛ بلکه یک سیستم پویا و پاسخ‌دهنده به محیط زیست تلقی می‌شود. از این رو، پژوهش حاضر با تکیه بر این دستاورد نظری، به جای تمرکز بر توصیف فرم‌های تاریخی، از تحلیل‌های کمی و توپولوژیک مانند تحلیل چیدمان فضا بهره می‌برد تا کارکرد اقلیمی ساختار شهری را ارزیابی کند.



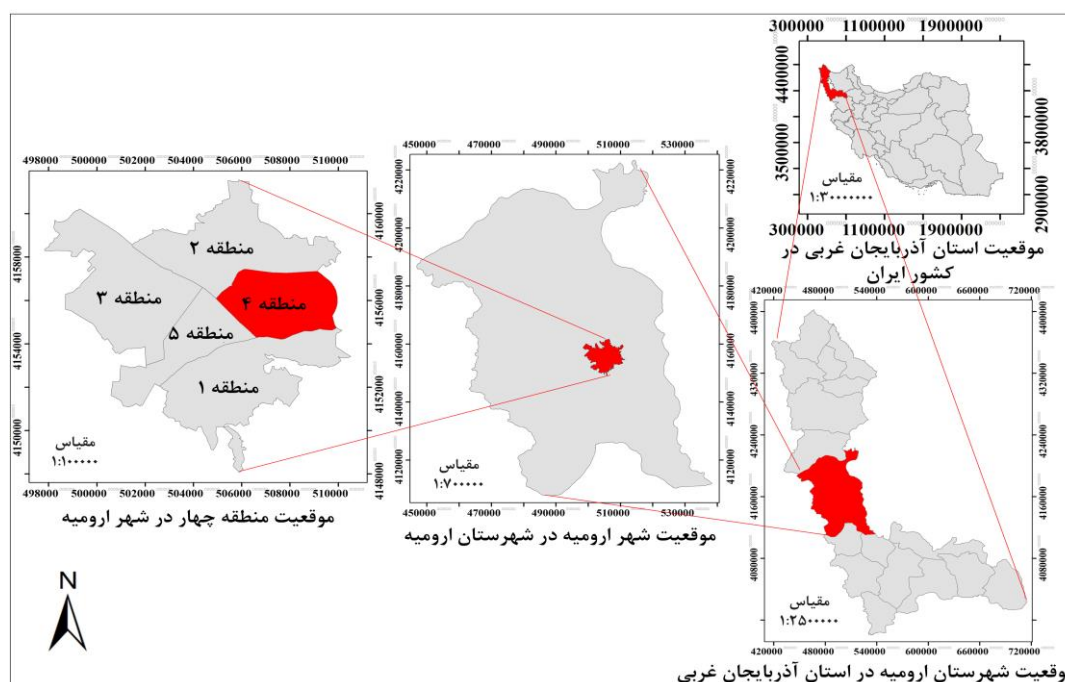
شکل (۱)، سیر تحول ریخت‌شناسی شهری (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۵)

Fig 1. The evolution of urban morphology (Source: Authors, 2026)

روش‌شناسی پژوهش

• محدوده مورد مطالعه

شهر ارومیه، به‌عنوان مرکز شهرستان ارومیه و استان آذربایجان غربی، در حدود ۱۸ کیلومتری دریاچه ارومیه قرار گرفته است (حبیب‌پور و همکاران، ۱۴۰۳، ص. ۲۸) و در دشتی به طول ۷۰ کیلومتر و عرض ۳۰ کیلومتر واقع شده است (زین‌العابدین‌زاده و همکاران، ۱۴۰۲، ص. ۲۵). بر پایه سرشماری سال ۱۳۹۵، شهر ارومیه با جمعیتی بالغ بر ۷۳۶۲۲۴ نفر، دهمین شهر پرجمعیت ایران و دومین شهر پرجمعیت منطقه شمال غرب کشور به شمار می‌رود (خلیلی و همکاران، ۱۴۰۳، ص. ۱۷۰). منطقه ۴ شهر ارومیه با مساحتی حدود ۱۲۲۱ هکتار، تقریباً ۱۰/۹ درصد از مساحت کل شهر را تشکیل می‌دهد. جمعیت این منطقه بر پایه آمار طرح تفصیلی سال ۱۳۹۸ شهر ارومیه، ۱۳۷۱۴۰ نفر است (مهندسین مشاور طرح آمایش، ۱۴۰۰). منطقه ۴ در قلب شهر ارومیه واقع شده و شامل ۱۲ محله است. بخش مهمی از بافت تاریخی و مرکزی قدیمی شهر در این منطقه قرار گرفته است و بیشتر مراکز تجاری کلیدی، راسته‌های خرید و مراکز خدماتی اصلی شهر در همین منطقه متمرکز هستند و به فعالیت خود ادامه می‌دهند (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳، ص. ۷۹). شکل (۲)، موقعیت منطقه ۴ شهر ارومیه را نشان می‌دهد.



شکل (۲)، موقعیت منطقه ۴ شهر ارومیه
Fig 2. Location of District 4 in Urmia

• روش انجام پژوهش

این پژوهش از نوع توصیفی تحلیلی با رویکرد کاربردی است. روش تحقیق کمی بوده و بر پایه تحلیل داده‌های مکانی و چیدمان فضایی استوار است. برای گردآوری داده‌ها از ترکیبی از روش‌های مختلف استفاده می‌شود که شامل مطالعات کتابخانه‌ای، نقشه‌های پایه GIS و تصاویر ماهواره‌ای است. به منظور تهیه نقشه اطلاعات گرمایی و استخراج دمای سطح زمین، از داده‌های ماهواره Landsat8 مربوط به مرداد ۱۴۰۴ استفاده شد. در این پژوهش، دمای سطح زمین با بهره‌گیری از باند حرارتی ۱۰ و براساس الگوریتم تک‌کاناله استخراج شد. در این فرایند، پس از پردازش داده‌های گرمایی، نقشه نهایی دمای سطح زمین برای محدوده مورد مطالعه تولید شد. به علاوه تحلیل داده‌های مکانی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و تحلیل چیدمان فضا در نرم‌افزار DepthmapX انجام و همچنین، برای وزندهی معیارها از روش جدید MEREC² (روش مبتنی بر اثرات حذف معیارها) بهره گرفته می‌شود. برای تحلیل ساختار توپولوژیک شبکه معابر، ابتدا نقشه بلوک‌ها و معابر منطقه چهار شهر ارومیه در نرم‌افزار AutoCAD تهیه و سپس در نرم‌افزار DepthmapX وارد شد و شاخص‌های هم‌پیوندی، انتخاب، اتصال و عمق براساس روش Space Syntax محاسبه شد. فرآیند غربالگری و انتخاب نهایی شاخص‌ها در این پژوهش براساس یک رویکرد نظام‌مند و در سه مرحله اصلی صورت پذیرفت. در مرحله نخست، با مرور نظام‌مند پیشینه پژوهش و ادبیات موضوع، شاخص‌های مؤثر بر ریخت‌شناسی شهری و تغییر اقلیم شناسایی شد. در مرحله دوم، با توجه به محدودیت‌های داده‌های در دسترس در

¹ August 2025

² Method Based on the Removal Effects of Criteria

مقیاس محله‌ای برای منطقه مورد مطالعه، شاخص‌هایی که قابلیت سنجش و استخراج کمی از طریق نقشه‌های پایه GIS، تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های توپولوژیک را نداشتند، حذف شدند. در نهایت، در مرحله سوم، شاخص‌هایی که بیشترین همپوشانی را با موضوع پژوهش داشتند، به عنوان ۱۳ شاخص نهایی انتخاب شدند. این شاخص‌ها در چهار دسته کلی ویژگی‌های کالبدی - محیطی و اجتماعی، عناصر سبز و طبیعی، دسترسی و ویژگی‌های توپولوژیکی و پیکربندی شبکه معابر طبقه‌بندی شدند که در [جدول \(۱\)](#) ارائه می‌شود.

جدول (۱) شاخص‌های مرتبط با مورفولوژی شهری با رویکرد تقلیل اثرات تغییر اقلیم

Table 1. Indicators related to urban morphology with an approach to mitigating the impacts of climate change

ردیف	معیارها	کد	زیرمعیارها
۱	ویژگی‌های کالبدی - محیطی و اجتماعی	C3	ارتفاع ساختمان‌ها
۲		C1	تراکم ساختمانی
۳		C7	اطلاعات گرمایی محدوده
۴		C13	تراکم جمعیتی
۵	عناصر سبز و طبیعی	C8	موقعیت درختان موجود
۶		C6	تعداد باغ‌ها، پارک‌ها و فضاهای سبز
۷		C11	نسبت مساحت فضاهای سبز به کل مساحت محدوده
۸	دسترسی	C5	دسترسی به پارک و فضاهای سبز
۹		C4	دسترسی به پیاده‌راه
۱۰	ویژگی‌های توپولوژیکی و پیکربندی شبکه معابر	C9	میزان هم‌پیوندی
۱۱		C2	میزان انتخاب
۱۲		C12	میزان اتصال
۱۳		C10	میزان عمق

Wang et al., 2025; Castrejon-Esparza et al., 2025; Wen et al., 2024; Han, 2023; Smaliychuk & Latocha, 2023; Javanroodi et al., 2023; Zhang et al., 2023; Mahmoud et al., 2021؛ عابدینی و همکاران،

