

Assessment of the Climatic Resilience of Urban Form Against Thermal Stresses (Case Study: Valiasr Neighborhood, Tabriz)¹

Forough Madani Esfahani[†], Yaser Shahbazi^{†*}, Morteza Mirgholami[‡]

Received: 2024/09/26

Revised: 2024/10/02

Accepted: 2024/10/12

Published: 2026/01/21

Highlights

- Urban morphological parameters significantly influence both energy demand and outdoor thermal comfort under future climate scenarios.
- Long-term simulations (2025–2055) indicate a substantial decline in thermal resilience and a growing dependence on mechanical heating and cooling systems in Tabriz.
- Cold extreme scenarios generate the highest energy shocks, posing greater risks to urban energy resilience than warm extremes.
- Medium-density, fine-grained urban forms with balanced height-to-width ratios enhance climatic resilience by improving airflow and heat exchange.

Extended Abstract

Introduction

Climate change and the accelerating trend of global warming in recent decades have emerged as one of the most critical challenges for urban environments worldwide. The intensification of heatwaves, alteration of precipitation regimes, and the aggravation of urban heat island effects have profoundly affected the livability and sustainability of cities. These climatic stressors not only increase energy demand for heating and cooling but also erode the natural capacity of urban systems to maintain thermal comfort and environmental balance. Urban morphology — encompassing building density, street proportions, spatial enclosure, and open-space configuration — directly governs heat exchange, solar access, and airflow, thus shaping cities' adaptive and resilient capacities.

In Iran, the effects of climate change have become particularly acute. The metropolis of Tabriz, following the desiccation of Lake Urmia, has faced growing thermal stresses, temperature fluctuations, and altered energy consumption patterns. Under such conditions, the climatic resilience of urban form emerges as a key dimension of urban resilience. However, most previous studies have focused either on building energy performance or on outdoor thermal comfort separately, without integrating both aspects within a morphological and long-term climatic framework (Taleghani, 2018; Sharifi & Yamagata, 2021; Colaninno et al., 2025). Addressing this gap, the present study evaluates how urban form parameters influence energy demand and climatic comfort simultaneously over a 30-year horizon, offering a holistic understanding of how form mediates resilience under future climatic extremes.

¹ This article is derived from the Phd thesis research of the first author- Forough Madani Esfahani- entitled “*The Analytical model of the climate resilient of urban form based on Islamic concepts and rules (case study: Tabriz city)*” which is being conducted under the supervision of the second and third authors at Tabriz Islamic Art University.

² Ph.D. student in Islamic Urbanism, Department of Urbanism, Faculty of architecture and urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

³ Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran, E-mail: y.shahbazi@tabriziau.ac.ir

⁴ Professor, Department of Urbanism, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

Theoretical Framework

Methodology

This research employs an applied-developmental approach integrating parametric modeling and future climate projection analysis. The Valiasr neighborhood in eastern Tabriz, characterized by moderate density, a grid-based structure, and homogeneous building typologies, was selected as the case study. The site's exposure to intensifying thermal conditions resulting from the drying of Lake Urmia justifies its selection for resilience assessment.

Downscaled climate datasets were used for the period 2025–2055 under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. Simulations were conducted for four climatic conditions: Normal (current), Base (reference future year), Warm (hot extreme), and Cold (cold extreme). Using Ladybug Tools and EnergyPlus in Grasshopper, parametric models were constructed to simulate both building energy demand and outdoor thermal comfort. Morphological indicators were divided into two categories: (1) primary parameters such as building height, block size, plot coverage, and façade transparency; and (2) derived indicators including density, height-to-width ratio, and sky view factor.

Two composite indices were introduced to quantify resilience: the Energy Shock Index (ESI), representing the percentage increase in total energy consumption under extreme scenarios relative to the base year, and the Thermal Resilience Index (TRI), measuring the proportion of annual hours with naturally comfortable thermal conditions without mechanical intervention.

Results & Discussion

Results reveal a marked escalation of thermal and energy stresses in all future scenarios. Under current conditions, the total annual Energy Use Intensity (EUI) equals 138.07 kWh/m², primarily dominated by heating (76.37 kWh/m²). In the Base scenario, energy demand increases by 17.6% to 162.42 kWh/m²; in the Warm scenario, by 27.8% to 176.46 kWh/m²; and in the Cold scenario, by 41.5%, reaching 195.43 kWh/m², largely driven by a 55% surge in heating loads. These findings confirm that climate change significantly heightens dependence on mechanical systems, reducing overall energy resilience.

The thermal comfort assessment shows that under current conditions, 32.68% of annual hours fall within the comfort range, 56.6% correspond to cold stress, and 10.7% to heat stress. In future projections, comfort hours decline to 26.5%, while heat stress nearly doubles to 18.74%, reflecting a narrowing comfort window. The Resilience Index results corroborate this pattern: the Base scenario yielded the highest resilience value (0.65), while the Cold scenario had the lowest (0.53), indicating that energy shocks from cold extremes pose the most serious risk.

Morphological analysis further revealed that medium-density, fine-grained blocks with balanced height-to-width ratios and connected street networks enhance climatic resilience by facilitating airflow and balancing heat exchange. Conversely, large blocks, deep street canyons, and unbalanced densities exacerbate vulnerability by trapping heat and increasing energy loads.

Conclusion

The study concludes that the climatic resilience of the urban form in Tabriz will show a declining trend over the next three decades, with the cold extreme scenario exerting the greatest stress on energy systems due to rising heating demands. Although warm scenarios intensify cooling loads and reduce comfort hours, cold-related energy shocks represent the more critical vulnerability.

To enhance resilience, urban policies should prioritize climate-responsive design strategies, including improved insulation, passive ventilation, shading optimization, and the diversification of open and green spaces to moderate microclimates. Encouraging balanced urban densities, fine-grain morphology, and energy-efficient systems can mitigate future energy shocks.

Ultimately, true resilience cannot rely solely on technological or infrastructural solutions; it must emerge from a morphological foundation that harmonizes urban form with climatic realities. Embedding this understanding within urban design frameworks enables cities like Tabriz to better adapt to an uncertain climatic future and safeguard the comfort, health, and sustainability of their residents.

Keywords

Climatic Resilience; Thermal Comfort; Energy Consumption; Urban Form; Tabriz

Citation:

Madani Esfahani, F., Shahbazi, Y., Mirgholami, M. (2026). Assessment of the Climatic Resilience of Urban Form Against Thermal Stresses (Case Study: Valiasr Neighborhood, Tabriz). *Journal of Urban Sustainable Development*, 6 (21), 99-118.



DOI: <https://doi.org/10.22034/usd.2026.2072840.1386>



DOR: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.27170128.1404.6.21.6.5>

URL: https://usdjournals.daneshpajooan.ac.ir/article_734616.html?lang=en



Authors retain the copyright and full publishing rights.

Published by Daneshpajooan Pishro Higher Education Institute. This article is an open access article licensed under the [Creative Commons Attribution 0/4 International \(CC BY 0/4\)](https://creativecommons.org/licenses/by/0.4/)





ارزیابی میزان تاب آوری اقلیمی فرم شهر در برابر تنش های حرارتی (نمونه موردی: شهرک ولیعصر تبریز)^۱

فروغ مدنی اصفهانی^۲، یاسر شهبازی^{۳*}، مرتضی میرغلامی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۱/۰۱

چکیده:

تغییرات اقلیمی و روند فزاینده گرمایش جهانی در دهه های اخیر به یکی از مهم ترین چالش های شهرهای بزرگ ایران تبدیل شده است. کلان شهر تبریز نیز به ویژه در پی خشک شدن دریاچه ارومیه، با افزایش تنش های حرارتی، نوسانات دمایی و تغییر الگوهای مصرف انرژی روبه روست. در چنین شرایطی، تاب آوری اقلیمی فرم شهری به عنوان یکی از ابعاد کلیدی تاب آوری اهمیت ویژه ای می یابد. پرسش اصلی این پژوهش آن است که فرم کالبدی موجود شهرها تا چه اندازه می تواند در برابر بحران های ناشی از تغییر اقلیم تاب آور باشد. هدف پژوهش، ارزیابی تاب آوری اقلیمی بعد کالبدی فرم شهر در مقیاس خرد در حفظ آسایش حرارتی و مدیریت انرژی است. روش تحقیق بر پایه مدل سازی پارامتریک شاخص های کالبدی بافت از جمله ارتفاع، تراکم، جهت گیری، درصد شفافیت و تحلیل داده های اقلیمی آینده نگر طراحی شده است. داده های آب و هوایی برای دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 استخراج و در قالب وضعیت کنونی (نرمال) و سه سناریوی مبنا، گرم و سرد برای آینده شبیه سازی شدند. برای سنجش تاب آوری نیز دو شاخص «جهش انرژی» و «پایداری آسایش اقلیمی» به کار گرفته شد. یافته های پژوهش نشان می دهد مصرف انرژی سالانه نسبت به وضعیت نرمال در سناریوی مبنا ۱۸٪، در سناریوی گرم ۲۸٪ و در سناریوی سرد ۴۲٪ افزایش می یابد. سهم ساعات آسایش حرارتی از ۳۲٫۶۸٪ در وضعیت موجود به ۲۶٫۵٪ کاهش یافته و احساس گرما تقریباً دو برابر می شود (از ۱۰٫۷۲٪ به ۱۸٫۷۴٪). شاخص نهایی تاب آوری نشان داد سال مبنا بالاترین مقدار (۰٫۶۵) و سال سرد پایین ترین مقدار (۰٫۵۳) را دارد. با توجه به نتایج به دست آمده تاب آوری اقلیمی فرم شهری در نمونه مورد مطالعه روندی کاهشی خواهد داشت و بیشترین تهدید مربوط به بحران سرما و جهش تقاضای گرمایش است. بر این اساس، طراحی اقلیم محور، ارتقای بهره وری انرژی و توسعه فضاهای باز می بایست در سیاست های شهری آینده محدوده مدنظر قرار گیرد.

واژگان کلیدی: تاب آوری اقلیمی؛ آسایش حرارتی؛ مصرف انرژی؛ فرم شهری؛ تبریز

^۱ این مقاله برگرفته از مطالعات رساله ی دکتری نویسنده ی اول با عنوان «تبیین مدل تحلیلی فرم شهری تاب آور اقلیمی مبتنی بر مفاهیم و قواعد اسلامی» که با راهنمایی نویسنده دوم و سوم در دانشگاه هنر اسلامی تبریز در حال انجام است.

^۲ دانشجوی دکتری شهرسازی اسلامی، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

^{۳*} دانشیار، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران. Y.shahbazi@tabriziau.ac.ir

^۴ استاد، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱- مقدمه و بیان مسئله

در دهه های اخیر، تغییرات اقلیمی جهانی به ویژه از طریق افزایش شدت و فراوانی امواج گرمایی و تنش های حرارتی به یکی از مهم ترین چالش های زیست پذیری شهری تبدیل شده است (IPCC, 2021; Colaninno et al., 2025). این رویدادها موجب افزایش مصرف انرژی سرمایشی، کاهش آسایش حرارتی، و تشدید پدیده جزیره حرارتی شهری می شوند (Shu et al., 2025; Ed-dahmany et al., 2025).

