



<https://sppl.ui.ac.ir/?lang=en>

Spatial Planning

E-ISSN: 2476-3357

Document Type: Research Paper

Vol. 16, Issue 2, No.61, 2026, pp. 65- 94

Received: 03/02/2026

Accepted: 01/06/2026

Comparative Analysis of Climate Resilience and Environmental Quality of Traditional and Modern Urban Squares (Case Study: Naqsh-e Jahan Square in Isfahan and Azarbaijan Square in Tabriz)

Parinaz Badamchizadeh

Ph.D. candidate, Department of urban and Regional Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Parinaz.badamchizadeh@tabrizu.ac.ir

Iraj Teimouri  *

Associate professor, Department of urban and Regional Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

iraj-teymouri@tabrizu.ac.ir

Abstract

Climate change and the intensification of the Urban Heat Island (UHI) effect have made the resilience of public open spaces a critical challenge for contemporary cities. Urban squares play a key role in temperature regulation, thermal comfort, and environmental quality. However, modern traffic-oriented roundabouts largely neglect climatic functions. This study compared two representative squares—Naqsh-e Jahan in Isfahan (traditional and human-centered) and Azarbaijan in Tabriz (modern and traffic-oriented)—using a descriptive-analytical approach and remote sensing data (LST, NDVI, NDBI) from 2015 to 2025.

The results showed that the integrated design of the traditional square with nature yielded superior climatic performance. Dominated by green and permeable surfaces, Naqsh-e Jahan Square functioned as an urban cool island with lower land surface temperatures. In contrast, Azarbaijan Square exhibited vegetation loss and expanding impervious surfaces, becoming a heat hotspot with higher surface temperatures.

The conclusion confirmed the superiority of traditional design paradigms for urban resilience. Through the intelligent integration of green spaces, water features, and compatible materials, Naqsh-e Jahan Square created a stable microclimate, whereas modern roundabouts exacerbated the UHI effect and increased urban vulnerability. This study emphasized the need to rethink contemporary urban space design by prioritizing nature-based strategies, permeability, and green coverage.

Keywords: Thermal Comfort, Climate Resilience, Urban Square, Land Surface Temperature (LST), NDVI, Green Infrastructure, Environmental Quality.

*Corresponding Author

Badamchizadeh, P. and Teymouri, I. (2026). Comparative analysis of climate resilience and environmental quality of traditional urban squares and modern squares (Case study: Naqsh-e Jahan Square, Isfahan and Azarbaijan Square, Tabriz). *Spatial Planning*, 16 (2), 65 - 94 .

2476-3357 © The Author(s).

Published by 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/sppl.2026.148187.1875

Introduction

Climate change is one of the most critical challenges of the 21st century with far-reaching impacts on urban environments, including increased heatwaves, intensification of the Urban Heat Island (UHI) effect, higher energy consumption, diminished environmental quality, and threats to public health. In recent decades, urban expansion, proliferation of impervious surfaces, loss of green spaces, and functionalist design approaches have reduced the capacity of public spaces to moderate local climates. As key spatial elements, urban squares play a significant role in shaping microclimates, enhancing thermal comfort, fostering social interaction, and improving environmental quality. However, the design of urban squares has undergone fundamental changes over time. Traditional squares have been developed in accordance with climatic principles, human scale, and integration of natural and artificial elements. By contrast, many modern roundabouts and squares prioritize traffic flow and vehicular capacity. This shift has led to a decline in spatial and environmental quality, raising important questions about the climatic efficiency of contemporary urban spaces. This study conducted a comparative analysis of climate resilience and environmental quality in two representative Iranian urban spaces: Naqsh-e Jahan Square in Isfahan (traditional, human-centered) and Azarbaijan Square in Tabriz (modern, traffic-oriented). These cases were selected due to their contrasting physical structures, spatial organization, integration of natural elements, and underlying design philosophies. The objective was to assess how each design approach influenced climatic and environmental indicators and to derive strategies for enhancing the resilience of public spaces. The central research question was: How much can the traditional square pattern—compared to the modern roundabout—create favorable climatic conditions, reduce land surface temperature, and improve overall environmental quality?

Materials & Methods

This study employed a descriptive-analytical and comparative approach. Data were extracted from Landsat Collection 2 Level 2 satellite imagery spanning the period 2015–2025. Processing was conducted using Google Earth Engine with supplementary analyses performed in QGIS and ENVI software. Three indices were utilized: Land Surface Temperature (LST) to assess thermal conditions and UHI intensity; Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to evaluate vegetation cover; and Normalized Difference Built-up Index (NDBI) to map built-up and impervious surfaces. To eliminate seasonal fluctuations, images were selected from July 1 to August 1 of each year. A cloud filter (<30%) was applied and annual mean images were subsequently calculated. Thermal sharpening (sub-pixel) was employed to enhance the accuracy of the thermal data. The results were validated by using synoptic station data from Tabriz and Isfahan. High correlation coefficients and acceptable RMSE values confirmed that the satellite data possessed adequate accuracy for climatic analyses. The methodology enabled a robust comparison of the climatic performance of the two squares over a decade. By combining remote sensing with ground-based validation, the study ensured a reliable assessment of trends in temperature, vegetation, and impervious surfaces. This quantitative approach allowed for an effective evaluation of how traditional versus modern design patterns influenced urban microclimates and environmental quality.