۱۴۰۳ الف؛ آزمون و محمدنژاد، ۱۴۰۳

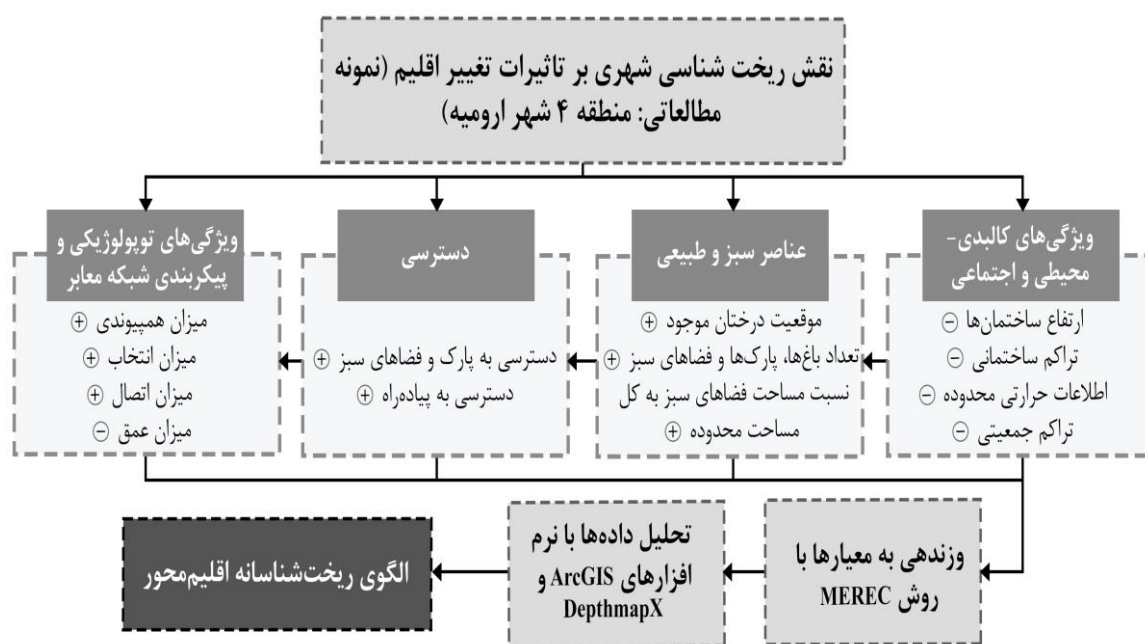
• مراحل روش MEREC

در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، وزن‌دهی به معیارها یکی از عوامل کلیدی است که می‌تواند نتایج نهایی را به‌طور چشمگیری تحت تأثیر قرار دهد. این پژوهش، روش نوینی به نام MEREC را برای تعیین وزن مبتنی بر داده‌های معیارها معرفی می‌کند. این رویکرد براساس ایده‌ای تازه که کشاورز قرابایی و همکارانش توسعه داده‌اند (Keshavarz-Ghorabae et al., 2021)، عمل می‌کند.

روش MEREC با مراحل زیر اجرا می‌شود: ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل می‌شود که در آن، امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار ثبت می‌شود. سپس، ماتریس تصمیم با استفاده از نرمال‌سازی خطی، بی‌بعد و عناصر آن قابل مقایسه می‌شوند. در ادامه، عملکرد کلی گزینه‌ها با فرض وزن برابر برای تمام معیارها و به کمک یک اندازه‌گیری

لگاریتمی محاسبه می‌شود. پس از آن، با حذف تأثیر هر معیار به‌طور جداگانه، عملکرد کلی گزینه‌ها مجدداً ارزیابی می‌شود. در مرحله بعدی، مجموع انحرافات مطلق بین عملکرد کلی اصلی و عملکردهای حاصل از حذف هر معیار تعیین می‌شود. در نهایت، بر پایه این مجموع انحرافات، وزن‌های نهایی معیارها استخراج می‌شود (Keshavarz-Ghorabae et al., 2021). این روش با تکیه بر داده‌های موجود در ماتریس تصمیم و بدون نیاز به قضاوت‌های ذهنی، وزن‌هایی معتبر و عینی ارائه می‌دهد که تأثیر معیارهای مهم‌تر را به‌طور دقیق‌تر منعکس می‌کند.

شکل (۳)، برای تبیین چارچوب نظری پژوهش و نحوه اثرگذاری متغیرهای ریخت‌شناسانه بر وضعیت اقلیمی منطقه ترسیم شده است. این مدل روابط میان چهار دسته اصلی متغیرها و جهت آنها را نشان می‌دهد. در این مدل، علامت (+) کنار شاخص‌ها بیانگر آن است که با ارتقای سطح شاخص مذکور، پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم کاهش می‌یابد؛ درحالی‌که علامت (-) حاکی از آن است که افزایش مقدار آن متغیر، منجر به تشدید اثرات تغییر اقلیمی خواهد شد.



شکل (۳)، چارچوب نظری پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۵)

Fig 3. Theoretical framework of the research (Source: Authors, 2026)

یافته‌ها

مقادیر اولیه به‌دست‌آمده برای ۱۳ شاخص در ۱۲ محله، به‌صورت ماتریس تصمیم در **جدول (۲)** ارائه شده است. این جدول بیانگر داده‌های خام مربوط به وضعیت هر محله در شاخص‌های تحلیل‌شده است و مبنای محاسبه وزن‌های نهایی معیارها قرار گرفته است.

جدول (۲): ماتریس تصمیم MEREC

Table 2: MEREC decision matrix

معیارها محلات	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
M1	۳/۰	۴/۴	۲/۲	۲/۱	۳/۱	۳/۷	۲/۱	۳/۰	۲/۲	۴/۳	۴/۲	۴/۵	۳/۱
M2	۴/۱	۳/۹	۴/۴	۲/۳	۴/۹	۳/۳	۴/۴	۳/۳	۲/۳	۴/۸	۲/۲	۴/۱	۳/۸
M3	۴/۰	۴/۱	۲/۷	۳/۳	۴/۶	۳/۹	۲/۳	۳/۱	۳/۲	۴/۴	۳/۰	۴/۳	۳/۶
M4	۱/۸	۳/۲	۱/۵	۴/۱	۲/۸	۲/۹	۲/۵	۳/۲	۳/۸	۳/۷	۲/۶	۳/۴	۳/۲
M5	۲/۳	۳/۷	۳/۱	۳/۵	۴/۵	۳/۴	۲/۸	۳/۰	۴/۷	۲/۵	۲/۴	۳/۹	۲/۴
M6	۱/۷	۳/۶	۱/۹	۴/۲	۲/۹	۲/۵	۳/۵	۳/۱	۴/۱	۲/۳	۲/۵	۳/۸	۲/۹
M7	۳/۵	۳/۵	۲/۸	۱/۹	۲/۴	۳/۸	۱/۷	۳/۲	۲/۸	۴/۲	۳/۳	۳/۹	۱/۳
M8	۳/۱	۳/۰	۲/۳	۱/۶	۱/۹	۴/۲	۱/۷	۳/۳	۲/۰	۲/۶	۴/۳	۳/۱	۲/۲
M9	۳/۹	۳/۲	۳/۶	۲/۸	۲/۹	۲/۲	۱/۵	۳/۰	۲/۹	۴/۱	۳/۸	۴/۰	۴/۸
M10	۲/۶	۴/۲	۴/۳	۲/۵	۳/۹	۳/۲	۲/۸	۴/۱	۴/۲	۳/۴	۲/۱	۴/۷	۴/۳
M11	۴/۳	۳/۶	۴/۰	۳/۱	۴/۷	۳/۱	۳/۷	۳/۲	۴/۵	۳/۱	۱/۷	۳/۸	۳/۳
M12	۲/۱	۳/۱	۳/۲	۳/۸	۳/۷	۳/۰	۴/۱	۳/۱	۳/۶	۲/۸	۱/۹	۳/۳	۲/۷

برای مقایسه و ارزیابی عملکرد محلات در شاخص‌های مختلف، مقادیر شاخص‌ها در یک مقیاس قابل مقایسه قرار گرفته‌اند که نتایج آن در قالب ماتریس نرمال‌شده در **جدول (۳)** نمایش داده شده است. این جدول نشان‌دهنده مقدار نسبی هر شاخص در هر محله پس از تبدیل به مقیاس یکسان است.

جدول (۳): ماتریس نرمال MEREC

Table 3: MEREC normalized matrix

معیارها محلات	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
M1	۰/۵۶۷	۱/۰۰۰	۰/۶۸۲	۰/۵۰۰	۰/۶۳۳	۰/۸۸۱	۰/۷۱۴	۰/۷۳۲	۰/۴۶۸	۰/۵۳۵	۰/۹۷۷	۰/۹۵۷	۰/۴۱۹
M2	۰/۴۱۵	۰/۸۸۶	۰/۳۴۱	۰/۵۴۸	۱/۰۰۰	۰/۷۸۶	۰/۳۴۱	۰/۸۰۵	۰/۴۸۹	۰/۴۷۹	۰/۵۱۲	۰/۸۷۲	۰/۳۴۲
M3	۰/۴۲۵	۰/۹۳۲	۰/۵۵۶	۰/۷۸۶	۰/۹۳۹	۰/۹۲۹	۰/۶۵۲	۰/۷۵۷	۰/۶۸۱	۰/۵۲۳	۰/۶۹۸	۰/۹۱۵	۰/۳۶۱
M4	۰/۹۴۴	۰/۷۲۷	۱/۰۰۰	۰/۹۷۶	۰/۵۷۱	۰/۶۹۰	۰/۶۰۰	۰/۷۸۱	۰/۸۰۹	۰/۶۲۲	۰/۶۰۵	۰/۷۲۳	۰/۴۰۶
M5	۰/۷۳۹	۰/۸۴۱	۰/۴۸۴	۰/۸۳۳	۰/۹۱۸	۰/۸۱۰	۰/۵۳۶	۰/۷۳۲	۱/۰۰۰	۰/۹۲۰	۰/۵۵۸	۰/۸۳۰	۰/۵۴۲
M6	۱/۰۰۰	۰/۸۱۸	۰/۷۸۹	۱/۰۰۰	۰/۵۹۲	۰/۵۹۵	۰/۴۲۹	۰/۷۵۷	۰/۸۷۲	۱/۰۰۰	۰/۵۸۱	۰/۸۰۹	۰/۴۴۸
M7	۰/۴۸۶	۰/۷۹۵	۰/۵۳۶	۰/۴۵۲	۰/۴۹۰	۰/۹۰۵	۰/۸۸۲	۰/۷۸۱	۰/۵۹۶	۰/۵۴۸	۰/۷۶۷	۰/۸۳۰	۱/۰۰۰
M8	۰/۵۴۸	۰/۶۸۲	۰/۶۵۲	۰/۳۸۱	۰/۳۸۸	۱/۰۰۰	۰/۸۸۲	۰/۸۰۵	۰/۴۲۶	۰/۸۸۵	۱/۰۰۰	۰/۶۶۰	۰/۵۹۱
M9	۰/۴۳۶	۰/۷۲۷	۰/۴۱۷	۰/۶۶۷	۰/۵۹۲	۰/۵۲۴	۱/۰۰۰	۰/۷۳۲	۰/۶۱۷	۰/۵۶۱	۰/۸۸۴	۰/۸۵۱	۰/۲۷۱
M10	۰/۶۵۴	۰/۹۵۵	۰/۳۴۹	۰/۵۹۵	۰/۷۹۶	۰/۵۴۸	۰/۵۳۶	۱/۰۰۰	۰/۸۹۴	۰/۶۷۶	۰/۴۸۸	۱/۰۰۰	۰/۳۰۲
M11	۰/۳۹۵	۰/۸۱۸	۰/۳۷۵	۰/۷۳۸	۰/۹۵۹	۰/۷۳۸	۰/۴۰۶	۰/۷۸۱	۰/۹۵۷	۰/۷۴۲	۰/۳۹۵	۰/۸۰۹	۰/۳۹۴
M12	۰/۸۱۰	۰/۸۱۰	۰/۴۶۹	۰/۹۰۵	۰/۷۵۵	۰/۷۱۴	۰/۳۶۶	۰/۷۵۷	۰/۷۶۶	۰/۸۲۱	۰/۴۴۲	۰/۷۰۲	۰/۴۸۱

بر پایه مقادیر نهایی حاصل از تحلیل، وزن هر شاخص استخراج شده که در **جدول (۴)** ارائه شده است.