در این میان، فرم کالبدی شهر و به ویژه شاخص های مرتبط با فرم شهری مانند تراکم ساختمانی، نسبت ارتفاع به عرض معابر، الگوی پر و خالی فضاها و میزان نفوذپذیری سطوح، نقش تعیین کننده ای در شکل دهی شرایط خرداقلیمی دارند (Zhao et al., 2025; Yan et al., 2025; Sharifi, 2019; Taleghani, 2018). این ویژگی ها می توانند الگوهای تبادل حرارتی، تهویه طبیعی و ذخیره گرمایی محیط را تحت تأثیر قرار دهند و در نتیجه سطح تاب آوری حرارتی و اقلیمی شهرها را دگرگون سازند (Bekkali & El Harrouni, 2025; Salat & Bourdic, 2012).

با وجود اهمیت این مسئله، بسیاری از پژوهش های پیشین عمدتاً به بررسی مصرف انرژی یا آسایش حرارتی به صورت جداگانه پرداخته اند و ارتباط هم زمان میان ویژگی های مورفولوژیک شهری، آسایش حرارتی و تاب آوری اقلیمی در سناریوهای تغییر اقلیم آینده کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است (Shahrestani et al., 2015; Sharifi & Yamagata, 2016; Serroni et al., 2025; Kumar & Upreti, 2024). افزون بر این، بیشتر مطالعات در مقیاس کلی شهر یا در سطح ساختمان انجام شده و پژوهش های محدودی به بررسی بافت های میان مقیاس شهری (محلات) در افق زمانی بلندمدت پرداخته اند (Colaninno et al., 2025; Javanroodi & Nik, 2019; Taleghani, 2018).

از این رو، بررسی چگونگی تأثیر فرم شهر و ساختار کالبدی آن بر تاب آوری اقلیمی در برابر تنش های حرارتی، ضرورتی علمی و کاربردی برای توسعه پایدار شهری در عصر تغییر اقلیم به شمار می رود.

از این منظر، شهر تبریز - به عنوان یکی از کلان شهرهای مهم ایران با اقلیم سرد و نیمه خشک نمونه ای قابل توجه برای تحلیل به شمار می رود (Baghanam et al., 2020). با توجه به روند رو به افزایش گرمایش اقلیمی، مسئله اصلی این پژوهش آن است که تاب آوری یک بخش منتخب از بافت شهری تبریز در برابر تنش های حرارتی در افق ۳۰ سال آینده چگونه خواهد بود. بنابراین، هدف این تحقیق، ارزیابی تاب آوری اقلیمی بر اساس شاخص های کالبدی فرم شهر بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی در بافت مورد مطالعه در سناریوهای اقلیمی آینده است. این رویکرد امکان آن را فراهم می آورد که تصویری روشن از رابطه ی فرم کالبدی و آینده پایداری اقلیمی بافت های کنونی شهرها در برابر شرایط بحرانی تنش های حرارتی ارائه شود.

۲- پیشینه و مبانی نظری پژوهش

اصطلاح «تاب آوری» که ریشه در واژه لاتین "resiliere" به معنای بازگشت به عقب دارد، ابتدا در علوم فیزیک و ریاضیات برای بیان توانایی یک ماده یا سامانه در بازگشت به حالت تعادل پس از آشفتگی به کار گرفته شد، اما به مرور وارد حوزه های روان شناسی، بوم شناسی و نهایتاً برنامه ریزی شهری شد (Walker et al., 2004). هولینگ^۱ (1973) برای نخستین بار تاب آوری اکولوژیکی را به عنوان توانایی یک سامانه طبیعی برای جذب تغییرات و تداوم روابط درونی آن معرفی کرد. این مفهوم بعدها در مطالعات شهری گسترش یافت و با ایده هایی چون پایداری، انعطاف پذیری و انطباق پذیری پیوند خورد (Folke, 2006; Gunderson & Holling, 2002).

در ادبیات علمی، سه برداشت اصلی از تاب آوری وجود دارد: تاب آوری مهندسی که بر بازگشت سریع سیستم به

^۱ Holling

است تا پایان قرن بیست و یکم از ۲ درجه نیز فراتر رود. این افزایش دما به تشدید امواج گرمایی، تغییر الگوهای بارش، گسترش جزایر حرارتی شهری و بروز تنش‌های حرارتی منجر شده است (Zarghamipour & Malakooti, 2025). این پدیده‌ها به‌ویژه در مناطق خشک یا نیمه‌خشک شدت بیشتری دارند، زیرا تراکم بالای ساختمانی، کاهش پوشش گیاهی و گسترش سطوح نفوذناپذیر همچون آسفالت و بتن، منجر به افزایش فشار حرارتی بر محیط و کاهش تاب‌آوری اقلیمی می‌شود (Roshan et al., 2019).

در ایران نیز مطالعات نشان داده‌اند که کلان‌شهرهایی نظیر تهران، تبریز و اصفهان طی دهه‌های اخیر با افزایش محسوس دما، تغییر الگوهای مصرف انرژی و حتی افزایش مرگ‌ومیر ناشی از گرما مواجه بوده‌اند (Zarghamipour & Malakooti, 2025; Roshan et al., 2019). مواجهه با این چالش‌ها دو رویکرد اساسی مطرح شده است. رویکرد کاهش به اقداماتی اشاره دارد که هدف آن کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کنترل روند گرمایش جهانی است؛ از جمله توسعه شکل‌های شهری فشرده و پایدار، ارتقای سیستم حمل‌ونقل عمومی و بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر (IPCC, 2021). در مقابل، رویکرد انطباقی بر افزایش ظرفیت سازگاری جوامع شهری با شرایط اقلیمی آینده تأکید دارد و شامل اقداماتی همچون تقویت ظرفیت نهادی، مدیریت پیامدهای اقتصادی و اجتماعی، مشارکت شهروندان و طراحی شهری انعطاف‌پذیر می‌شود (Sharifi & Yamagata, 2018). امروزه ترکیب این دو رویکرد به‌عنوان راهبردی مؤثر برای ارتقای تاب‌آوری اقلیمی شهرها توصیه می‌شود، زیرا از یک سو روند گرمایش جهانی را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر آمادگی شهرها را برای مواجهه با پیامدهای اجتناب‌ناپذیر تغییرات اقلیمی افزایش می‌دهد (Folke, 2006; Meerow et al., 2016).

پژوهش حاضر با رویکردی نوآورانه، شکاف میان مدل‌سازی نظری و شرایط واقعی محیط شهری را پر می‌کند. در این تحقیق، برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که به‌طور جداگانه به موضوع مصرف انرژی ساختمان‌ها یا آسایش

شرایط اولیه پس از بحران تأکید دارد، تاب‌آوری اکولوژیکی که حفظ عملکرد و ساختار کلی سیستم حتی با پذیرش تعادل جدید را مدنظر قرار می‌دهد و تاب‌آوری تطبیقی که بر یادگیری، تغییرپذیری و سازگاری مداوم در برابر عدم قطعیت‌ها و پیچیدگی‌های محیطی تأکید می‌کند (Meerow et al., 2016). در سال‌های اخیر، رویکرد تطبیقی به‌طور گسترده‌ای در برنامه‌ریزی شهری به‌کار گرفته شده و تاب‌آوری نه تنها به معنای بازگشت به شرایط گذشته بلکه به معنای یادگیری از بحران‌ها و حرکت به‌سوی وضعیت مطلوب‌تر تلقی شده است (Walker et al., 2004).

تاب‌آوری اقلیمی به‌طور خاص به ظرفیت شهرها برای کاهش آسیب‌پذیری، سازگاری با تغییرات آب‌وهوایی و بازیابی سریع در برابر تنش‌هایی چون امواج گرما، خشکسالی، سیل یا طوفان اطلاق می‌شود (IPCC, 2021). ویژگی‌هایی همچون تنوع، انعطاف‌پذیری، افزونگی، خودسازمان‌دهی، آینده‌نگری و ظرفیت یادگیری از جمله شاخص‌های اصلی تاب‌آوری اقلیمی به‌شمار می‌روند. (Folke, 2006) پژوهشگران ابعاد گوناگونی برای تاب‌آوری برشمرده‌اند؛ به‌عنوان نمونه بنیاد راکفلر آن را در چهار بعد سلامت و رفاه، اقتصاد و اجتماع، زیرساخت و محیط‌زیست دسته‌بندی کرده (Rockefeller Foundation, 2015) و شریفی و یاماگاتا (۲۰۱۸) نیز ابعاد اجتماعی، اقتصادی، سازمانی و زیست‌محیطی را مطرح کرده‌اند.

در حوزه طراحی شهری، با وجود اهمیت ابعاد نهادی و اجتماعی، ابعاد کالبدی و فضایی جایگاهی ویژه دارند، زیرا فرم، ریخت‌شناسی و سازمان فضایی شهر نقشی تعیین‌کننده در ارتقای تاب‌آوری اقلیمی ایفا می‌کنند (Sharifi & Yamagata, 2018). با این حال، این ظرفیت کالبدی در دهه‌های اخیر به‌واسطه تغییرات سریع اقلیمی با چالش‌های فزاینده‌ای مواجه شده است. بر اساس گزارش ششم هیأت بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC, 2021)، دمای میانگین سطح زمین از اواخر قرن نوزدهم تاکنون بیش از ۱/۱ درجه سلسیوس افزایش یافته و در صورت تداوم روند فعلی ممکن

تغییرات اجتماعی-اقتصادی را به سوی اهدافی چون پایداری و رفاه هدایت کند (Carmona, 2010). از این رو، فرم شهری به عنوان سطح مداخله پذیر طراحی شهری، پل ارتباطی میان تغییرات اقلیمی و کیفیت زیست پذیری شهرها محسوب می شود (Marcus & Colding, 2014).

پیکربندی فرم شهری و نحوه سازمان دهی عناصر کالبدی شهر از جمله بلوک ها، قطعات، فضاهای باز و معابر، نقشی تعیین کننده در شکل دهی شرایط اقلیمی و ارتقای تاب آوری شهری در برابر تنش های حرارتی دارد. در ادبیات علمی، پژوهشگران برای تحلیل رابطه میان فرم شهر و تاب آوری اقلیمی، دسته بندی های مختلفی را در سه مقیاس اصلی ارائه کرده اند. در مقیاس کلان، تمرکز بر ساختار فضایی کلی شهر، الگوی گسترش، کاربری زمین و پیوستگی شبکه سبز و آبی است که مستقیماً بر اقلیم شهری و الگوهای انرژی تأثیر می گذارد (Mills, 2006). در مقیاس میانی، عناصر مرتبط با سازمان فضایی محله ها، نحوه چیدمان بلوک ها، عرض و جهت گیری معابر و ارتباط کاربری ها بررسی می شود که نقش کلیدی در تهویه، جریان باد و تبادل حرارتی میان فضاهای باز و بسته دارد (Marcus & Colding, 2014; Dhar & Khirfan, 2017).

مقیاس خرد، که جزئی ترین سطح تحلیل محسوب می شود، عناصر کالبدی پایه شامل بلوک ها، قطعات، فضاهای باز و معابر مستقیماً بر شرایط ریز اقلیم، آسایش حرارتی، مدیریت رواناب و کارایی انرژی اثر می گذارند (Sharifi & Yamagata, 2018; Sharifi, 2019). تغییرات کوچک در هندسه بلوک ها، تراکم یا جهت گیری بناها می تواند تفاوت های قابل توجهی در تهویه طبیعی، دمای سطح و آسایش اقلیمی ایجاد کند (Han et al., 2023; Perera et al., 2019; Banerjee et al., 2024).