Research Findings

Azarbaijan Square (Tabriz): Time series analysis revealed extensive physical transformations between 2015 and 2025, including road network expansion, construction of underpasses and grade-separated intersections, and an increase in asphalt surfaces. NDBI values rose steadily throughout the study period, indicating growing impervious cover. Simultaneously, NDVI values declined, reflecting gradual vegetation loss and diminished environmental quality. The reduction in green cover weakened evapotranspiration, reduced shading, and increased solar energy absorption. Consequently, LST increased over multiple years, transforming Azarbaijan Square into an urban heat hotspot. Thermal maps indicated that surface temperatures on hot summer days were noticeably higher than those of surrounding areas, leading to reduced thermal comfort, higher cooling energy demand, increased air pollution, and greater vulnerability to heatwaves.

Naqsh-e Jahan Square (Isfahan): In contrast, this historic square demonstrated significantly superior performance. Thanks to its coherent spatial structure, abundant vegetation and shade trees, central pool, and water channels, it created a favorable microclimate. NDVI remained relatively stable throughout the study period with consistently positive and substantial values. NDBI was negative in all years, indicating that natural and permeable surfaces predominated over built surfaces. These conditions enabled Naqsh-e Jahan Square to act as an urban cool island, lowering ambient temperatures. Despite urban growth around the square, its historic structure and climatic features largely mitigated negative external effects. LST analysis revealed more favorable thermal conditions compared to the surrounding area, demonstrating a high capacity for mitigating the urban heat island effect.

Discussion of Results & Conclusion

The findings clearly demonstrated that design approach was the primary factor underlying the contrasting climatic performance of the two squares. Naqsh-e Jahan Square integrated vegetation (providing shade and reducing radiant temperature), water features (enabling evaporative cooling), and light-colored local materials (characterized by low heat absorption). Its balanced height-to-width ratio facilitated adequate airflow and shade distribution. These attributes endowed the square not only with significant cultural value, but also with excellent climatic performance. In contrast, Azarbaijan Square—designed according to traffic engineering logic—featured extensive asphalt and concrete surfaces, lacked effective vegetation or water features, and prioritized vehicular movement above all else. This resulted in high heat absorption and storage, forming a local heat island with minimal climate moderation capacity.

These findings are consistent with national and international studies demonstrating that green and blue infrastructure, permeable surfaces, and nature-based solutions can lower land surface temperature and enhance urban resilience. Conclusively, Naqsh-e Jahan Square exhibited higher climate resilience and environmental quality than Azarbaijan Square. The traditional design pattern outperformed the modern, traffic-oriented approach. Therefore, this study emphasizes the need to rethink the design of contemporary public spaces. Urban planners should prioritize strategies, such as developing green and blue infrastructure, increasing surface permeability, using high-albedo materials, expanding natural shading, and reducing car dependency. Such an approach can pave the way toward more sustainable, healthy, and climate-adaptive cities.

تحلیل تطبیقی تاب‌آوری اقلیمی و کیفیت محیطی میادین شهری سنتی و فلکه‌های مدرن (مطالعه موردی: میدان نقش جهان اصفهان و میدان آذربایجان تبریز)

پریناز بادامچی‌زاده، دانشجوی دکتری تخصصی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

Parinaz.badamchizadeh@tabrizu.ac.ir

ایرج تیموری* ، دانشیار برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

iraj-teymuri@tabrizu.ac.ir

چکیده

تغییرات اقلیمی و تشدید پدیده جزیره حرارتی شهری، تاب‌آوری فضاهای باز عمومی را به چالشی اساسی در شهرهای معاصر تبدیل کرده است. میادین شهری به‌عنوان قلب تپنده شهرها، نقشی کلیدی در تعدیل دما، ایجاد آسایش حرارتی و ارتقای کیفیت محیطی دارند؛ با این حال، الگوی رایج فلکه‌های مدرن که عمدتاً با اولویت ترافیکی طراحی می‌شوند، توجه چندانی به کارکردهای اقلیمی و زیست‌محیطی ندارند. این پژوهش با رویکرد تطبیقی به ارزیابی تاب‌آوری اقلیمی و کیفیت محیطی دو گونه شاخص می‌پردازد: میدان نقش جهان اصفهان (نمونه سنتی انسان‌محور) و میدان آذربایجان تبریز (نمونه مدرن ترافیک‌محور). روش تحقیق تلفیقی از تحلیل‌های توصیفی تحلیلی و داده‌های سنجش از دور (شاخص‌های NDVI، LST و NDBI) در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ است. یافته‌های کلیدی نشان می‌دهد که طراحی یکپارچه با طبیعت در میدان سنتی، عملکرد اقلیمی بسیار مطلوب‌تری به همراه داشته است. در میدان نقش جهان، غلبه سطوح سبز و نفوذپذیر (با میانگین شاخص پوشش گیاهی مثبت و قابل توجه و شاخص ساخت‌وساز منفی در کل دوره) منجر به شکل‌گیری یک لکه خنک شهری با دمای سطح زمین پایین‌تر شده است. در مقابل، میدان آذربایجان روند معکوسی را تجربه می‌کند: کاهش تدریجی پوشش گیاهی، گسترش مداوم سطوح سخت و نفوذناپذیر و تبدیل شدن به یک کانون گرمایی با دمای سطح بالاتر. نتیجه‌گیری نهایی حاکی از برتری آشکار الگوهای طراحی سنتی در ارتقای تاب‌آوری شهری است. میدان نقش جهان با تلفیق هوشمندانه فضای سبز، عناصر آبی و مصالح سازگار، ریزاقلیمی پایدار ایجاد می‌کند؛ در حالی که فلکه‌های مدرن با تشدید جزیره حرارتی، آسیب‌پذیری شهری را افزایش می‌دهند. این مطالعه بر ضرورت بازاندیشی در طراحی فضاهای شهری معاصر با اولویت‌دادن به راهبردهای مبتنی بر طبیعت، افزایش نفوذپذیری و پوشش سبز تأکید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آسایش حرارتی، تاب‌آوری اقلیمی، میدان شهری، دمای سطح زمین، شاخص NDVI، زیرساخت سبز، کیفیت محیط زیست