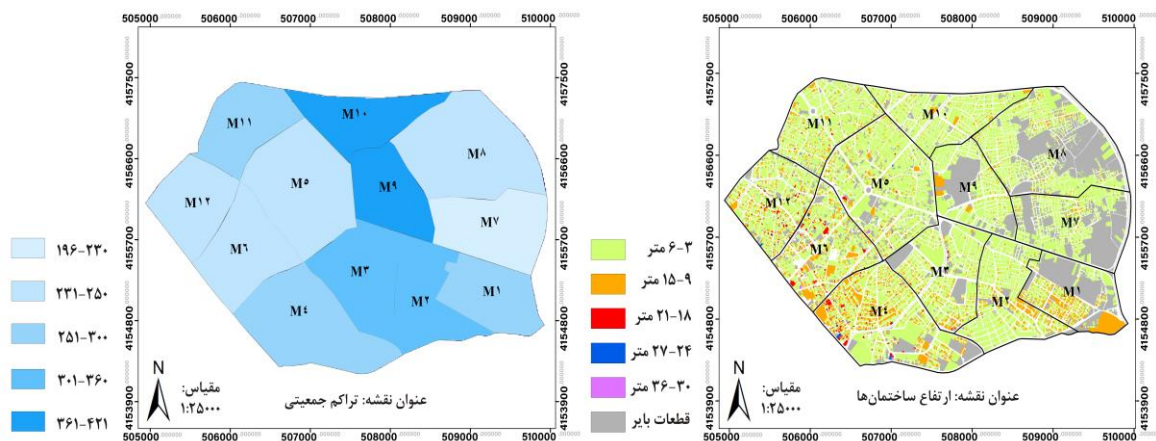
جدول (۴): وزن نهایی معیارها

Table 4: Final weights of the criteria

شاخص	وزن نهایی	شاخص	وزن نهایی	شاخص	وزن نهایی
C1	۰/۰۹۲	C6	۰/۰۶۱	C11	۰/۱۰۲
C2	۰/۰۶۴	C7	۰/۱۴۲	C12	۰/۰۷۰
C3	۰/۰۷۳	C8	۰/۰۶۳	C13	۰/۰۷۲
C4	۰/۰۶۰	C9	۰/۰۶۸		
C5	۰/۰۷۱	C10	۰/۰۷۴		

نتایج وزن‌دهی نشان می‌دهد شاخص اطلاعات گرمایی محدوده (C7) با وزن ۰/۱۴۲ بیشترین نقش را در تمایز میان محلات داشته و حدود ۱۴/۲ درصد از تفاوت میان گزینه‌ها را توضیح می‌دهد. پس از آن شاخص‌های نسبت مساحت فضای سبز به کل مساحت محدوده (C11) با وزن ۰/۱۰۲ و تراکم ساختمانی (C1) با وزن ۰/۰۹۲ در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه این متغیرها در ایجاد تغییرات گرمایی و رفتاری محلات هستند. در بین شاخص‌ها، شاخص‌های دسترسی به پیاده‌راه (C4) با وزن ۰/۰۶۰، تعداد باغ‌ها، پارک‌ها و فضاهای سبز (C6) با وزن ۰/۰۶۱ و موقعیت درختان موجود (C8) با وزن ۰/۰۶۳ کمترین وزن را کسب کرده‌اند و بنابراین، نقش محدودتری در تبیین تفاوت‌های میان محلات داشته‌اند. در مجموع، الگوی وزن‌ها بیانگر آن است که تفاوت‌های گرمایی میان محلات، بیش از هر چیز با وضعیت گرمایی محدوده، الگوی تراکم و میزان سبزی‌نگی ارتباط دارد و شاخص‌های مرتبط با دسترسی و خدمات نقش کمتری در ایجاد تمایزات فضایی داشته‌اند.

با تکمیل فرآیند وزن‌دهی معیارها، در گام بعدی به تحلیل فضایی نتایج حاصل از نقشه‌ها پرداخته می‌شود. تحلیل نقشه ارتفاع ساختمان‌ها (**شکل ۴**) و تراکم جمعیتی (**شکل ۵**) نشان می‌دهد که بخش عمده بافت منطقه دارای ارتفاع ساختمانی ۳ تا ۶ متر و تراکم جمعیتی نسبتاً پایین است. این الگو بیانگر غلبه کاربری‌های کم تراکم و عمدتاً مسکونی در سطح منطقه است. چنین ساختاری امکان نفوذ مناسب تابش خورشیدی و جریان طبیعی هوا را فراهم می‌کند. این ویژگی به‌ویژه در محلات غربی، شرقی و بخش‌هایی از محدوده شمالی مشاهده می‌شود. در مقابل، در برخی محلات مرکزی و جنوبی، به‌ویژه در امتداد محورهای تجاری مانند محلات M4 و M6، ارتفاع ساختمانی و تراکم جمعیتی بیشتر است.

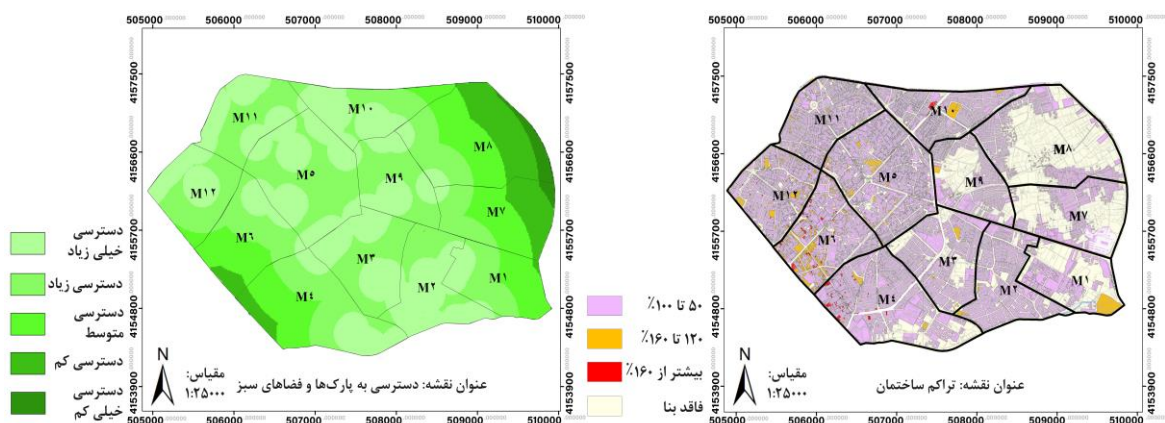


شکل (۵)، نقشه تراکم جمعیتی
Fig 5. Population density map

شکل (۴)، نقشه ارتفاع ساختمان‌ها
Fig 4. Building height map

نتایج تحلیل نقشه تراکم ساختمانی (شکل ۶) نشان می‌دهد که بخش وسیعی از منطقه در طبقه تراکم متوسط تا نسبتاً پایین قرار دارد. این وضعیت به‌ویژه در محلات مرکزی و غربی منطقه مشاهده می‌شود. وجود فضاهای باز بیشتر در این بخش‌ها امکان جریان هوای طبیعی را فراهم و شرایط مساعدتری برای کاهش اثرات جزیره گرمایی ایجاد می‌کند. همچنین، زمین‌های فاقد بنا (قطعات سفیدرنگ) که عمدتاً در بخش‌های شرقی و برخی پهنه‌های داخلی منطقه قرار دارند، به‌عنوان فضاهای بایر شناسایی شدند.

بررسی نقشه دسترسی به پارک‌ها و فضاهای سبز (شکل ۷) نشان‌دهنده توزیع ناهمگون این شاخص در سطح منطقه است. برخی محلات مانند M2، M3، M5 و M9 از دسترسی نسبتاً مناسب به فضاهای سبز برخوردارند؛ درحالی‌که محلاتی مانند M7 و M8 دسترسی کمتری دارند (سبز تیره). این ناهمگونی فضایی می‌تواند موجب افزایش اثرات تغییر اقلیم در برخی بخش‌های منطقه شود.

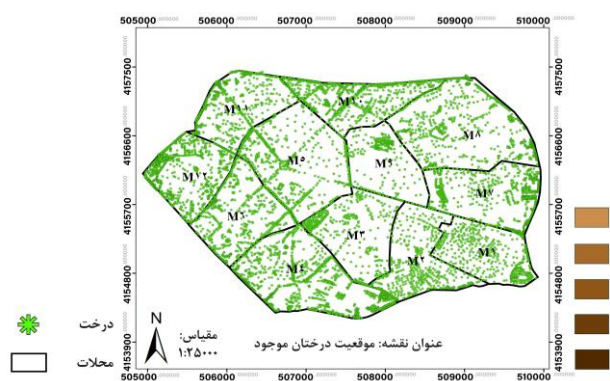


شکل (۶)، نقشه تراکم ساختمانی
Fig 6. Building density map

شکل (۷)، نقشه دسترسی به پارک‌ها و فضاهای سبز
Fig 7. Access to parks and green spaces map

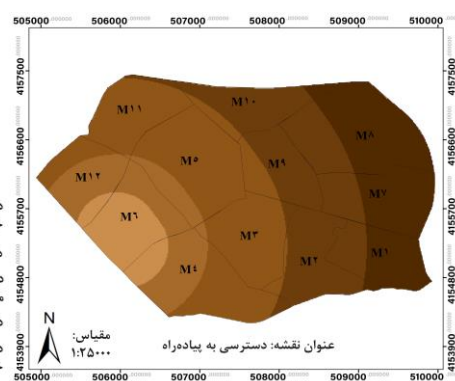
تحلیل دسترسی به مسیرهای پیاده (شکل ۸) نشان می‌دهد که محلات M4، M6 و M12 از دسترسی مناسب‌تری برخوردارند (قهوه‌ای کمرنگ)؛ درحالی‌که محلات M1، M2، M7، M8، M9 و M10 دارای کمترین سطح دسترسی به پیاده‌راه‌ها هستند (قهوه‌ای تیره). تمرکز دسترسی پایین در بخش‌های شرقی منطقه بیانگر نوعی انزوای پیاده‌ای در این محلات است.