با توجه به هدف پژوهش حاضر که ارزیابی تاب آوری اقلیمی فرم شهری در برابر تنش های حرارتی از طریق شاخص های مصرف انرژی و آسایش اقلیمی است، تمرکز بر مقیاس خرد به عنوان مقیاس مرجع تحلیل انتخاب شده است. این مقیاس، بیشترین ارتباط مستقیم و قابل اندازه گیری را میان

حرارتی در فضاهای باز شهری پرداخته اند (Taleghani, 2018; Sharifi & Yamagata, 2021; Colaninno et al., 2025). تأثیر شاخص های کالبدی فرم شهری (مانند تراکم ساختمانی، نسبت ارتفاع به عرض معابر و الگوی پر و خالی) به صورت هم زمان بر دو شاخص مصرف انرژی و آسایش اقلیمی مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین در فرآیند مدل سازی انرژی، اقلیم محلی بر اساس داده های واقعی یک سایت شهری و در افق زمانی بلندمدت انجام گرفته است؛ در حالی که اغلب مطالعات مشابه، یا بر پایه مدل های فرضی و آزمایشگاهی (Javanroodi & Nik, 2019; Javanroodi et al., 2021) و یا صرفاً در مقطع زمانی کنونی انجام شده اند (Zhao et al., 2025; Ed-dahmany et al., 2025). این رویکرد، امکان اعتبارسنجی میدانی نتایج مدل سازی و تحلیل پویایی اقلیمی فرم شهری در طول زمان را فراهم می سازد؛ امری که از الزامات اصلی ارزیابی واقعی تاب آوری حرارتی شهرها در برابر تغییرات اقلیم آینده محسوب می شود (Wang et al., 2020; Serroni et al., 2025; IPCC, 2021).

۱-۲- لزوم مطالعات ریخت شناسی برای دستیابی به تاب آوری اقلیمی

در سال های اخیر، تاب آوری شهری به عنوان توانایی شهرها در برنامه ریزی، جذب، بازیابی و سازگاری با بحران ها، توجه بسیاری را جلب کرده است. اهمیت این مفهوم به آن دلیل است که شهرها به عنوان مراکز جمعیتی و اقتصادی در معرض بلایای طبیعی و انسانی اند و سالانه خسارت های عظیمی متحمل می شوند (TNA, 2012; CRED, 2015).

در این میان، ریخت شناسی فرم شهری نقش ویژه ای دارد، زیرا ساختار فضایی شهر و سازمان دهی عناصر کالبدی همچون ساختمان ها، خیابان ها، فضاهای باز و بلوک ها نه تنها شکل دهنده منظر و فیزیولوژی شهری هستند (Kropf, 2011; Marshall & Caliskan, 2011) بلکه ظرفیت شهر برای سازگاری با تغییرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی را تحت تأثیر قرار می دهند. طراحی شهری از طریق مدیریت روابط فضایی میان اجزای کالبدی، می تواند

انعطاف‌پذیری را کاهش داده و دسترسی و واکنش در شرایط بحران را دشوار می‌کنند (Aguilar, 2014). همچنین این نوع بلوک‌ها معمولاً فضای سبز و باز کمتری دارند و از این طریق استرس گرمایی و خطر سیلاب را تشدید می‌نمایند. (Sharifi, 2019) توزیع متوازن اندازه بلوک‌ها بر اساس «قانون توان» می‌تواند تنوع و افزونگی لازم را ایجاد کرده و در برابر بحران‌هایی همچون شوک‌های انرژی و بلایای طبیعی مقاومت بیشتری ایجاد نماید (Feliciotti et al., 2017).

قطعات

به‌عنوان کوچک‌ترین واحدهای کالبدی، قطعات ریزدانه انعطاف‌پذیری بیشتری در برابر تغییرات تدریجی نشان می‌دهند و از این طریق دسترسی، تنوع کاربری و سازگاری فضایی را ارتقا می‌دهند (Sharifi, 2019). در مقابل، قطعات بزرگ و تک‌منظوره اغلب موجب افزایش تراکم ساختمانی و کاهش فضای باز می‌شوند و در نتیجه تاب‌آوری اقلیمی در برابر گرمایش و سیلاب کاهش می‌یابد (Bruwier et al., 2018). شکل هندسی قطعات نیز مؤثر است؛ هندسه‌های ساده و منظم امکان اتصال بهتر، تهویه مطلوب‌تر و تغییرپذیری آسان‌تر کاربری‌ها را فراهم می‌کنند (Feliciotti et al., 2016).

فضای باز

فضاهای باز از طریق ارتقای جریان هوا، کاهش استرس حرارتی و جذب رواناب بارشی، نقشی اساسی در تاب‌آوری ایفا می‌کنند (Chen et al., 2018; Xu et al., 2019). شبکه‌ای متنوع و به‌هم‌پیوسته از فضاهای باز چندمنظوره، علاوه بر افزایش آسایش حرارتی، به مدیریت بحران‌هایی مانند زلزله و سیلاب نیز کمک می‌نماید (Allan et al., 2013; Van Long et al., 2020). تحقیقات نشان داده‌اند که اندازه و دسترسی فضاهای باز بر ظرفیت سازگاری آن‌ها اثرگذار است؛ فضاهای باز بزرگ‌تر و در دسترس‌تر، در مقایسه با فضاهای خرد و محصور، کارآمدترند (Sharifi, 2019) همچنین پیچیدگی کمتر شکل فضاهای باز، اثر

ویژگی‌های کالبدی فرم شهر و پاسخ‌های اقلیمی برقرار می‌کند و امکان مدل‌سازی و شبیه‌سازی پویا را فراهم می‌سازد (Sharifi & Yamagata, 2018; Dhar & Khirfan, 2017). از میان چارچوب‌های موجود، مدل سلسله‌مراتبی شریفی و یاماگاتا (2018) به دلیل پوشش کامل مؤلفه‌های کالبدی و قابلیت انطباق با تحلیل‌های اقلیمی، مبنای دسته‌بندی این پژوهش قرار گرفته است. این چارچوب پنج عنصر کلیدی شامل تراکم و چیدمان، بلوک، قطعه، فضای باز و معبر را به‌عنوان پایه تحلیل معرفی می‌کند که هم از نظر نظری در ادبیات تاب‌آوری اقلیمی و هم از نظر کاربردی در مدل‌سازی خرداقلیم شهری جایگاه محوری دارند (Lui et al., 2021; Perera et al., 2019; Banerjee et al., 2024). بر این اساس، پژوهش حاضر در ادامه به‌صورت تفصیلی به بررسی تأثیر این عناصر بر تاب‌آوری اقلیمی شهر می‌پردازد.

تراکم و چیدمان

تراکم به‌عنوان شاخص شدت توسعه، نقشی حیاتی در میزان تاب‌آوری اقلیمی دارد. تراکم متوسط، به‌ویژه در اقلیم‌های نیمه‌خشک مانند تبریز، شرایط بهینه‌تری برای تعادل میان مصرف انرژی، تهویه طبیعی و کاهش اثر جزایر حرارتی فراهم می‌کند (Guo et al., 2016; Ali et al., 2017). با این حال، طراحی دقیق فرم و چیدمان ساختمان‌ها می‌تواند اثرات منفی تراکم بالا را کاهش دهد (Perera et al., 2019). همچنین ترکیب تراکم مناسب با اختلاط کاربری اراضی به ارتقای تاب‌آوری اجتماعی و اقتصادی کمک می‌کند، زیرا این امر ضمن کاهش هزینه‌های انرژی، شبکه‌های اجتماعی و سرمایه اجتماعی را نیز تقویت می‌نماید (Sharifi, 2016; Jacobs, 1961).

بلوک‌ها

مطالعات متعددی تأیید کرده‌اند که بلوک‌های ریزدانه و متنوع ظرفیت تاب‌آوری بیشتری دارند، زیرا امکان تغییرات تدریجی، تنوع فعالیت‌ها و سازگاری با نیازهای جدید را فراهم می‌سازند (Salat, Marcus & Colding, 2014). در مقابل، بلوک‌های بزرگ و یکنواخت،

خنک کنندگی بالاتری را ایجاد می کند (Ren et al., 2013).

شبکه معابر

معابر به عنوان شریان های اصلی شهر، در تسهیل دسترسی و تهویه نقشی تعیین کننده دارند. سطح بالای اتصال شبکه ای، افزونگی حرکتی و انعطاف در مدیریت بحران ها را ارتقا می دهد (Sharifi, 2019). خیابان های متصل و نفوذپذیر، در ترکیب با زیرساخت های سبز، به کاهش سیلاب و گرمایش شهری کمک می کنند (Erdem et al., Brody et al., 2013). نسبت ارتفاع به عرض خیابان ها نیز بر آسایش حرارتی تأثیرگذار است؛ دره های خیابانی عمیق جریان باد را محدود کرده و شرایط خرداقلیمی نامطلوبی ایجاد می کنند. همچنین عامل «دید آسمان» به طور مستقیم با میزان تابش شبانه و خنک شوندگی ارتباط دارد (Gill et al., 2007). (Takebayashi & Moriyama, 2007) طراحی مناسب جهت گیری خیابان ها و ساختمان ها می تواند مسیرهای تهویه طبیعی را تقویت کرده و دمای موضعی را کاهش دهد (Alcoforado et al., 2009).

بررسی عناصر مورفولوژیکی شهر نشان می دهد که تاب آوری اقلیمی نه تنها متأثر از سیاست ها و فناوری ها، بلکه به شدت وابسته به نحوه شکل گیری فضاهای کالبدی است. تراکم متعادل، بلوک ها و قطعات ریزدانه، شبکه معابر متصل و فضاهای باز چندمنظوره همگی به عنوان عوامل کلیدی در افزایش سازگاری اقلیمی شهرها مطرح اند. ادغام این رویکردها در دستورالعمل های طراحی و سیاست گذاری شهری می تواند به کاهش آسیب پذیری و ارتقای کیفیت زیست پذیری در مواجهه با تغییرات اقلیمی کمک کند (Mills, 2006; Ramyar et al., 2019).

۳- روش تحقیق

این پژوهش از نوع کاربردی-توسعه ای است که با رویکردی توصیفی-تحلیلی و بر پایه مدل سازی و شبیه سازی انجام می شود. جامعه مورد مطالعه بخشی از بافت

شهری تبریز است که به دلیل ویژگی های کالبدی و قرارگیری در معرض تنش های حرارتی آینده به عنوان نمونه انتخاب گردیده است. انتخاب محدوده بر اساس معیارهایی همچون تراکم ساختمانی، تنوع کاربری ها، و اهمیت اقلیمی-اجتماعی انجام گرفته است.

روش کار بر پایه ی یک مدل تحلیلی پارامتریک طراحی شده است. در این مدل، متغیرهای مورفولوژی شهری شامل تراکم ساختمانی، نسبت ارتفاع به عرض معابر، الگوی پر و خالی، ابعاد و هندسه قطعات، و میزان فضاهای باز به عنوان شاخص های مستقل در نظر گرفته شده و اثر آن ها بر شاخص های وابسته شامل مصرف انرژی سرمایشی، آسایش حرارتی بیرونی ارزیابی می شود.