بررسی پراکنش درختان موجود (شکل ۹) نشان می‌دهد که محلات M3، M5، M6 و M9 دارای کمترین میزان توزیع درختان هستند؛ درحالی‌که محلات M1، M2، M4، M7، M10 و M12 از وضعیت مطلوب‌تری برخوردارند. علاوه بر این، بررسی تعداد پارک‌ها، باغ‌ها و فضاهای سبز (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که محلات M5، M6، M9، M11 و M12 کمترین تعداد این عناصر را دارند. در مقابل، محلات M1، M3، M4، M7 و M8 از وضعیت مناسب‌تری برخوردارند. نتایج تحلیل نسبت مساحت فضای سبز به کل مساحت محدوده (شکل ۱۱) نیز نشان می‌دهد که محلات M2، M4، M5، M6، M10، M11 و M12 دارای کمترین نسبت فضای سبز هستند. از نظر فضایی، این نسبت در بخش‌های شرقی منطقه بهتر و در محلات غربی کمتر است.



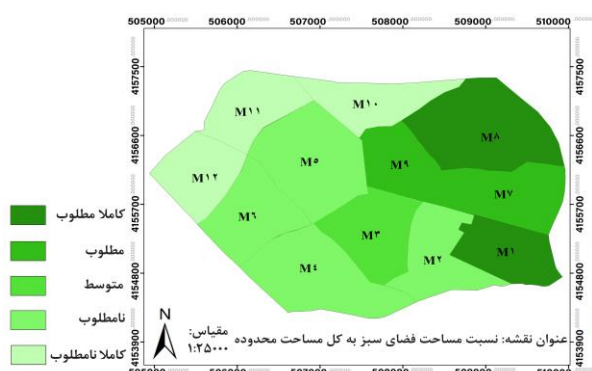
شکل (۹)، نقشه موقعیت درختان موجود

Fig 9. Existing tree location map



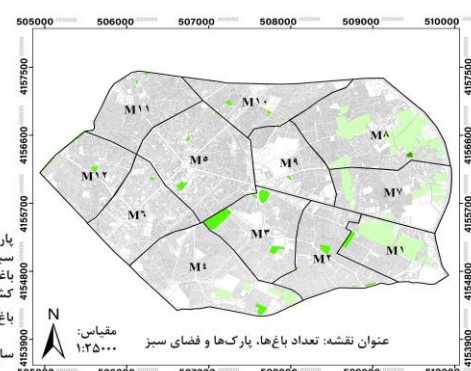
شکل (۸)، نقشه دسترسی به پیاده‌راه

Fig 8. Pedestrian access map



شکل (۱۱)، نقشه نسبت مساحت فضای سبز به کل مساحت محدوده

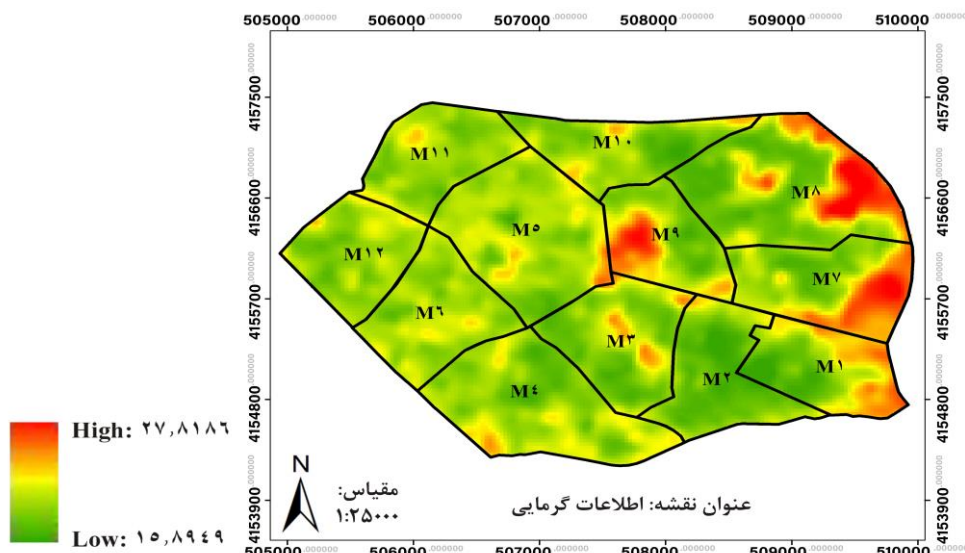
Fig 11. Map of the ratio of green space area to total



شکل (۱۰)، نقشه تعداد باغ‌ها، پارک‌ها و فضای سبز

Fig 10. Map of the number of gardens, parks, and green spaces

نقشه گرمایی منطقه براساس داده‌های ماهواره لندست (شکل ۱۲) نشان می‌دهد که محلات M7، M8 و M9 دارای بیشترین دمای سطحی هستند. در مقابل، محلات M2، M3، M4، M5، M6، M10 و M12 دمای کمتری دارند. در کل، الگوی دمایی منطقه روند افزایشی از غرب به شرق دارد؛ به‌طوری‌که بخش‌های غربی خنک‌تر و حاشیه‌های شرقی گرم‌تر هستند.



شکل (۱۲)، نقشه اطلاعات گرمایی محدوده

Fig 12. Thermal information map of the study area

در بخش تحلیل چیدمان فضا، چهار شاخص اتصال^۱ (شکل ۱۳)، انتخاب^۲ (شکل ۱۴)، هم‌پیوندی^۳ (شکل ۱۵) و عمق^۴ (شکل ۱۶) بررسی شدند. در این نقشه‌ها، با گذار طیف رنگی از رنگ‌های گرم‌تر (قرمز) به سمت رنگ‌های سردتر (آبی)، مقادیر شاخص‌های مورد بررسی به‌صورت تدریجی کاهش می‌یابد. شاخص اتصال نشان‌دهنده تعداد مستقیم خطوط محوری متصل به هر خط محوری است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر اتصال در محورهای شریانی اصلی با امتداد شرقی - غربی و برخی محورهای مورب مرکزی متمرکز شده است؛ درحالی‌که شبکه‌های درونی محلات دارای اتصال کمتری هستند.

شاخص انتخاب معیاری کلیدی برای سنجش پتانسیل عبور است؛ یعنی اینکه یک خط محوری چقدر احتمال دارد در کوتاه‌ترین مسیرها بین مبدأ و مقصدهای ممکن در سیستم قرار گیرد. تحلیل این شاخص نیز تمرکز حرکت‌های عبوری را در محورهای اصلی منطقه نشان می‌دهد و بیانگر تثبیت جریان‌های حرکتی در شریان‌های اصلی است؛ درحالی‌که بافت‌های درونی محلات از مقادیر بسیار پایین انتخاب برخوردارند.

¹ Connectivity

² Choice

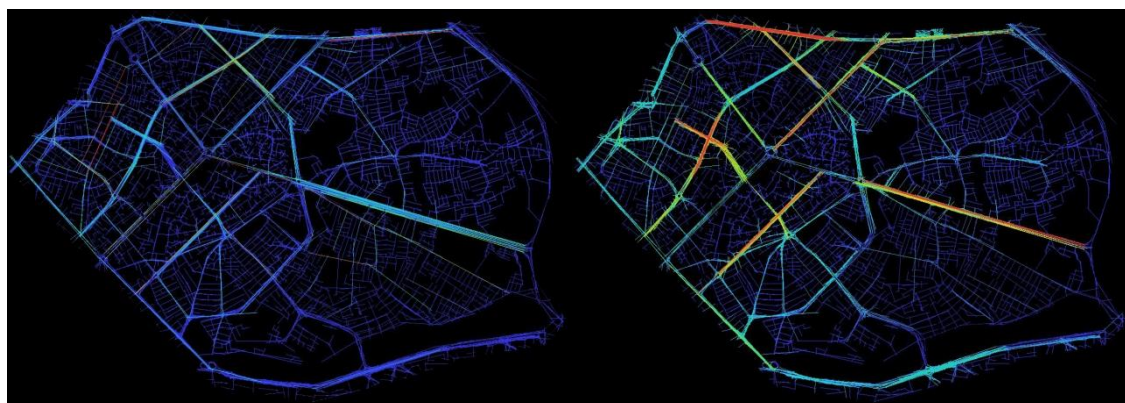
³ Integration

⁴ Depth

شاخص هم‌پیوندی نشان‌دهنده درجه دسترسی یک خط محوری به تمام خطوط دیگر در کل سیستم است. این شاخص نشان می‌دهد که محورهای اصلی و شریان‌های تجاری دارای بیشترین مرکزیت فضایی هستند و بافت‌های مسکونی از هم‌پیوندی کمتری برخوردارند.

شاخص عمق، به معنای میانگین کوتاه‌ترین فاصله توپولوژیکی (تعداد چرخش‌ها یا گام‌ها) از یک خط محوری به تمام خطوط دیگر سیستم است. تحلیل این شاخص نشان می‌دهد که شریان‌های اصلی دارای کمترین عمق و محلات مسکونی دارای عمق بیشتری هستند.

تلفیق نتایج چهار شاخص نشان می‌دهد که منطقه ۴ ارومیه از الگوی سلسله‌مراتبی شریانی - محله‌ای تبعیت می‌کند؛ به گونه‌ای که دسترسی بالا، مرکزیت فضایی و حرکتهای عبوری در محورهای اصلی متمرکز شده و بافت‌های مسکونی دارای اتصال کمتر، انتخاب پایین‌تر، هم‌پیوندی محدودتر و عمق بیشتر هستند. این الگو بیانگر تمرکز عملکردهای تجاری و حرکتی در استخوان‌بندی اصلی شبکه و حفظ ساختار نیمه‌درونگرا در مقیاس محله است.



شکل (۱۴)، نقشه شاخص انتخاب

Fig 14. Choice index map

شکل (۱۳)، نقشه شاخص اتصال

Fig 13. Connectivity index map



شکل (۱۶)، نقشه شاخص عمق

Fig 16. Depth index map

شکل (۱۵)، نقشه شاخص هم‌پیوندی

Fig 15. Integration index map

بحث

پژوهش حاضر نشان می‌دهد که ریخت‌شناسی شهری منطقه ۴ ارومیه نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری الگوهای گرمایی و تاب‌آوری اقلیمی این منطقه دارد. به بیان دیگر، ساختار کالبدی منطقه تنها بستری برای استقرار فعالیت‌های شهری نیست؛ بلکه به‌عنوان یک عامل فعال در تنظیم شرایط اقلیمی عمل می‌کند. برآیند تحلیل‌ها نشان‌دهنده تفاوت قابل توجه الگوهای گرمایی میان محلات منطقه است. تمرکز دمای بالاتر در محلات شرقی و خنک‌تر بودن بخش‌های غربی نشان می‌دهد که توزیع اثرات اقلیمی در سطح منطقه یکنواخت نیست و تحت تأثیر ویژگی‌های فضایی و کالبدی قرار دارد. وجود زمین‌های بایر گسترده و سطوح نفوذناپذیر در بخش‌های شرقی موجب افزایش جذب حرارت و تشدید دمای سطحی شده است؛ درحالی‌که در بخش‌های غربی به دلیل تراکم ساختمانی متعادل‌تر و حضور نسبی عناصر سبز، شرایط حرارتی مطلوب‌تری مشاهده می‌شود. از سوی دیگر، تحلیل شاخص‌های کالبدی نشان می‌دهد که شدت جزیره گرمایی در منطقه صرفاً تابع تراکم ساختمانی نیست؛ بلکه به ترکیبی از عوامل شامل سازمان‌یابی فضایی ساختمان‌ها، نوع پوشش سطح و توزیع فضای سبز وابسته است. تحلیل چیدمان فضا نیز نشان می‌دهد که شبکه معابر منطقه دارای ساختاری سلسله‌مراتبی است که در آن دسترسی و حرکت‌های اصلی در محورهای شریانی متمرکز شده و بافت‌های مسکونی در عمق بیشتری قرار گرفته‌اند. این ساختار در شرایط اقلیم سرد ارومیه می‌تواند از نفوذ مستقیم بادهای سرد به درون محلات، جلوگیری و شرایط حرارتی متعادل‌تری ایجاد کند؛ با این حال، در شرایط افزایش دماهای تابستانی، محدودیت تهویه طبیعی در برخی بافت‌های عمیق ممکن است به تشدید تنش حرارتی منجر شود.

یافته‌های به‌دست‌آمده مبنی بر تأثیر مستقیم تراکم ساختمانی و اطلاعات گرمایی بر توزیع دما، با نتایج مطالعه وانگ و همکاران هم‌سویی دارد (Wang et al., 2025). جایی که بهینه‌سازی پارامترهای تراکم و پوشش گیاهی به‌عنوان راهکاری برای کاهش دمای شهری معرفی شده است؛ درحالی‌که پژوهش ون و همکاران تأکید ویژه‌ای بر نقش تعیین‌کننده ریخت‌شناسی سه‌بعدی دارد، تحلیل‌های پژوهش حاضر نشان داد که در بافت‌های مسکونی با ساختار درون‌گرا، شاخص‌های توپولوژیک مانند عمق بیش از ارتفاع ساختمان، بر کنترل باد و به تبع آن آسایش حرارتی موثرند (Wen et al., 2024). این یافته به‌نوعی تکمیل‌کننده نتایج محمود و همکاران در اقلیم‌های گرم و خشک است که بر اصلاح هندسه شهری برای بهبود جریان هوا تأکید دارند (Mahmoud et al., 2021). مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعه ناصحی و همکاران در تهران نشان می‌دهد که در منطقه چهار ارومیه، همچون کلان‌شهر تهران، ساختمان‌های متراکم میان‌مرتبه و بلندمرتبه شرایط دمایی متعادل‌تری را ایجاد کرده‌اند (ناصری و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین، هم‌راستا با یافته‌های ژانگ و همکاران، در پژوهش حاضر نیز مشخص شد که روش تحلیل چیدمان فضا برای شناسایی محورهای شریانی بسیار کارآمد است؛ اما برخلاف پیشنهاد آنها که بر خلأ مطالعات سه‌بعدی تأکید دارند (Zhang et al., 2023)، این مطالعه با تلفیق این تحلیل‌ها با داده‌های گرمایی، توانست مدل پهنه‌بندی اقلیم‌محور را برای یک منطقه خاص پیشنهاد دهد. درخصوص اهمیت فضای سبز، نتایج این پژوهش (وزن ۰/۱۰۲ برای شاخص C11) با یافته‌های هان که کنترل تراکم و حفظ فضاهای باز را کلیدی‌ترین عامل کاهش دمای سطح می‌داند، مطابقت دارد (Han, 2023).

در نهایت، در پژوهش‌های پیشین داخلی، از جمله مطالعه عابدینی و همکاران، هرچند به ارتباط میان ساختار فضایی

شهر و مسائل اقلیمی اشاره شده است، چارچوبی منسجم با رویکرد ریخت‌شناسانه برای کاهش اثرات تغییر اقلیم در مقیاس بافت شهری ارائه نشده است (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳ الف).

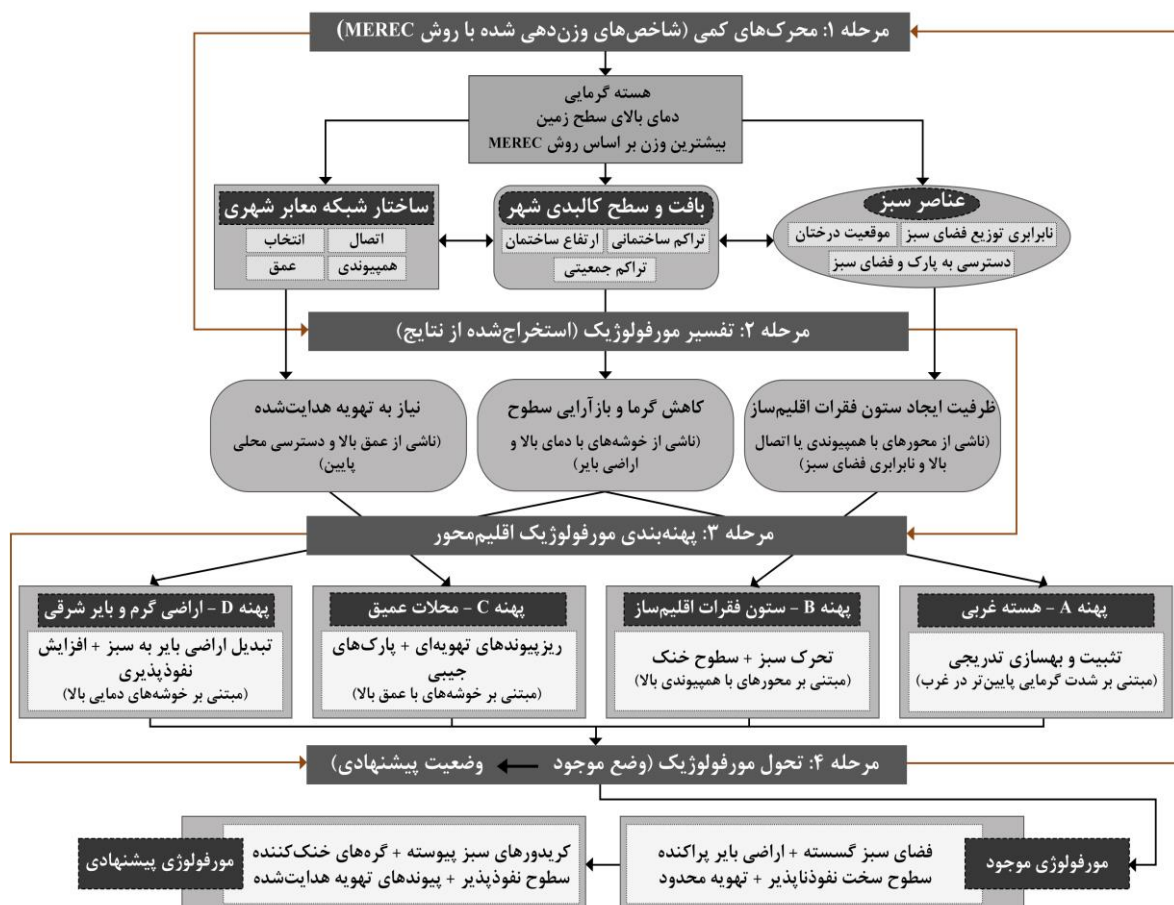
همچنین، تحلیل راهبردی داده‌های پژوهش نشان می‌دهد که منطقه چهار دارای قوت‌هایی همچون بافت کم‌ارتفاع غلب، وجود محورهای با هم‌پیوندی بالا و ظرفیت بالقوه فضاهای باز است. در مقابل، ضعف‌هایی نظیر کمبود زیرساخت سبز پیوسته، تمرکز گرمایش در پهنه‌های بایر و نابرابری دسترسی به فضاهای عمومی اقلیم‌ساز، آسیب‌پذیری اقلیمی را افزایش داده است. در سطح کلان، افزایش دمای منطقه‌ای و رشد تقاضای انرژی سرمایشی به‌عنوان تهدیدهای بیرونی، ضرورت بازتنظیم ریخت‌شناسانه را دوچندان می‌کند؛ با این حال، امکان مداخله در اراضی توسعه‌نیافته و بازآفرینی محورهای اصلی به‌عنوان کریدورهای سبز، فرصت‌های مهمی برای گذار به ساختار اقلیم‌ساز فراهم ساخته است. بر این اساس، الگوی ریخت‌شناسانه مطلوب برای این منطقه را می‌توان مبتنی بر چهار اصل تبیین کرد: نخست، کنترل و تنظیم تراکم و ارتفاع؛ به‌گونه‌ای که در محورهای اصلی با حفظ تراکم، سایه‌اندازی ایجاد شود و در بافت‌های مسکونی به سمت ارتفاع و تراکم پایین‌تر حرکت شود تا جریان هوا تسهیل شود. دوم، تقویت زیرساخت سبز پیوسته به جای ایجاد فضای سبز منفرد. سوم، بازآرایی اقلیم‌محور اراضی بایر؛ تبدیل زمین‌های خالی شرق منطقه به پارک‌های سیلاب‌گیر و فضاهای باز نفوذپذیر و چهارم، مدیریت توپولوژی شبکه معابر؛ بهره‌گیری از ساختار سلسله‌مراتبی شبکه برای هدایت بادهای خنک به درون بافت‌ها و جلوگیری از ایجاد کانال‌های بادی نامطلوب. در مجموع، چالش اصلی نه در گسست از ساختار موجود، در بازپیوند دادن فرم شهری، شبکه معابر و زیرساخت سبز در قالب راهبردی یکپارچه است که بتواند پاسخ کالبدی شهر به تنش‌های اقلیمی آینده را تنظیم کند.