به منظور ارزیابی آسایش اقلیمی در فضاهای باز شهری و معابر، با توجه به مقیاس سایت و هدف تحلیل بیرونی، نقاط نمونه برداری در طول معابر اصلی با فواصل حدود ۱۰ متر در نظر گرفته شدند تا تغییرات دما، تابش و تهویه به صورت واقع بینانه ثبت شود. این فاصله بر اساس دستورالعمل های بین المللی در تحلیل آسایش شهری (Jakubiec & Reinhart, 2011; Chung et al., 2018) انتخاب شده و

تعادل مناسبی میان دقت مکانی و بار محاسباتی ایجاد می کند. آسایش اقلیمی نقاط مشخص شده در سایت بر اساس شاخص اقلیمی-حرارتی جهانی^۱ مورد ارزیابی قرار می گیرند. شاخص اقلیمی-حرارتی جهانی یکی از شاخص های معتبر و پرکاربرد در حوزه مطالعات آسایش حرارتی فضای باز است که در سال ۲۰۱۲ توسط کنسرسیوم بین المللی اقلیم-فیزیولوژی توسعه یافته است. این شاخص با هدف ارائه یک معیار واحد و استاندارد برای ارزیابی شرایط اقلیمی در محیط های بیرونی طراحی شده و نسبت به شاخص های پیشین مانند PMV یا PET قابلیت های بیشتری در سنجش اثرات همزمان شرایط جوی بر بدن انسان دارد (Jendritzky et al., 2012).

^۱ UTCI: Universal Thermal Climate Index

این شاخص بر مبنای چهار پارامتر اصلی شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد (در ارتفاع ۱۰ متر) و تابش خورشیدی مؤثر (دمای تابشی میانگین) محاسبه می‌شود. خروجی آن به صورت یک دمای معادل حرارتی بیان می‌گردد که در واقع بیانگر شرایط واقعی احساس شده توسط انسان در برابر ترکیب هم‌زمان این متغیرهاست (Bröde et al., 2012).

تفسیر مقادی این شاخص بر اساس بازه‌های حرارتی مشخص انجام می‌شود. به طور کلی، بازه +۹ تا +۲۶ درجه سانتی‌گراد محدوده آسایش حرارتی محسوب می‌شود. مقادیر بالاتر از این بازه نشان‌دهنده درجات مختلف گرمای خفیف تا شدید و مقادیر پایین‌تر بیانگر شرایط سرمای خفیف تا سرمای شدید و تهدیدکننده است. بنابراین، این شاخص قادر است محدوده‌ای گسترده از تنش‌های اقلیمی را به صورت یک طیف پیوسته شبیه‌سازی نماید (Bröde et al., 2012; Jendritzky et al., 2012).

یکی از دلایل اصلی اهمیت این شاخص در پژوهش‌های شهری، توانایی آن در انعکاس اثرات مستقیم ویژگی‌های کالبدی و فضایی فرم شهری بر شرایط حرارتی ساکنان است. فرم‌های شهری با تغییر در محصوریت معابر، نسبت سایه‌اندازی، ارتفاع ساختمان‌ها یا چیدمان بلوک‌ها می‌توانند بر میزان تابش، جریان باد و شرایط دمایی محیط تأثیر بگذارند. از این رو، در ابزارهای شبیه‌سازی پارامتریک مانند لیدی باگ^۱ و هانی بی^۲ محاسبه شاخص UTCI برای نقاط مختلف یک سایت امکان‌پذیر است و می‌تواند به عنوان مبنای ارزیابی تاب‌آوری اقلیمی فرم شهری به کار رود.

در مرحله بعد مدل‌سازی در نرم‌افزارهای تخصصی حوزه شبیه‌سازی اقلیمی و انرژی گرس هاپر و پلاگین هانی بی و لیدی باگ و برای مدل‌سازی پارامتریک و تحلیل تابش و تهویه از موتور شبیه ساز انرژی پلاس^۳ برای محاسبه بار سرمایشی و مصرف انرژی ساختمان‌ها، بهره گرفته شد.

برای پیش‌بینی اقلیم آینده تبریز در بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله‌ی ۲۰۲۵ تا ۲۰۵۵، داده‌های اقلیمی آینده با استفاده از ترکیب دو روش اصلی استخراج شد. در گام نخست، روش «تغییر اقلیم» یا «دلثا» به کار گرفته شد که مبتنی بر ترکیب داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه هواشناسی تبریز و خروجی مدل‌های اقلیمی جهانی نسل پنجم و ششم (CMIP5) و (CMIP6) است. در این روش، بازه‌ی زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۵ به عنوان دوره‌ی مبنا در نظر گرفته شد تا سازگاری نتایج مدل‌ها با واقعیت محلی حفظ شود. سپس با استفاده از سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل SSP1-SSP2-4, 6, 2, 5, SSP5-8, 5, 5، تغییرات دمای میانگین، حداقل و حداکثر (ΔT) نسبت به دوره مرجع ۱۹۹۵-۲۰۱۴ استخراج گردید. این تغییرات برای سال‌های میانی (۲۰۲۵-۲۰۲۵) به صورت خطی درونیابی شده و منحنی پیوسته ΔT حاصل شد. در ادامه، با کسر میانگین تغییر دما در دوره‌ی مبنا از منحنی ΔT ، سازگاری با شرایط ایستگاه تبریز تأمین شد و در نهایت با افزودن این تغییرات تنظیم شده به داده‌های مشاهده‌ای، سری زمانی پیش‌بینی شده دمای سالانه برای سال‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۵۵ به دست آمد.

برای افزایش دقت و پیوستگی زمانی داده‌های پیش‌بینی شده و رفع نوسانات ناهموار بین‌سالی، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین نیز استفاده شد. این الگوریتم‌ها با آموزش روی ترکیبی از داده‌های مشاهداتی و داده‌های مدل‌های اقلیمی، توانست روند سالانه‌ی دما را با دقت بالا برای هر یک از ۳۰ سال آینده تخمین بزنند. در نتیجه، مجموعه‌ای از داده‌های پیش‌بینی شده حاصل شد که هم با واقعیت محلی تبریز انطباق داشت و هم ویژگی‌های فیزیکی مدل‌های اقلیمی جهانی را حفظ می‌کرد.

در ادامه، برای تحلیل اثرات اقلیم آینده بر مصرف انرژی و رفتار سیستم‌ها، از روش پیشنهادی (Nik, 2016) استفاده شد. این روش با هدف کاهش تعداد شبیه‌سازی‌ها و ساده‌سازی داده‌های آب‌وهوایی توسعه یافته و شامل تولید سه

^۳ Energy Plus

^۱ Ladybug

^۲ Honeybee

فایل نماینده از میان داده های اقلیم آینده است: سال مبنا^۱، سال گرم افراطی^۲ و سال سرد افراطی^۳. برای ساخت این فایل ها، ابتدا توزیع صدکی دمای خشک در هر ماه از سال در طول دوره ۳۰ ساله بررسی شد و سپس برای هر ماه، سالی انتخاب شد که توزیع آن بیشترین شباهت را به توزیع کلی آن ماه داشت. در ساخت فایل های سال گرم و سال سرد نیز، سال هایی با بیشترین انحراف منفی و مثبت نسبت به توزیع مرجع انتخاب شدند. برخلاف روش های مرسوم که از ترکیبی از چند پارامتر اقلیمی برای انتخاب ماه های نماینده استفاده می کنند، در این روش فقط از دمای خشک به عنوان شاخص اصلی بهره گرفته شد، چرا که سیگنال تغییر اقلیم در این پارامتر قوی تر و پایدارتر است.

با استفاده از این سه فایل اقلیمی نماینده، شبیه سازی های پارامتریک سیستم ها و ساختمان ها در برابر شرایط مختلف اقلیمی انجام شد. استفاده از تنها سه فایل به جای ۳۰ سال داده ای کامل، موجب کاهش چشمگیر در حجم محاسبات شد بدون آنکه دقت تحلیلی از بین برود. در مجموع، مدل نهایی مورد استفاده در این پژوهش با ترکیب سه عنصر کلیدی شامل پیش بینی داده های اقلیم با روش دلتا و یادگیری ماشین، فشرده سازی داده ها با روش نیک، و اجرای مدل تحلیلی پارامتریک، بستری دقیق، بومی شده و منعطف برای تحلیل اثرات اقلیم آینده بر شهر تبریز فراهم آورده است.

نمونه موردی این پژوهش، شهرک ولیعصر تبریز است که به عنوان یکی از نواحی نسبتاً نوساز و برنامه ریزی شده شهری، به دلیل ساختار منظم، خیابان بندی مدولار و تراکم متعادل ساختمانی انتخاب شد. این محدوده در شرق تبریز واقع بوده و به دلیل ویژگی های کالبدی همگن و قابلیت مدل سازی اقلیمی، بستری مناسب برای ارزیابی تاب آوری در برابر تغییرات اقلیمی فراهم می کند. اهمیت انتخاب این

محدوده زمانی دوچندان می شود که بدانیم تبریز طی دهه های اخیر تحت تأثیر افزایش دما و تشدید تنش های حرارتی ناشی از خشکی دریاچه ارومیه با بحران های اقلیمی جدی مواجه شده است. (Baghanam et al., 2020) این وضعیت، ضرورت تحلیل و طراحی تاب آور در مقیاس محله ای را به عنوان یک مسئله حیاتی برای آینده شهر آشکار ساخته است.

در راستای ارزیابی تاب آوری اقلیمی، مجموعه ای از متغیرهای کالبدی مرتبط با تاب آوری اقلیمی بر اساس ادبیات پژوهش انتخاب شدند. شاخص هایی همچون نسبت سطح اشغال، تراکم ساختمانی، ارتفاع بناها، محصوریت معابر و نسبت فضای باز به ساخته شده بارها در ارتباط با پاسخ های حرارتی و الگوهای مصرف انرژی شهری مورد استفاده قرار گرفته اند (جدول شماره ۱).

با این حال، از آنجا که بسیاری از این شاخص ها ماهیت ترکیبی دارند، امکان تعریف مستقیم آن ها در محیط نرم افزاری مانند گرس هاپر فراهم نبود. به همین دلیل، متغیرها در دو سطح دسته بندی شدند: نخست، شاخص های پایه یا ورودی که قابلیت تعریف و تغییر مستقیم داشتند (مانند ارتفاع، عرض معبر، اندازه بلوک یا درصد اشغال)، و دوم، شاخص های ترکیبی یا خروجی که از ترکیب داده های پایه به دست می آمدند (مانند تراکم ساختمانی یا محصوریت معابر). این تفکیک موجب شد فرایند مدل سازی ساده تر و دقیق تر انجام شود و امکان شبیه سازی دینامیک متغیرها در سناریوهای اقلیمی مختلف فراهم آید. در نتیجه، پژوهش حاضر توانست با اتکا به مبانی نظری و اولویت بندی علمی، چارچوبی عملیاتی برای سنجش تاب آوری کالبدی در بستر مدل سازی پارامتریک ایجاد کند.