الگوی ریخت‌شناسانه پیشنهادی منطقه ۴ ارومیه برای تقلیل اثرات تغییر اقلیم

براساس نتایج تحلیل کمی شاخص‌های ریخت‌شناسانه، دمای سطح زمین و تحلیل ساختاربندی فضایی مبتنی بر روش تحلیل چیدمان فضایی، الگوی ریخت‌شناسانه اقلیم‌محور منطقه چهار شهر ارومیه استخراج شد. وزن‌دهی شاخص‌ها نشان داد که شاخص اطلاعات گرمایی محدوده دارای بیشترین اهمیت نسبی در تمایز محلات است که بیانگر نقش تعیین‌کننده گرمایش سطحی در آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه است. تحلیل اطلاعات گرمایی محدوده، خوشه‌های حرارتی با شدت بالا را عمدتاً در پهنه شرقی منطقه آشکار ساخت که همزمان با حضور اراضی بایر و فاقد پوشش گیاهی همراه بود. این یافته منجر به تعریف پهنه D به‌عنوان پهنه بازآرایی گرمایی شرق شد که تمرکز آن بر بازپیکربندی سطوح، افزایش نفوذپذیری و ایجاد گره‌های خنک‌کننده است. از سوی دیگر، تحلیل شاخص‌های هم‌پیوندی و اتصال نشان داد که محورهای اصلی منطقه دارای ظرفیت ساختاری بالایی برای ایفای نقش ستون فقرات حرکتی و اقلیمی هستند. بر این اساس، پهنه B به‌عنوان ستون فقرات اقلیم‌ساز تعریف شد که بر تقویت کریدورهای سبز خطی، ارتقای پیاده‌مداری و بهبود کیفیت سطحی متمرکز است. همچنین، نتایج شاخص عمق بالا و اتصال پایین در برخی محلات، وجود بافت‌های عمیق با تهویه محدود را نشان داد. این وضعیت منجر به تعریف پهنه C به‌عنوان محلات با تهویه هدایت‌شده شد که هدف آن ایجاد ریزکریدورهای سبز - پیاده بدون برهم‌زدن سلسله‌مراتب فضایی

است. در مقابل، پهنه غربی منطقه که از ساختار متعادل‌تر و شدت حرارتی پایین‌تری برخوردار است، به‌عنوان پهنه A تعریف شد که تمرکز آن بر تثبیت ریخت‌شناسی موجود و بهسازی تدریجی است؛ در نتیجه، الگوی پیشنهادی نه به‌عنوان یک چارچوب نظری انتزاعی، به‌عنوان محصول مستقیم تحلیل‌های کمی و فضایی ارائه می‌شود. این الگو با تبدیل ساختار گسسته و نابرابر موجود به یک ریخت‌شناسی پیوسته و اقلیم‌پاسخگو، امکان کاهش تدریجی اثرات گرمایش سطحی و افزایش تاب‌آوری فضایی را فراهم می‌سازد.

الگوی استخراج‌شده در قالب یک چارچوب یکپارچه در شکل (۱۷) ارائه شده است. این شکل به‌صورت نظام‌مند، ارتباط میان یافته‌های کمی شامل خوشه‌های گرمایی، شاخص‌های ساختاربندی فضایی و توزیع نابرابر عناصر سبز و طبیعی، تفسیر ریخت‌شناسانه آنها و پهنه‌بندی اقلیم‌محور پیشنهادی (A تا D) را نمایش می‌دهد. همچنین، مسیر تحول از ساختار موجود به ریخت‌شناسی اقلیم‌پاسخگو در قالب یک فرایند تدریجی بازآرایی فضایی در این شکل قابل مشاهده است. بدین ترتیب، شکل مذکور نه صرفاً یک نمایش مفهومی، بلکه بازنمایی گرافیکی فرایند استخراج الگو از نتایج تحلیلی پژوهش محسوب می‌شود.



شکل (۱۷)، الگوی ریخت‌شناسانه اقلیم‌محور استخراج‌شده از تحلیل‌های کمی منطقه ۴ شهر ارومیه

Fig 17. Climate-responsive urban morphology pattern extracted from quantitative analyses of District 4 in Urmia
برای تضمین قابلیت اجرایی این الگو در بافت واقعی منطقه ۴ شهر ارومیه، وضعیت مطلوب هر یک از شاخص‌ها

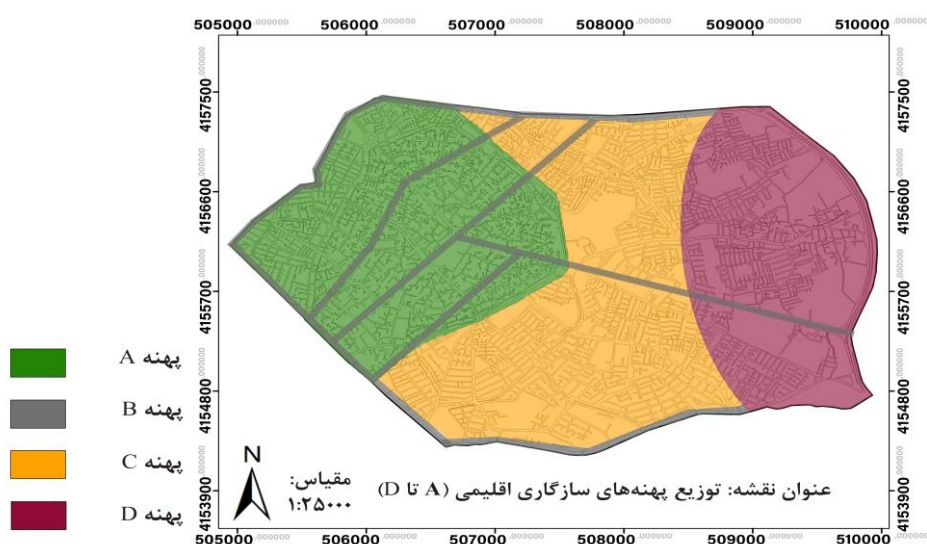
برای چهار پهنه پیشنهادی به صورت دستورالعمل‌های زیر تدوین شده است:

۱- پهنه A: هدف در این پهنه، حفظ وضعیت موجود است. شاخص‌های تراکم ساختمانی و ارتفاع باید در محدوده فعلی (۱ تا ۳ طبقه) تثبیت شوند. نسبت مساحت فضای سبز نباید کمتر از وضعیت فعلی شود و هرگونه ساخت‌وساز جدید باید با حفظ نفوذپذیری خاک انجام شود.

۲- پهنه B: هدف، ارتقای کیفی است. شاخص تراکم ساختمانی در این محورها مجاز است اما مشروط به افزایش عقب‌نشینی برای ایجاد سایه‌اندازی کافی. شاخص موقعیت درختان باید به گونه‌ای بهبود یابد که حداقل بیش از نیمی از طول پیاده‌روها دارای پوشش درختی پیوسته باشند. شاخص‌های اتصال و انتخاب باید حفظ شوند تا جریان ترافیک و تهویه مختل نشود.

۳- پهنه C: هدف، بهسازی شبکه است. شاخص عمق باید از طریق ایجاد شکستگی‌های کوچک در بافت مانند گذرهای پیاده محور کاهش یابد تا جریان هوا امکان نفوذ پیدا کند. شاخص دسترسی به فضای سبز باید بهبود یابد؛ بدین معنا که در هر محله، فضاهای سبز جدید باید در چارچوب شعاع خدمت‌دهی استاندارد فضای سبز محله‌ای (معمولاً معادل ۵ دقیقه پیاده‌روی) توزیع شوند تا دسترسی عادلانه برای همه ساکنان فراهم شود.

۴- پهنه D: هدف، تبدیل کاربری است. شاخص نسبت مساحت فضای سبز باید افزایش یابد. این اراضی باید به پارک‌ها و فضاهای سبز تبدیل شوند تا به عنوان گره‌های خنک‌کننده، عمل و از نفوذ گرد و غبار و گرما به شهر جلوگیری کنند. این دستورالعمل‌ها با اتکا بر تحلیل ظرفیت‌های اکولوژیکی و ساختاری هر پهنه تدوین شده‌اند تا الگوی پیشنهادی از حالت یک طرح صرفاً نظری، خارج و به عنوان یک چارچوب کاربردی برای هدایت فرآیندهای توسعه و مداخلات آتی در منطقه چهار شهر ارومیه استفاده شود. نمایش گرافیکی پهنه‌های پیشنهادی در **شکل (۱۸)** ارائه شده است.



شکل (۱۸)، نقشه توزیع پهنه‌های سازگاری اقلیمی (A تا D)

Fig 18. Map of climate compatibility zones (A to D)

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تحلیل ریخت‌شناسی منطقه ۴ شهر ارومیه و تبیین ظرفیت‌های کالبدی آن در راستای تقلیل اثرات تغییر اقلیم انجام شد. نتایج نشان داد که ساختار فضایی و ریخت‌شناسی این منطقه نه تنها بازتابی از فرآیندهای تاریخی و توسعه‌ای شهر است، به عنوان یک سامانه تنظیم‌گر اقلیمی در مقیاس محله‌ای عمل می‌کند و می‌تواند در تشدید یا تعدیل تنش‌های حرارتی نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا کند. تحلیل کمی ۱۳ شاخص ریخت‌شناسانه در ۱۲ محله منطقه چهار و وزن‌دهی آنها با روش MEREC نشان داد که شاخص اطلاعات گرمایی محدوده بیشترین تأثیر را در تمایز فضایی محلات دارد. این یافته نشان می‌دهد که تفاوت‌های حرارتی در سطح منطقه بیش از هر چیز با وضعیت گرمایی سطوح شهری ارتباط دارد. تحلیل‌های کالبدی - فضایی نشان داد که بافت کم‌ارتفاع غالب و تراکم ساختمانی متوسط در بخش‌های غربی و مرکزی منطقه، شرایط نسبتاً متعادل‌تری از نظر حرارتی ایجاد کرده است؛ درحالی‌که اراضی بایر، سطوح نفوذناپذیر و کمبود پوشش گیاهی در پهنه شرقی، این ناحیه را به کانون تشدید جزیره گرمایی تبدیل کرده است. نقشه گرمایی استخراج‌شده از داده‌های ماهواره لندست نیز این الگو را تأیید می‌کند و تمرکز دمای بالاتر در محلات شرقی و شرایط خنک‌تر در بخش‌های غربی منطقه را نشان می‌دهد. از منظر توپولوژیک نیز، ساختار سلسله‌مراتبی شبکه معابر شامل میزان اتصال، انتخاب و هم‌پیوندی بالا در جریان‌های اصلی و عمق بیشتر در بافت‌های مسکونی، در شرایط اقلیم سرد ارومیه کارکردی نسبتاً سازگار داشته است؛ اما در مواجهه با روند گرمایش تدریجی، نیازمند بازتنظیم اقلیم‌محور است.

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تاب‌آوری اقلیمی منطقه چهارم در نفی ساختار موجود، بلکه در بازآرایی هدفمند آن نهفته است. بر این اساس، الگوی ریخت‌شناسانه پیشنهادی مبتنی بر چهار پهنه عملکردی A تا D ارائه شد که شامل تثبیت بافت متعادل غربی، تقویت ستون فقرات اقلیم‌ساز در محورهای اصلی، هدایت تهویه در بافت‌های عمیق و بازآرایی حرارتی اراضی بایر شرقی است. این پهنه‌بندی حاصل تلفیق نتایج تحلیل‌های کمی شاخص‌ها، نقشه‌های گرمایی و شاخص‌های تحلیل چیدمان فضا است که به شناسایی ظرفیت‌ها و آسیب‌پذیری‌های فضایی منطقه منجر شد. این الگو با تأکید بر تقویت زیرساخت سبز پیوسته، تنظیم تراکم، افزایش نفوذپذیری سطوح و ارتقای کریدورهای تهویه طبیعی، امکان‌گذار تدریجی به یک ریخت‌شناسی اقلیم‌پاسخگو را فراهم می‌سازد. در مجموع، پژوهش حاضر نشان می‌دهد که ریخت‌شناسی شهری می‌تواند به عنوان ابزار راهبردی برنامه‌ریزی اقلیم‌محور در شهرهای درگیر بحران‌های اکولوژیک عمل کند.

براساس نتایج حاصل از تحلیل ریخت‌شناسی منطقه ۴ شهر ارومیه، پیشنهادات کاربردی زیر جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم در این محدوده ارائه می‌شود:

- بازنگری ضوابط طرح تفصیلی منطقه ۴ با رویکرد اقلیم‌محور و لحاظ کردن شاخص‌های گرمایی به عنوان یکی از معیارهای تعیین تراکم ساختمانی و نحوه استقرار کاربری‌ها.
- تعیین پهنه‌های اولویت‌دار مداخله اقلیمی، به‌ویژه در اراضی بایر شرقی منطقه (پهنه D)، به منظور هدایت سرمایه‌گذاری‌های عمومی به سمت ایجاد پارک‌های محله‌ای، تقویت زیرساخت‌های سبز و افزایش نفوذپذیری.
- توسعه کریدورهای سبز خطی در محورهای با هم‌پیوندی بالا (پهنه B) از طریق کاشت درختان سایه‌انداز

پیوسته.

- کنترل ارتفاع ساختمان‌ها در محورهای اصلی و تجاری به منظور ایجاد سایه‌اندازی مؤثر در معابر.
 - ایجاد گذرهای پیاده سبز در محلات دارای عمق فضایی بیشتر (پهنه C) به منظور بهبود تهویه طبیعی و افزایش کیفیت زیست محیطی فضاهای شهری.
 - در نظر گرفتن مشوق‌های اقتصادی و تراکمی برای پروژه‌های ساختمانی منطبق با استانداردهای طراحی اقلیم محور مانند بام سبز، دیوار سبز و سطوح نفوذپذیر.
- همچنین، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، از مدل‌های شبیه‌سازی میکرواقلیم، تحلیل سه‌بعدی دقیق‌تر فرم ساختمانی و سناریوهای تغییر کاربری اراضی برای ارزیابی اثربخشی مداخلات پیشنهادی استفاده شود تا امکان تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد در مقیاس شهری تقویت شود.

منابع

- آزمون، مجتبی، و محمدنژاد، محمد (۱۴۰۳). ارزیابی عوامل اکولوژی و مورفولوژی بر جزایر گرمایی شهری نمونه مطالعاتی: ناحیه ۱ منطقه ۱ و ناحیه ۴ منطقه ۶ کلانشهر تبریز. *فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای*، ۵۸-۷۴، (۱)، https://www.srds.ir/article_195068.html
- تیموری، ایرج، اصغری زمانی، اکبر، و ترابی، شبنم (۱۴۰۱). بررسی تأثیر عوامل مورفولوژیک شهری بر جزایر حرارتی در شهرها نمونه موردی: شهر ارومیه (بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۲۱). *نشریه کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی*، ۲(۵)، ۹۷-۱۱۱. https://rsgi.tabrizu.ac.ir/article_16594.html
- حبیب‌پور، نگین، خلیلی، احمد، و محمودی، عرفان (۱۴۰۳). اندازه‌گیری شاخص‌های شکوفایی شهری در محلات منطقه ۴ شهر ارومیه. *اقتصاد و برنامه‌ریزی شهری*، ۵(۳)، ۲۰-۴۱.
- <https://doi.org/10.22034/uep.2024.464128.1509>
- حسنی، علیرضا، و مفیدی شمیرانی، سید مجید (۱۳۹۹). تعامل طراحی شهری و تغییر اقلیم مبتنی بر نظریه‌ها. *جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۱۰(۴۱)، ۴۷۲-۴۶۱. https://www.jgeoqeshm.ir/article_126640.html
- حمیدیان‌پور، محسن (۱۴۰۴). واکاوی دلایل طبیعی و انسانی سیلاب شهر مشهد و راهکارهای پیشگیری. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۹(۹۳)، ۱۵۱-۱۶۹. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_18712.html
- خلیلی، امین، قنبری، ابوالفضل، و فیضی‌زاده، بختیار (۱۴۰۳). شناسایی الگوهای گسترش شهری در شهرهای میانه‌انداز (نمونه موردی: شهر ارومیه). *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*، ۱۴(۵۲)، ۱۵۱-۱۹۴.
- <https://www.magiran.com/p2774549>
- زین‌العابدین‌زاده، سمیه، عزت‌پناه، بختیار، و حسین‌زاده دلیر، کریم (۱۴۰۲). ارزیابی مؤلفه‌های مؤثر بر حس تعلق مکانی با رویکرد شهر شاد مطالعه موردی: کلان‌شهر ارومیه. *مجله شهر پایدار*، ۶(۲)، ۲۱-۳۷.
- <https://doi.org/10.22034/jsc.2023.375310.1672>
- عابدینی، اصغر، خجسته‌مقال، فاطمه، کوره‌پز سعید، حدیثه، و عسگری، فاطمه (۱۴۰۳ الف). تأثیرات مورفولوژی شهری

برآسایش حرارتی نمونه مورد مطالعه: کلانشهر اورمیه (حدفاصل میدان ولایت فقیه تا بلوار بعثت). دانش

شهرسازی، ۸(۴)، ۶۱-۸۲. <https://doi.org/10.22124/upk.2024.25907.1899>

عابدینی، اصغر، محمودی، عرفان، و حبیب‌پور، نگین (۱۴۰۳). سنجش زیست‌پذیری محلات منطقه ۴ شهر اورمیه

براساس اصول پدافند غیرعامل. پدافند غیرعامل، ۱۵(۱)، ۷۳-۸۶.

https://pd.ihu.ac.ir/article_208827.html

مرکز آمار ایران (۱۳۹۵). نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن. استان آذربایجان غربی. <https://amar.org.ir/>

مهندسین مشاور طرح آمایش (۱۴۰۰). طرح تفصیلی شهر اورمیه. اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان غربی.