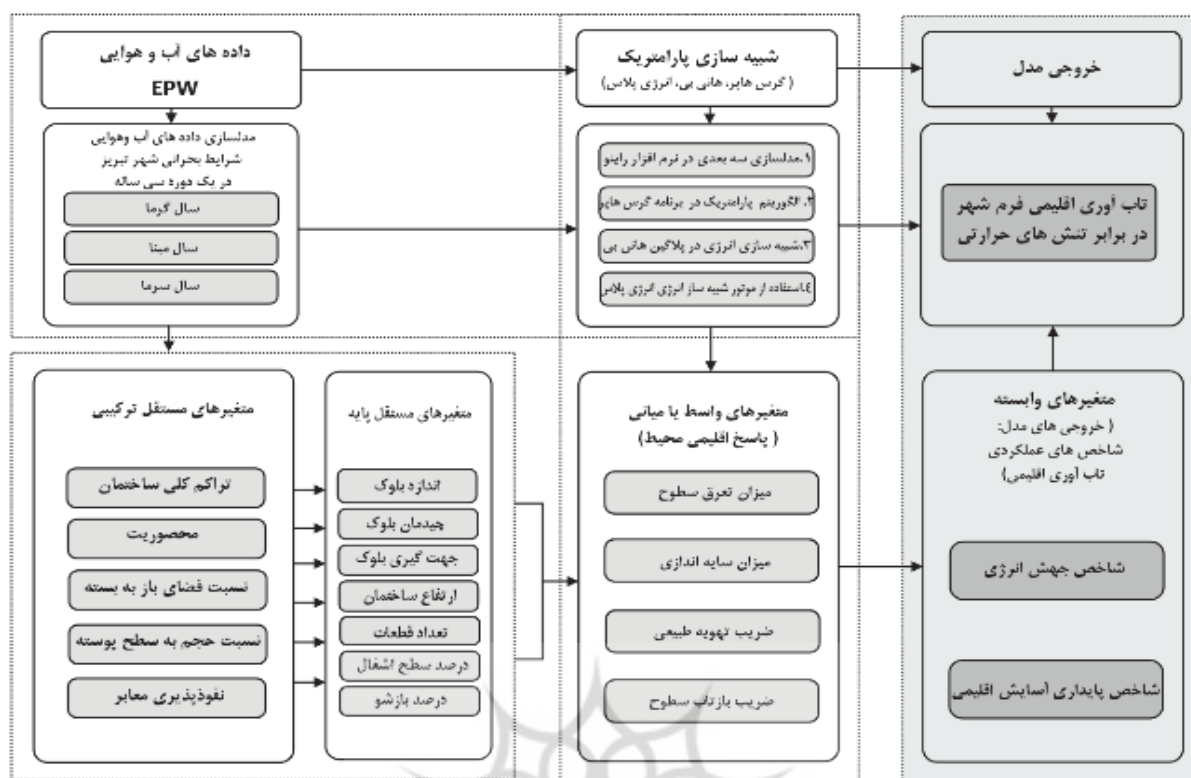
^۱ Extreme Cold Year - ECY^۲ Typical Downscaled Year - TDY^۳ Extreme Warm Year - EWY

جدول ۱. متغیرهای کالبدی فرم شهری تأثیر گذار در تاب آوری اقلیمی در مقیاس خرد

ردیف	شاخص کالبدی فرم شهری	منابع کلیدی و معتبر (2020-2025)	خلاصه یافته‌ها
۱	نسبت سطح اشغال ساختمان (BCR)	(Alhazmi & Anand, 2025); (Lui et al., 2023); (Ibrahim et al., 2021); (Tuhiran, 2023); (Mutani & Todeschi, 2020)	افزایش نسبت سطح اشغال موجب افزایش دمای محیط و کاهش تهویه طبیعی می‌شود، در حالی که مقدار کمتر آن باعث بهبود آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی است.
۲	عامل دید آسمان (SVF)	(Qiao & Yan, 2024); (Zhao et al., 2025); (Li et al., 2025)	کاهش عامل دید آسمان تهویه و تابش را محدود کرده و باعث افزایش دمای محیط می‌شود؛ افزایش آن در اقلیم‌های گرم نیازمند کنترل سایه‌اندازی است.
۳	نسبت ارتفاع به عرض معبر (H/W)	(Muniz-Gaal et al., 2020), (Park et al., 2024); (Khalvandi & Karimimoshaver, 2025); (Ibrahim et al., 2021)	نسبت ارتفاع به عرض کمتر باعث تهویه بهتر و کاهش دمای محیط می‌شود، اما در اقلیم‌های سرد مقادیر بالاتر به حفظ حرارت کمک می‌کند.
۴	نسبت سطح زیربنا به مساحت زمین (FAR)	(Murathan & Manioğlu, 2025); (Xu et al., 2024); (Li et al., 2022); (Li & Zhang, 2023)	افزایش FAR سبب تراکم بیشتر، کاهش جریان باد و افزایش مصرف انرژی سرمایشی می‌شود؛ تنظیم متعادل آن به بهبود تاب آوری اقلیمی کمک می‌کند.
۵	ضریب بازتاب سطح (Albedo)	(Elgendy et al., 2025); (Lui et al., 2024); (Elnabavi et al., 2023)	افزایش آلبدو از طریق مصالح بازتاب‌دهنده می‌تواند تا ۳۰٪ شدت جزیره حرارتی و ۲۵٪ مصرف انرژی سرمایشی را کاهش دهد.
۶	نسبت سطح پنجره به دیوار (WWR)	(Handri et al., 2025); (Chi & YuangGuo, 2021); (Cherier et al., 2024)	در اقلیم‌های سرد، WWR بزرگ‌تر می‌تواند با بهره‌گیری از تابش خورشید موجب صرفه‌جویی در گرمایش گردد؛ مقدار بهینه بین ۰٫۲۵ تا ۰٫۴ بسته به اقلیم پیشنهاد می‌شود.
۷	نسبت سطح به حجم (SVR)	(Zhu et al., 2024); (Ibrahim et al., 2021); (Bian et al., 2025); (Li & Zhang, 2023)	افزایش نسبت سطح به حجم موجب افزایش تبادل حرارتی و دمای سطحی می‌شود، اما در صورت طراحی بهینه می‌تواند تهویه و عملکرد اقلیمی را بهبود دهد.

سطوح آسیب‌پذیری و ظرفیت سازگاری آن ترسیم می‌شود. در نهایت، یافته‌ها مبنایی برای ارائه راهنماهای طراحی و سیاست‌گذاری شهری اقلیم‌محور خواهند بود (شکل شماره ۱).

در مرحله تحلیل، ابتدا اثر هر یک از متغیرهای مورفولوژی به‌طور مستقل بر شاخص‌های انرژی و آسایش اقلیمی محیط بیرون بررسی می‌شود. سپس با تلفیق نتایج، میزان تاب آوری اقلیمی بافت شهری در برابر تنش‌های حرارتی محاسبه و



شکل ۱. فرآیند ارزیابی تاب آوری اقلیمی فرم شهر

۴- بحث و یافته های پژوهش

در وضعیت نرمال یعنی وضعیت موجود، مصرف کل انرژی سالانه برابر با $138/07 \text{ kWh/m}^2$ است که بیشترین سهم آن به گرمایش اختصاص دارد ($76/37 \text{ kWh/m}^2$). این الگو نشان دهنده شرایط نسبتاً پایدار و بدون تنش شدید انرژی است. با این حال، در سناریوی مبنا (افق ۳۰ ساله آینده) مصرف کل انرژی به $162/42 \text{ kWh/m}^2$ افزایش می یابد؛ رشدی که ناشی از افزایش همزمان بار گرمایشی ($80/67 \text{ kWh/m}^2$) و سرمایشی ($38/38 \text{ kWh/m}^2$) است. این روند بیانگر کاهش محدوده آسایش حرارتی طبیعی و افزایش وابستگی به سامانه های مکانیکی است.

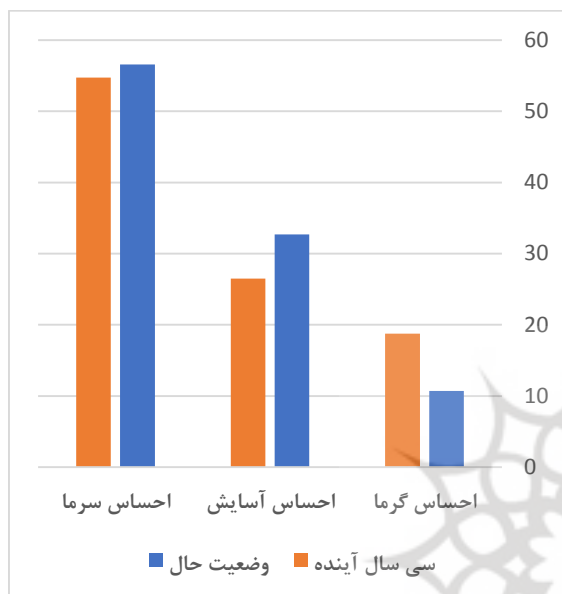
در سناریوی گرم، مصرف کل انرژی به $176/46 \text{ kWh/m}^2$ می رسد و بار سرمایشی جهشی قابل توجه به $52/33 \text{ kWh/m}^2$ دارد. این یافته نشان می دهد که موج های گرمای شدید آینده بیشترین فشار را بر سیستم های سرمایشی وارد خواهند کرد و لزوم توجه به طراحی مقاوم، بهینه سازی تجهیزات و راهکارهای کاهش بار سرمایشی را برجسته می سازد.

برعکس، در سناریوی سرد، بیشترین مصرف کل انرژی ثبت می شود ($195/43 \text{ kWh/m}^2$). در این حالت، بار گرمایشی

با توجه به رویکرد اصلی پژوهش که بر تحلیل کالبدی-فضایی تاب آوری اقلیمی تمرکز دارد، در این بخش مدل تحلیلی پژوهش ارائه و آزمون شده است. این مدل بر پایه یک چارچوب سه لایه ای طراحی شده که در آن ویژگی های کالبدی فرم شهری به عنوان متغیرهای مستقل، عوامل میانجی مانند تابش، سایه اندازی و جریان هوا به عنوان تنظیم کننده های اقلیمی، و شاخص های نهایی همچون جهش انرژی و پایداری آسایش حرارتی به عنوان خروجی ها در نظر گرفته شده اند. داده های اقلیمی آینده (افق ۲۰۲۵-۲۰۵۵) در قالب سه سناریوی مبنا، سال گرم و سال سرد وارد مدل شده و نتایج برای نمونه موردی شهرک ولیعصر تبریز تحلیل گردیده است تا ظرفیت فرم شهری در کاهش تنش های حرارتی و ارتقای تاب آوری اقلیمی سنجیده شود.

تحلیل شدت مصرف انرژی در چهار سناریوی اقلیمی (وضعیت نرمال کنونی، سال مبنا، سال گرم و سال سرد) نشان می دهد که تغییرات اقلیمی در آینده الگوی مصرف انرژی ساختمان ها را به طور جدی دگرگون خواهد کرد.

این نتایج بیانگر آن است که روند گرمایش جهانی نه تنها باعث کاهش آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری می‌شود، بلکه با افزایش استرس گرمایی، کیفیت زیست اقلیمی شهرها را به طور جدی تهدید می‌کند؛ مسئله‌ای که ضرورت طراحی اقلیم‌محور و راهبردهای پایدار در برنامه‌ریزی شهری را دوچندان می‌سازد (شکل شماره ۳).



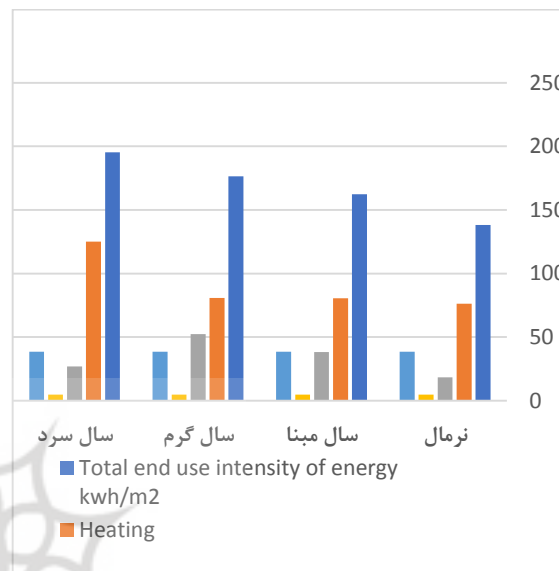
شکل ۳. درصد آسایش اقلیمی در سناریوهای اقلیمی مختلف

۴-۱- ارزیابی تاب آوری اقلیمی

همانطور که مطالعات اخیر نشان می‌دهد تاب‌آوری اقلیمی شهری تنها به میزان کل مصرف انرژی وابسته نیست، بلکه به ظرفیت سیستم‌های شهری در مدیریت شوک‌های انرژی و حفظ آسایش حرارتی پایدار در شرایط متغیر اقلیمی بستگی دارد (Sharifi & Yamagata, 2018; Lui et al., 2024). بنابراین برای بررسی تاب آوری اقلیمی در برابر تنش‌های حرارتی دو شاخص «جهش انرژی»^۱ و «پایداری آسایش اقلیمی»^۲ تبیین گردید. شاخص جهش انرژی نشان می‌دهد که مصرف انرژی در شرایط بحرانی (گرم یا سرد) چه میزان نسبت به سال مبنا تغییر می‌کند و بنابراین میزان شوک‌های انرژی را مشخص می‌سازد.

در مقابل، شاخص پایداری آسایش اقلیمی سهم زمانی را اندازه‌گیری می‌کند که در آن شرایط حرارتی بدون نیاز به

جهش شدیدی به $125/03 \text{ kWh/m}^2$ دارد و مصرف سرمایشی کاهش می‌یابد ($27/03 \text{ kWh/m}^2$). این وضعیت نشان‌دهنده وابستگی شدید به انرژی گرمایشی و ضرورت بهبود عایق‌کاری پوسته ساختمان و توسعه سامانه‌های گرمایش پایدار است (شکل شماره ۲).



شکل ۲. میزان مصرف انرژی در سناریوهای اقلیمی مختلف

به طور کلی، نتایج نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی آینده پایداری انرژی را در محیط‌های شهری کاهش داده و تنش‌های انرژی را بسته به نوع بحران (گرم یا سرما) تغییر می‌دهند.

تحلیل آسایش حرارتی در چهار سناریوی اقلیمی (نرمال، مبنا، گرم و سرد) نشان می‌دهد که در تمامی حالات، احساس سرما بیشترین سهم را به خود اختصاص می‌دهد، هرچند این سهم در سناریوی گرم کاهش یافته و به جای آن، سهم احساس گرما افزایش یافته است. در وضعیت نرمال، بیشترین میزان آسایش ($32/68\%$) ثبت شده، اما با تغییر اقلیم در آینده، بازه آسایش طبیعی کاهش یافته و در محدوده ۲۴ تا ۲۹ درصد قرار می‌گیرد. در افق ۳۰ ساله، سهم سرما از $56/58\%$ به $54/73\%$ کاهش می‌یابد، در حالی که سهم آسایش از یک‌سوم سال به حدود یک‌چهارم سال کاهش پیدا کرده و احساس گرما تقریباً دو برابر می‌شود (از $10/72\%$ به $18/74\%$).

می شود و در شرایط سرما، بر سیستم های گرمایشی. به طور کلی، شدت شوک انرژی در سناریوی سرد بیشتر است؛ از این رو می توان نتیجه گرفت که تاب آوری ساختمان در برابر بحران سرما پایین تر از بحران گرما است.

جدول ۲. نتایج شاخص جهش انرژی

سناریو اقلیمی	ESI گرمایشی %	ESI سرمایشی %	ESI کل %
سال مبنا	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
سال گرم	+۰/۱۱	+۳۶/۳۶	+۸/۶۴
سال سرد	+۵۴/۹۳	-۲۹/۵۸	+۲۰/۳۲

۴-۱-۲- شاخص پایداری آسایش اقلیمی^۲

این شاخص بیانگر درصد زمان هایی است که شرایط اقلیمی بدون نیاز به مصرف انرژی مکانیکی قادر به تأمین آسایش حرارتی است. این شاخص به صورت زیر محاسبه می شود:

$$TRI = \frac{T_{comfort}}{T_{total}} \times 100$$

که در آن $T_{comfort}$ تعداد ساعات آسایش حرارتی و T_{total} کل ساعات سال است. مقدار بالاتر TRI معرف تاب آوری بیشتر اقلیم در حفظ آسایش طبیعی است.

نتایج تحلیل نشان می دهد (جدول شماره ۳) که در شرایط کنونی، سطح آسایش حرارتی در بالاترین میزان خود قرار دارد و از پایداری نسبی بیشتری نسبت به آینده برخوردار است. در سال مبنا، کاهش جزئی نسبت به وضعیت نرمال مشاهده می شود که بیانگر کاهش ساعات آسایش طبیعی در سال های آینده است. در سناریوی گرم، این کاهش به صورت چشم گیرتر رخ می دهد؛ به طوری که تاب آوری اقلیمی در برابر بحران گرما افت کرده و نیاز به راه حل های خنک سازی محیط افزایش می یابد. در سناریوی سرد نیز هر چند وضعیت اندکی بهتر از سناریوی گرم است، اما همچنان پایین تر از شرایط نرمال قرار دارد و نشان می دهد که در بحران سرما نیز

مصرف انرژی مکانیکی قابل دستیابی است. استفاده همزمان از این دو شاخص، تصویری جامع از تاب آوری ارائه می دهد؛ به این معنا که هم شدت فشار بر سیستم های انرژی بر در مواجهه با بحران های گرما و سرما سنجیده می شود و هم ظرفیت طبیعی محیط برای حفظ آسایش حرارتی ارزیابی می گردد. تحلیل داده ها نشان می دهد که انتخاب سال مبنا به عنوان نقطه مرجع مقایسه، امکان بررسی دقیق تر شدت تنش های انرژی در سناریوهای آینده را فراهم کرده و به ویژه تمایز میان بارهای گرمایشی و سرمایشی را برجسته می سازد.

۴-۱-۱- شاخص جهش انرژی^۱

این شاخص میزان تغییر مصرف انرژی در شرایط اقلیمی بحرانی (گرم یا سرد) نسبت به سال مبنا را نشان می دهد. سال مبنا به عنوان مرجع انتخاب شده است زیرا بیانگر شرایط آینده ی محتمل و پایه ای است که سایر سناریوهای اقلیمی (بحرانی گرم و بحرانی سرد) بر اساس آن تحلیل می شوند. فرمول محاسبه به صورت زیر تعریف می گردد:

$$ESI = \frac{E_{scenario} - E_{base}}{E_{base}} \times 100$$

که در آن $E_{scenario}$ میزان مصرف انرژی در سناریوی اقلیمی (گرم یا سرد) و E_{base} میزان مصرف انرژی در سال مبنا است. مقدار مثبت ESI نشان دهنده شوک افزایشی انرژی و مقدار منفی نشان دهنده کاهش نسبی بار انرژی در مقایسه با سال مبنا می باشد.

نتایج به دست آمده از شاخص جهش انرژی (جدول

شماره ۲) نشان می دهد در سناریوی گرم، افزایش بار سرمایشی منجر به شوک انرژی بیشتر می شود، در حالی که بار گرمایشی تقریباً ثابت باقی می ماند. در مقابل، در سناریوی سرد، شوک انرژی کاملاً ناشی از افزایش بار گرمایشی است و مصرف انرژی سرمایشی حتی کاهش می یابد. این نتایج از منظر تاب آوری اقلیمی نشان می دهد که ساختمان در آینده در برابر دو نوع بحران حرارتی آسیب پذیر خواهد بود: در شرایط گرما، فشار اصلی بر سیستم های سرمایشی وارد

^۲ Thermal Resilience Index – TRI

^۱ Energy Shock Index – ESI

سناریو اقلیمی	ESI کل (%)	TRI (%)	TRI (0-1)	ESI معکوس (0-1)	تاب آوری اقلیمی نهایی
سال سرد	۲۰/۳	۲۶/۱۳	۰/۲۶	۰/۸۰	۰/۵۳

به طور کلی، این روندها نشان می‌دهند که در افق سی ساله آینده، شهرک ولیعصر با دو فشار متضاد اما هم‌زمان روبه‌رو خواهد بود؛ در تابستان، افزایش وابستگی به سرمایش مکانیکی و تشدید جزایر حرارتی؛ و در زمستان، افزایش مصرف انرژی گرمایشی و افت پایداری شبکه انرژی. در مجموع، با توجه به تداوم گرمایش جهانی، پیش‌بینی می‌شود فشار سرمایشی به تهدید غالب تاب آوری اقلیمی شهری تبدیل شود و نقش تعیین‌کننده‌ای در سیاست‌های آینده شهری ایفا کند. بنابراین، طراحی سیاست‌ها و راهبردهای سازگاری باید هم‌زمان بر کاهش وابستگی به سرمایش مکانیکی و بهینه‌سازی کارایی گرمایشی متمرکز باشد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج این پژوهش که با هدف سنجش تاب آوری اقلیمی فرم شهری در مقیاس خرد و بر اساس پیش‌بینی‌های اقلیمی ۳۰ سال آینده در شهرک ولیعصر تبریز انجام شد، نشان داد که تغییرات اقلیمی می‌تواند الگوهای مصرف انرژی و شرایط آسایش حرارتی را به طور قابل توجهی دگرگون سازد.

در شرایط نرمال کنونی، وضعیتی نسبتاً متعادل میان مصرف انرژی و ساعات آسایش طبیعی وجود دارد، اما در سناریوهای آینده این تعادل شکننده‌تر شده و فشار مضاعفی بر سیستم‌های انرژی بر وارد خواهد شد. تحلیل شاخص‌های «جهش انرژی» و «پایداری آسایش اقلیمی» بیانگر آن است که سال مبنای بالاترین سطح تاب آوری آینده را دارد و می‌تواند به عنوان نقطه مرجع در نظر گرفته شود، در حالی که در سال گرم کاهش محسوس ساعات آسایش طبیعی و افزایش بار سرمایشی موجب افت تاب آوری می‌شود و در سال سرد جهش شدید بار گرمایشی و وابستگی به سامانه‌های مکانیکی سبب کمترین سطح تاب آوری می‌گردد. این روند به‌روشنی نشان می‌دهد که هرچند فرم کالبدی موجود در شهرک ولیعصر تبریز در وضعیت فعلی توانسته است تعادل نسبی اقلیمی خود را حفظ کند، اما در افق آینده و به‌ویژه در شرایط

تاب آوری اقلیمی کاهش یافته و افراد برای حضور در فضای شهری با مشکل مواجه می‌شوند.