ناصری، سعیده، یآوری، احمدرضا، و صالحی، اسماعیل (۱۴۰۱). بررسی ارتباط بین تغییرات مورفولوژی شهری با

دمای سطح زمین به‌منظور مدیریت جزیره حرارتی شهری (مطالعه موردی: شهر تهران). جغرافیا و پایداری

محیط، ۱۲(۳)، ۱۰۷-۱۳۰. <https://doi.org/10.22126/ges.2022.7625.2517>

References

- Abedini, A., Khojasteh-Maqal, F., Kourehpaz Saeid, H., & Asgari, F. (2024a). The effects of urban morphology on thermal comfort. The case study: Urmia metropolis (between Velayat Faqih Square and Besat Boulevard). *Science of Urban Planning*, 8(4), 61-82. <https://doi.org/10.22124/upk.2024.25907.1899> [In Persian]
- Abedini, A., Mahmoudi, E., & Habibpour, N. (2024b). Assessing the livability of neighborhoods in District 4 of Urmia based on passive defense principles. *Passive Defense*, 15(1), 73-86. https://pd.ihu.ac.ir/article_208827.html [In Persian]
- Aboagye, P. D., & Sharifi, A. (2024). Urban climate adaptation and mitigation action plans: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 113886. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113886>
- Azmoun, M., & Mohammadnejad, M. (2024). Evaluation of ecological and morphological factors of urban heat island (Study sample: District 1 of region 1 and District 4 of region 6 of the metropolis of Tabriz). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 5(1), 58-74. https://www.srds.ir/article_195068.html [In Persian].
- Bherwani, H., Singh, A., & Kumar, R. (2020). Assessment methods of urban microclimate and its parameters: A critical review to take the research from lab to land. *Urban Climate*, 34, 100690. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100690>
- Bibi, F., & Rahman, A. (2023). An overview of climate change impacts on agriculture and their mitigation strategies. *Agriculture*, 13(8), 1508. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081508>
- Cady, T. J., Rahn, D. A., Brunsell, N. A., & Lyles, W. (2020). Conversion of abandoned property to green space as a strategy to mitigate the urban heat island investigated with numerical simulations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 59(11), 1827-1843. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-20-0093.1>
- Castrejon-Esparza, N. M., González-Trevizo, M. E., Martínez-Torres, K. E., & Santamouris, M. (2025). Optimizing urban morphology: Evolutionary design and multi-objective optimization of thermal comfort and energy performance-based city forms for microclimate adaptation. *Energy and Buildings*, 342, 115750. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115750>
- Consulting Engineers for the Amayesh Plan (2021). *Detailed Plan of Urmia City*. General Directorate of Roads and Urban Development of West Azerbaijan Province. [In Persian]
- Dablander, F., Sachisthal, M. S., Cologna, V., Strahm, N., Bosshard, A., Grüning, N. M., ... & Haslbeck, J. M. (2024). Climate change engagement of scientists. *Nature Climate Change*, 14(10), 1033-1039. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-02091-2>
- De Oliveira, A. (2022). *Urban morphology*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-92454-6>

- Egerer, M., Haase, D., McPhearson, T., Frantzeskaki, N., Andersson, E., Nagendra, H., & Ossola, A. (2021). Urban change as an untapped opportunity for climate adaptation. *Npj Urban Sustainability*, 1(1), 22. <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00024-y>
- Elkhazindar, A., Kharrufa, S. N., & Arar, M. S. (2022). The effect of urban form on the heat island phenomenon and human thermal comfort: A comparative study of UAE residential sites. *Energies*, 15(15), 5471. <https://doi.org/10.3390/en15155471>
- Essenam Kissi, A., Abbey, G.A., & Villamor, B. (2023). Perceptions of Climate Change Risk on Agriculture Livelihood in Savanna Region, Northern Togo. *Climate*, 11, 86. <https://doi.org/10.3390/cli11040086>
- Galan, A. S., & Pérez, L. T. (2025). Global warming impacts on earth: damage to human health. In *Health and Climate Change* (pp. 3-30). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-29240-8.00028-6>
- Guller, C., & Toy, S. (2024). The impacts of urban morphology on urban heat islands in housing areas: the case of erzurum, turkey. *Sustainability*, 16(2), 791. <https://doi.org/10.3390/su16020791>
- Habibpour, N., Khalili, A., & Mahmoudi, E. (2024). Measuring urban prosperity indicators in the neighborhoods of District 4 of Urmia. *Urban Economics and Planning*, 5(3), 20-41. <https://doi.org/10.22034/uep.2024.464128.1509> [In Persian]
- Hamidianpour, M. (2025). Analyzing the natural and human causes of the Mashhad flood and ways to prevent. *Journal of Geography and Planning*, 29(93), 169-151. [10.22034/gp.2024.63109.3296](https://doi.org/10.22034/gp.2024.63109.3296) [In Persian]
- Han, W. (2023). Analyzing the scale dependent effect of urban building morphology on land surface temperature using random forest algorithm. *Scientific Reports*, 13(1), 19312. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46437-w>
- Hasani, A., & Mofidi Shemirani, S. M. (2020). The interaction of urban design and climate change based on theories. *Scientific-Research Quarterly of Geography (Regional Planning)*, 10(41), 461-472. https://www.jgeoqeshm.ir/article_126640.html [In Persian]
- He, B. J., Ding, L., & Prasad, D. (2020). Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102289. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102289>
- Javanroodi, K., Mahdavinejad, M., & Nik, V. M. (2018). Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential in hot-arid climate. *Applied Energy*, 231, 714-746. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.116>
- Javanroodi, K., Perera, A. T. D., Hong, T., & Nik, V. M. (2023). Designing climate resilient energy systems in complex urban areas considering urban morphology: A technical review. *Advances in Applied Energy*, 12, 100155. <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100155>
- Junqueira, J. R., Serrao-Neumann, S., & White, I. (2021). Managing urban climate change risks: Prospects for using green infrastructure to increase urban resilience to floods. In *The impacts of climate change* (pp. 379-396). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822373-4.00013-6>
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2021). Determination of objective weights using a new method based on the removal effects of criteria (MERECE). *Symmetry*, 13(4), 525. <https://doi.org/10.3390/sym13040525>
- Khalili, A., Ghanbari, A., & Feyzizadeh, B. (2024). Identification of urban expansion patterns in medium-sized cities (Case study: Urmia). *Geography and Urban-Regional Planning*, 14(52), 151-194. <https://www.magiran.com/p2774549> [In Persian]
- Kropf, K. (2018). *The handbook of urban morphology*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.51347/jum.v22i1.4827>
- Lee, C. C., Zeng, M., & Luo, K. (2024). How does climate change affect food security? Evidence from China. *Environmental Impact Assessment Review*, 104, 107324. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107324>
- Mahmoud, H., Ghanem, H., & Sodoudi, S. (2021). Urban geometry as an adaptation strategy to improve the outdoor thermal performance in hot arid regions: Aswan University as a case study. *Sustainable*

- Cities and Society*, 71, 102965. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102965>
- McGranahan, G., Balk, D., & Anderson, B. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and urbanization*, 19(1), 17-37. <https://doi.org/10.1177/0956247807076960>
- Mohamed, A., Lorestani, N., & Shabani, F. (2025). Impact of urbanization on land surface temperature: A global perspective. *Current research in environmental sustainability*, 10, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2025.100315>
- Namroodi, M., Hamidianpour, M., & Poodineh, M. (2021). Spatio-temporal analysis of changes in heat and cold waves across Iran over the statistical period 1966–2018. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(10), 857. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07161-9>
- Nasehi, S., Yavari, A., & Salehi, E. (2022). The Investigation of the Relationship between Urban Morphology Changes and Land Surface Temperature for Urban Heat Island Management (A Case Study: Tehran). *Geography and Environmental Sustainability*, 12(3), 107-130. <https://doi.org/10.22126/ges.2022.7625.2517> [In Persian]
- Nikombolwe, L. (2023). The Beneficial Opportunities of Climate Change for Enhanced Socio-Economic Development: A Review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(1), 75-80. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i11628>
- Parmesan, C., Morecroft, M. D., & Trisurat, Y. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability* [Research Report]. GIEC. https://hal.science/hal-03774939/file/IPCC_AR6_WGII_Chapter2.pdf
- Parsaee, M., Joybari, M. M., Mirzaei, P. A., & Haghighat, F. (2019). Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. *Environmental technology & innovation*, 14, 100341. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100341>
- Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., ... & Bengio, Y. (2022). Tackling climate change with machine learning. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 55(2), 1-96. <https://doi.org/10.1145/3485128>
- Sanaieian, H., Tenpierik, M., Van Den Linden, K., Seraj, F. M., & Shemrani, S. M. M. (2014). Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 551-560. <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.06.007>
- Scheer, B. C. (2016). The epistemology of urban morphology. *Urban morphology*, 20(1), 5-17. <https://doi.org/10.51347/jum.v20i1.4052>
- Shoja, F., Shamsipour, A., Hamidianpour, M., Veisi Nabikandi, B., ... & Beheshti, N. (2025). Urban Land Use Transformation and Declining Cooling Services: A 40-year Assessment of Heat Stress Mitigation in a Hot and Arid City. *Earth Systems and Environment*, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s41748-025-00932-4>
- Smaliychuk, A., & Latocha-Wites, A. (2023). Climate change adaptation policy and practice: Case study of the major cities in Poland. *Cities*, 141, 104474. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104474>
- Statistical Center of Iran. (2016). *Results of the general census of population and housing*. West Azerbaijan province. <https://amar.org.ir/> [In Persian]
- Sturiale, L., & Scuderi, A. (2019). The role of green infrastructures in urban planning for climate change adaptation. *Climate*, 7(10), 119. <https://doi.org/10.3390/cli7100119>
- Sun, Y., Jia, R., Razzaq, A., & Bao, Q. (2024). Social network platforms and climate change in China: Evidence from TikTok. *Technological Forecasting and Social Change*, 200, 123197. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123197>
- Teimouri, I., Asghari Zamani, A. & Torabi, S. (2023). Investigating the impact of urban morphological factors on thermal islands in cities, a case study: Urmia city (2021-2015 period). *Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 2(5), 111-97. https://rsgi.tabrizu.ac.ir/article_16594.html [In Persian]
- Wang, M., Zhang, C., Lin, B., Kang, J., Qin, Y., & Xu, S. (2025). Optimal Urban Morphology Design to Enhance Summer Outdoor Thermal Comfort and Reduce Cooling Energy Use: Synergistic Impact

- Analysis of Multiple Parameters. *Sustainable Cities and Society*, 106996. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106996>
- Wen, D., Wang, L., Cao, Q., Hong, M., Wang, H., & Bian, G. (2024). A comparative study of the effects of urban morphology on land surface temperature in Chengdu and Chongqing, China. *Scientific Reports*, 14(1), 25130. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77036-y>
- Xu, X., Yin, C., Wang, W., Xu, N., Hong, T., & Li, Q. (2019). Revealing urban morphology and outdoor comfort through genetic algorithm-driven urban block design in dry and hot regions of China. *Sustainability*, 11(13), 3683. <https://doi.org/10.3390/su11133683>
- Zeynolabedinzadeh, S., Ezatpanah, B., & Hosseinzadeh Delir, K. (2023). Evaluating the components affecting the sense of place attachment with a happy city approach: Case study of Urmia metropolis. *Sustainable City Journal*, 6(2), 21-37. <https://doi.org/10.22034/jsc.2023.375310.1672> [In Persian]
- Zhang, P., Ghosh, D., & Park, S. (2023). Spatial measures and methods in sustainable urban morphology: A systematic review. *Landscape and Urban Planning*, 237, 104776. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104776>