جدول ۳: شاخص پایداری آسایش اقلیمی در سناریوهای مختلف

سناریو اقلیمی	درصد آسایش (TRI %)
سال نرمال	۳۲/۶۸
سال مبنا	۲۹/۲۴
سال گرم	۲۴/۱۵
سال سرد	۲۶/۱۳

تحلیل شاخص‌های ترکیبی نشان می‌دهد که تاب آوری اقلیمی نمونه موردی در آینده با روندی کاهشی روبه‌رو خواهد شد. در سال مبنا که به عنوان نقطه مرجع آینده در نظر گرفته شده است، شاخص نهایی تاب آوری برابر با ۰٫۶۵ محاسبه شد. این مقدار نشان می‌دهد که اگرچه بخشی از پایداری طبیعی نسبت به شرایط کنونی از دست رفته است، اما همچنان تعادلی نسبی میان مصرف انرژی و آسایش طبیعی برقرار بوده و فشار بر سیستم‌های انرژی بر قابل مدیریت است. در سناریوی گرم، مقدار تاب آوری به ۰٫۵۸ کاهش یافته است. افت اصلی ناشی از کاهش محسوس شاخص پایداری آسایش اقلیمی ($TRI = 0.24$) و افزایش شوک انرژی سرمایشی ($ESI = 8.64\%$) است؛

به بیان دیگر، گرمایش از هر چیز با کاهش ساعات آسایش طبیعی و افزایش وابستگی به سرمایش مکانیکی، تاب آوری را تضعیف می‌کند. در مقابل، سناریوی سرد پایین‌ترین سطح تاب آوری را با مقدار ۰٫۵۳ نشان می‌دهد. دلیل اصلی این افت، جهش بسیار زیاد در مصرف انرژی گرمایشی ($ESI = 20.32\%$) است؛ هرچند شاخص آسایش در این وضعیت اندکی بهتر از سناریوی گرم است، اما فشار سنگین بار گرمایش موجب آسیب‌پذیری شدید سیستم می‌شود (جدول شماره ۴).

جدول ۴: نتایج میزان تاب آوری اقلیمی در سناریوهای مختلف

سناریو اقلیمی	ESI کل (%)	TRI (%)	TRI (0-1)	ESI معکوس (0-1)	تاب آوری اقلیمی نهایی
سال مبنا	۰/۰۰	۲۹/۲۴	۰/۲۹	۱/۰۰	۰/۶۵
سال گرم	۸/۶۴	۲۴/۱۵	۰/۲۴	۰/۹۱	۰/۵۸

آزموده شده و در مقیاس های فضایی متنوع (قطعه تا محله) به کار رود. همچنین، ترکیب مدل اقلیمی با تحلیل های اقتصادی می تواند دیدی جامع تر از صرفه جویی واقعی انرژی در سطح شهری فراهم کند. در نهایت، استفاده از شبیه سازی های ریزمقیاس برای تحلیل آسایش حرارتی فضاها، باز، گامی مؤثر در جهت ارتقای دقت ارزیابی تاب آوری اقلیمی خواهد بود.

اعلام عدم تعارض منافع :

نویسندگان اعلام می دارند که در انجام این پژوهش هیچ گونه تعارض منافی برای ایشان وجود نداشته است.

بحرانی، میزان تاب آوری آن کاهش یافته و شکننده خواهد شد. با توجه به آنکه تاب آوری اقلیمی شهر صرفاً تابع مصرف کل انرژی نیست، بلکه به توانایی سیستم در مدیریت نوسانات انرژی و حفظ تعادل حرارتی پایدار بستگی دارد (Sharifi & Yamagata, 2018; Lui et al., 2024).

میتوان بیان داشت که در افق ۳۰ ساله، تاب آوری اقلیمی نمونه موردی حدود ۱۸٪ کاهش می یابد. روند افزایش محسوس مصرف انرژی (به ویژه سرمایشی) و افت پایداری آسایش حرارتی نشان می دهد که فشار اقلیمی آینده بیشتر از ناحیه گرمایش فضاها نخواهد بود، بلکه از ناحیه سرمایش و گرمای بیش از حد شهری ناشی می شود. این وضعیت نیازمند بازنگری در سیاست های کالبدی، انرژی و اقلیم محور شهری است تا بتوان پایداری و سازگاری اقلیمی را در آینده حفظ کرد.

بر این اساس، پیشنهاد می شود سیاست های شهری تبریز با تمرکز بر ارتقای بهره وری انرژی ساختمان ها از طریق بهینه سازی فرم شهری برای تهویه طبیعی، عایق کاری، استفاده از بام های سبز و مصالح بازتابنده تقویت شود تا وابستگی به سامانه های مکانیکی کاهش یابد. همچنین طراحی اقلیم محور در پروژه های توسعه ای آتی، با تأکید بر سایه اندازی و تهویه طبیعی، می تواند نقش مهمی در کاهش فشار سرمایشی و گرمایشی ایفا کند. گسترش فضاها، سبز و باز در محله به عنوان ابزاری برای کاهش استرس حرارتی و افزایش ساعات آسایش طبیعی ضرورت دارد و بازنگری در مقررات ساخت و ساز و برنامه ریزی شهری بر مبنای سناریوهای اقلیمی آینده، اقدامی حیاتی در مسیر سازگاری با تغییر اقلیم خواهد بود. در نهایت، ایجاد سازوکارهای مدیریت تقاضای انرژی در شرایط بحرانی از طریق زیرساخت های هوشمند و برنامه های مدیریت بار پیک در تابستان و زمستان می تواند به حفظ تعادل میان مصرف انرژی و آسایش حرارتی کمک کرده و تاب آوری اقلیمی محدوده را در برابر آینده ای ناپایدار تقویت نماید.

در راستای گسترش دامنه کاربرد پژوهش حاضر، پیشنهاد می شود مدل بهینه سازی ارائه شده در اقلیم های مختلف ایران

۶- منابع

- Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 481–494.
- <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>
- Brody, S. D., Zahran, S., Highfield, W. E., Bernhardt, S. P., & Vedlitz, A. (2013). Policy learning for flood mitigation. *Global Environmental Change*, 19(3), 482–493.
- <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.04.002>
- Bruwier, M., Erpicum, S., Archambeau, P., Pirotton, M., Dewals, B. J., & Teller, J. (2018). Urban form and flood resilience. *Journal of Hydrology*, 559, 648–658.
- <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.005>
- Carmona, M. (2003). *Public places, urban spaces: The dimensions of urban design*. Architectural Press.
- <https://doi.org/10.4324/9780080515427>
- Carmona, M. (2010). Contemporary public space: Critique and classification, part one: Critique. *Journal of Urban Design*, 15(1), 123–148.
- <https://doi.org/10.1080/13574800903435651>
- Chen, L., Ng, E., An, X., Ren, C., Lee, M., Wang, U., & He, Z. (2018). Sky view factor analysis of street canyons and its implications for urban climate. *Building and Environment*, 127, 267–278.
- <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.043>
- Cherier, M. K., Hamdani, M., Kamel, E., Guermoui, M., Bekkouche, S. M. E. A., Al-Saadi, S., ... & Flah, A. (2024). Impact of glazing type, window-to-wall ratio, and orientation on building energy savings quality: A parametric analysis in Algerian climatic conditions. *Case Studies in Thermal Engineering*, 61(64), 104902.
- <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104902>
- Chi, F. A., & YuangGuo, Y. L. (2021). Impact of Window-to-wall Ratio on Building Energy Consumption. *JAILCD 2021*, 143.
- https://www.researchgate.net/profile/Yanita-Mila-Ardiani/publication/392627275_JAILCD_2021_Journal_of_Asian_Institute_of_Low_Carbo
- Aguilar, J. R. (2014). Resilient cities: an analysis of resilient urban form (Master's thesis, Georgia Institute of Technology).
 - Alhazmi, M., & Anand, J. (2025). The influence of building coverage ratio on building surface reflectivity in reducing building heat release and energy consumption under current and future weather scenarios. *Energy and Buildings*, 342, 115889.
- <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115889>
- Allan, P., Bryant, M., Wirsching, C., Garcia, D., & Teresa Rodriguez, M. (2013). The influence of urban morphology on resilience to flooding. *Landscape and Urban Planning*, 118(2), 242–262.
- <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.06.018>
- Baghanam, A. H., Nourani, V., Sheikhababaei, A., & Seifi, A. J. (2020, June). Statistical downscaling and projection of future temperature change for Tabriz city, Iran. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 491, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- <https://doi.org/10.1088/1755-1315/491/1/012009>
- Bekkali, I., & El Harrouni, K. (2025). Urban Heat Islands and Thermal Resilience in Marrakech: A Remote Sensing-Based Approach. *African and Mediterranean Journal of Architecture and Urbanism*, 13(7).
- <https://revues.imist.ma/index.php/AMJAU/article/view/58375>
- Bian, C., Hu, P., Li, C. Y., Lee, C. C., & Chen, X. (2025). Balancing Solar Energy, Thermal Comfort, and Emissions: A Data-Driven Urban Morphology Optimization Approach. *Energies*, 18(13), 3421.
- <https://doi.org/10.3390/en18133421>
- Bröde, P., Fiala, D., Blazejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., & Havenith, G. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal

- Izmir. *Environ Dev Sustain* **23**, 7835–7859.
- <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00950-4>
- Feliciotti, A., Romice, O., & Porta, S. (2017). Design for change: Five proxies for resilience in the urban form. *Open House International*, 42(3), 5–9.
- <https://doi.org/10.1108/OHI-03-2017-B0002>
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267.
- <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133.
- <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Gunderson, L. H., & Holling, C. S. (2002). Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems, *Biological Conservation*, 114(2), 308–309.
- [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00041-7](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00041-7)
- Han, Q., Nan, X., Wang, H., Hu, Y., Bao, Z., & Yan, H. (2023). Optimizing the surrounding building configuration to improve the cooling ability of urban parks on surrounding neighborhoods. *Atmosphere*, 14(6), 914.
- <https://doi.org/10.3390/atmos14060914>
- Handri, H., Pratiwi, I. A., Ilmi, M. R., Nurfadillah, A. T., & Harimardika, M. R. (2025). Evaluation of Building Envelope Performance of Shophouses as an Energy-Saving Measure (Case Study: Coffee Shop in Lamgugop, Banda Aceh City). *Lakar: Jurnal Arsitektur*, 8(2), 167–178.
- <https://doi.org/10.30998/rvydek03>
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1–23.
- <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- [n Design Contents/links/684b4b43d0be921dfef76f47/JAILCD-2021-Journal-of-Asian-Institute-of-Low-Carbon-Design-Contents.pdf#pa](https://www.designcontents.com/links/684b4b43d0be921dfef76f47/JAILCD-2021-Journal-of-Asian-Institute-of-Low-Carbon-Design-Contents.pdf#pa)
- Chung, S. C., Lau, K. K. L., Ren, C., & Wang, R. (2018). An evaluation of the effects of urban morphology on outdoor thermal perception in Hong Kong's subtropical summer using LCZ classification. In *10th International Conference on Urban Climate/14th Symposium on the Urban Environment*. AMS.
- <https://share.google/pQihWXPXPOo6ySBKS>
- Colaninno, N., Salvati, A., & Lopez-Besora, J. (2025). District-scale cumulative heat stress mapping using very-high-resolution spatiotemporal simulation. *Sustainable Cities and Society*, 130.
- <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106498>
- CRED. (2015). *The human cost of natural disasters: A global perspective*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters.
- <https://cred.be/publications>
- Dhar, T. K., & Khirfan, L. (2017). A multi-scale and multi-dimensional framework for enhancing the resilience of urban form to climate change. *Urban Climate*, 19, 72–91.
- <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.12.004>
- Ed-dahmany, N., Bounoua, L., & Lachkham, M. A. (2025). Interplay between vegetation and urban climate in Morocco—Impact on human thermal comfort. *Urban Science*, 9(8), 289.
- <https://www.mdpi.com/2413-8851/9/8/289>
- Elgendy, D., Tolba, O., & Kamel, T. (2025). The impact of increasing urban surface albedo on outdoor air and surface temperatures during summer in newly developed areas. *Scientific Reports*, 15(1), 25165.
- <https://doi.org/10.1038/s41598-025-08574-2>
- Erdem, U., Cubukcu, K.M. & Sharifi, A. (2021). An analysis of urban form factors driving Urban Heat Island: the case of

- Li, J., Zheng, B., Bedra, K. B., Li, Z., & Chen, X. (2022). Effects of residential building height, density, and floor area ratios on indoor thermal environment in Singapore. *Journal of Environmental Management*, 313, 114976.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114976>
- Li, S., & Zhang, N. (2023). Quantifying urban three-dimensional building form effects on land surface temperature: a case study of Beijing, China. *Journal of Applied Remote Sensing*, 17(4), 048501-048501.
<https://doi.org/10.1117/1.JRS.17.048501>
- Li, L., Hong, J., Ma, M., Fan, C., Xiong, X., & Pang, Y. (2025). Influence of view factors on outdoor thermal comfort of residential areas in hot-humid regions. *International Journal of Biometeorology*, 69(1), 261-274.
<https://doi.org/10.1007/s00484-024-02810-6>
- Liu, Y., Chu, C., Zhang, R., Chen, S., Xu, C., Zhao, D., ... & Cao, Z. (2024). Impacts of high-albedo urban surfaces on outdoor thermal environment across morphological contexts: A case of Tianjin, China. *Sustainable Cities and Society*, 100, 105038.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105038>
- Liu, G., Zheng, Y., Wu, X., Che, Y., Zhang, H., Gao, J., & Liu, X. (2025). Assessing urban morphology effects on residential building electricity consumption via explainable machine learning: Evidence from China's hot summer and warm winter zone. *Energy and Buildings*, 116063.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116063>
- Marcus, L., & Colding, J. (2014). Toward an integrated theory of spatial morphology and urban resilience. *Ecology and Society*, 16(4), 8.
<https://doi.org/10.5751/ES-06939-190455>
- Marshall, S., & Caliskan, O. (2011). A joint framework for urban morphology and design. *Built Environment*, 37(4), 409-426.
<https://doi.org/10.2148/benv.37.4.409>
- Ibrahim, Y., Kershaw, T., Shepherd, P., & Coley, D. (2021). On the optimisation of urban form design, energy consumption and outdoor thermal comfort using a parametric workflow in a hot arid zone. *Energies*, 14(13), 4026.
<https://doi.org/10.3390/en14134026>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. Random House.
- Jakubiec, J. A., & Reinhart, C. (2011, November). DIVA-FOR-RHINO 2.0: Environmental parametric modeling in Rhinoceros/Grasshopper using RADIANCE, Daysim and EnergyPlus. In *Conference proceedings of building simulation*.
- Javanroodi, K., & Nik, V. M. (2019). Impacts of microclimate conditions on the energy performance of buildings in urban areas. *Buildings*, 9(8), 189.
<https://doi.org/10.3390/buildings9080189>
- Jendritzky, G., de Dear, R., & Havenith, G. (2012). UTCI—Why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 421-428.
<https://doi.org/10.1007/s00484-011-0513-7>
- Khalvandi, R., & Karimimoshaver, M. (2025). Optimizing Urban Block Forms to Improve Street Canyon Microclimates and Pedestrian Comfort. *Energy and Built Environment*.
<https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2025.08.001>
- Kropf, K. (2011). Morphological investigations: Cutting into the substance of urban form. *Built Environment*, 37(4), 393-408.
<https://doi.org/10.2148/benv.37.4.393>
- Kumar, A., & Upreti, M. (2024). *Evaluating Urban Heat Island Intensity and Mitigation in Delhi's Diverse Morphological Clusters*. AGU Fall Meeting Abstracts.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2024AGUFM.GH13A2619K>

<https://doi.org/10.3390/buildings14082517>

- Perera, A. T. D., Coccolo, S., & Scartezzini, J. L. (2019). The influence of urban form on the grid integration of renewable energy technologies and distributed energy systems. *Scientific reports*, 9(1), 17756.

<https://doi.org/10.1038/s41598-019-53653-w>

- Qiao, L., & Yan, X. (2024). Analysis of the Correlation Between Spatial Morphological Elements and Microclimate in the Higher Education Teaching Center Area. *Atmosphere*, 15(11), 1330.

<https://doi.org/10.3390/atmos15111330>

- Ramyar, R., Zarghami, E., & Bryant, M. (2019). Spatio-temporal planning of urban neighborhoods in the context of global climate change: Lessons for urban form design in Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 51, 101554.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101554>

- Ren, C., Ng, E., & Katzschner, L. (2013). Urban climatic map studies: A review. *International Journal of Climatology*, 31(15), 2213–2233.

<https://doi.org/10.1002/joc.2237>

- Rockefeller Foundation. (2015). *100 Resilient Cities*. Rockefeller Foundation.

<https://www.rockefellerfoundation.org/100-resilient-cities/>

- Roshan, G., Arab, M., & Klimenko, V. (2019). Modeling the impact of climate change on energy consumption and carbon dioxide emissions of buildings in Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 17(2), 889-906.

<https://doi.org/10.1007/s40201-019-00406-6>

- Salat, S. (2017). A systemic approach of urban resilience: power laws and urban growth patterns. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 9(2), 107-135.

<http://dx.doi.org/10.1080/19463138.2016.1277227>

- Salat, S., & Bourdic, L. (2012). Urban complexity, efficiency, and resilience. *Urban Morphology*, 16(2), 69–79.

- Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38–49.

<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>

- Mills, G. (2006). Progress toward sustainable settlements: A role for urban climatology. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1-3), 69–76.

<https://doi.org/10.1007/s00704-005-0156-5>

- Muniz-Gaal, L. P., Pezzuto, C. C., de Carvalho, M. F. H., & Mota, L. T. M. (2020). Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate. *Building and Environment*, 169, 106547.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106547>

- Murathan, E. K., & Manioğlu, G. (2025). Impact of urban form on energy performance, outdoor thermal comfort, and urban heat Island: A case study in Istanbul. *Energy and Buildings*, 116109.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116109>

- Mutani, G., & Todeschi, V. (2020). The Effects of Green Roofs on Outdoor Thermal Comfort, Urban Heat Island Mitigation and Energy Savings. *Atmosphere*, 11(2), 123.

<https://doi.org/10.3390/atmos11020123>

- Nik, V. M. (2016). Making energy simulation easier for future climate – synthesizing typical and extreme weather data sets out of regional climate models (RCMs). *Appl Energy* 2016; 177, 204–26.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.107>

- Oke, T. R. (1984). *Boundary layer climates* (2nd ed.). Routledge.

<https://doi.org/10.4324/9780203407219>

- Park, K., Jun, C., Baik, J., & Kim, H. J. (2024). Urban Canyon Design with Aspect Ratio and Street Tree Placement for Enhanced Thermal Comfort: A Comprehensive Thermal Comfort Assessment Accounting for Gender and Age in Seoul, Republic of Korea. *Buildings*, 14(8), 2517.

<https://doi.org/10.1080/27669645.2025.2554113>

- Taleb, H., & Musleh, M. A. (2015). Applying urban parametric design optimisation to a hot climate. *Sustainable Cities and Society*, 14, 236–245.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.09.001>

- Taleghani, M. (2018). Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies-A review. *renewable and sustainable energy reviews*, 81, 2011–2018.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.010>

- TNA. (2012). *Technology needs assessment for climate change adaptation*. UNDP.

<https://unfccc.int/ttclear/tna>

- Van Long, N., Cheng, Y., & Le, T.D. (2020). Flood-resilient urban design based on the indigenous landscape in the city of Can Tho, Vietnam. *Urban Ecosystems*, 23, 675 - 687.

<https://doi.org/10.1007/s11252-020-00941-3>

- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability, and transformability in social–ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5.

<https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>

- Xu, L., Cui, S., Tang, J., Nguyen, M., Liu, J., & Zhao, Y. (2019). Assessing the adaptive capacity of urban form to climate stress: a case study on an urban heat island. *Environmental Research Letters*, 14(4), 044013.

<https://doi.org/10.1088/17489326/aafe27>

- Xu, Y., Yang, J., Zheng, Y., & Li, W. (2024). Impacts of two-dimensional and three-dimensional urban morphology on urban thermal environments in high-density cities: A case study of Hong Kong. *Building and Environment*, 252, 111249.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111249>

- Yan, D., Xu, L., Wang, Q., Feng, J., & Wu, X. (2025). Quantifying landscape effects on urban park thermal environments using

<https://doi.org/10.5772/38599>

- Serroni, S., Cipollone, V., & Mor, G. (2025). A data-driven decision support system for urban heat resilience: Comfort optimization during extreme events. *2025 IEEE International Workshop on Metrology for Living Environment (MetroLivEnv)*, Venezia, Italy, 479–484.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/11106953>

- Shahrestani, M., Yao, R., Luo, Z., Turkbeyler, E., & Davies, H. (2015). A field study of urban microclimates in London. *Renewable Energy*, 73, 3–9.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.061>

- Sharifi, A. (2016). From garden city to eco-urbanism: The quest for sustainable neighborhood development. *Sustainable Cities and Society*, 20, 1–16.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.09.002>

- Sharifi, A. (2019). Resilient urban forms: A review of literature on streets and street networks. *Urban Morphology*, 23(1), 67–82.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.040>

- Sharifi, A., & Yamagata, Y. (2016). Urban resilience assessment: A framework and case study. *Sustainable Cities and Society*, 24, 1–12.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.001>

- Sharifi, A., & Yamagata, Y. (2018). Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1654–1677.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.028>

- Shu, B., Chang, M. E., Chang, H. T., Ou, J. H., Baghanam, A. H., Nourani, V., Sheikhabaei, A., & Seifi, A. J. (2020, June). Statistical downscaling and projection of future temperature change for Tabriz city, Iran. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 491, No. 1, p. 012009). IOP Publishing., & Hsiung, T. J. (2025). Research on thermal environment simulation improvement of green infrastructure at urban block scale. *All Earth*, 37(1), 1–21.

microclimate and outdoor thermal comfort across different building morphologies. *Building and Environment*, 285, 113614.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113614>

- Zhu, S., Ma, C., Wu, Z., Huang, Y., & Liu, X. (2024). Exploring the Impact of Urban Morphology on Building Energy Consumption and Outdoor Comfort: A Comparative Study in Hot-Humid Climates. *Buildings*, 14(5), 1381.

<https://doi.org/10.3390/buildings14051381>

ENVI-Met and 3D grid profile analysis, *Forests*, 16(7), 1085.

<https://www.mdpi.com/1999-4907/16/7/1085>

- Zarghamipour, M., & Malakooti, H. (2025). The projected effects of urbanization and climate change on urban Heat Island and thermal comfort over the Tehran metropolitan. *Science of The Total Environment*, 992, 179955.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179955>

- Zhao, Y., Li, R., Niu, J., Shi, X., & Gao, N. (2025). Impact of vegetated facades on



نحوه ارجاع به مقاله:

مدنی اصفهانی، فروغ، شهبازی، یاسر، و میرغلامی، مرتضی. (۱۴۰۴). ارزیابی میزان تاب آوری اقلیمی فرم شهر در برابر تنش های حرارتی (نمونه موردی: شهرک ولیعصر تبریز). *توسعه پایدار شهری*، ۶(۲۱)، ۹۹-۱۱۸.

DOI: <https://doi.org/10.22034/usd.2026.2072840.1386>

DOR: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.27170128.1404.6.21.6.5>

URL: https://usdjournal.daneshpajooohan.ac.ir/article_734616.html?lang=fa



Authors retain the copyright and full publishing rights.

Published by Daneshpajooohan Pishro Higher Education Institute. This article is an open access article licensed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)