*نویسنده مسؤول

بادامچی‌زاده، پریناز و تیموری، ایرج. (1405). تحلیل تطبیقی تاب‌آوری اقلیمی و کیفیت محیطی میادین شهری سنتی و فلکه‌های مدرن (مطالعه موردی: میدان نقش جهان اصفهان و میدان آذربایجان تبریز)، *برنامه‌ریزی فضایی*، 16 (2)، 94-65.



مقدمه

تغییرات اقلیمی به‌عنوان یکی از چالش‌های جهانی قرن بیست‌ویکم، پیامدهای عمیقی بر شهرها و زیست‌پذیری آنها برجای گذاشته است (Zhai & Lee, 2024, p. 474). امواج گرما، سیلاب‌های ناگهانی و خشکسالی‌های مکرر، زیرساخت‌های حیاتی، اقتصاد شهری و سلامت اجتماعی را به شدت تحت فشار قرار می‌دهند (Patz et al., 2005, p. 314; Mora et al., 2017, p. 504). در این میان، اثر جزیره حرارتی شهری (UHI) به‌عنوان یکی از ملموس‌ترین نمودهای تغییر اقلیم در مقیاس محلی، دمای شهرها را نسبت به حومه طبیعی افزایش داده و آسایش حرارتی شهروندان را به مخاطره انداخته است (Oke, 1982, p. 15; Santamouris, 2020, p. 5). بنابراین، ارزیابی نقش ساختار کالبدی فضاهای شهری در ارتقای تاب‌آوری اقلیمی و بهبود کیفیت محیطی، به یکی از محورهای اساسی پژوهش‌های معاصر در حوزه شهرسازی و طراحی شهری تبدیل شده است (Wang & Chen, 2024, p. 105; Seto et al., 2017, p. 8936).

در این زمینه، میادین شهری به‌عنوان عناصر کلیدی ساختار فضایی شهرها، نقشی تعیین‌کننده در تنظیم ریزاقلیم، ایجاد آسایش حرارتی و تسهیل تعاملات اجتماعی ایفا می‌کنند (Ahac et al., 2023, p. 118; Boulagouas et al., 2024, p. 294). با این حال، دو الگوی غالب در طراحی این فضاها قابل تشخیص است: الگوی سنتی انسان‌محور که ریشه در فرهنگ و اقلیم منطقه دارد و الگوی مدرن ترافیک‌محور که عمدتاً تحت سلطه نیازهای جابه‌جایی سواره شکل گرفته است (Persaud et al., 2001, p. 5). نمونه بارز الگوی سنتی، میدان نقش جهان اصفهان است که با هندسه متعادل، حضور گسترده فضای سبز و عناصر آبی، و استفاده از مصالح بومی شناخته می‌شود. در مقابل، میدان آذربایجان تبریز نماینده الگوی مدرن است؛ فلکه‌ای عظیم که با اولویت روان‌سازی ترافیک و غفلت از ابعاد اقلیمی و اجتماعی طراحی شده است (آزمون و محمدنژاد، ۱۴۰۳، ص. 72؛ Fernandes et al., 2016, p. 850).

پرسش اصلی این پژوهش آن است که این دو الگوی طراحی چگونه بر شاخص‌های عینی محیطی مانند دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و گسترش سطوح نفوذناپذیر تأثیر می‌گذارند و این تفاوت‌ها چه درس‌هایی برای طراحی فضاهای عمومی تاب‌آور در اختیار ما می‌گذارند (Fernandes et al., 2016, p. 850; Shaaban et al., 2018, p. 182). پاسخ به این پرسش، از طریق تحلیل تطبیقی داده‌های سنجنش از دور (NDBI, NDVI, LST) در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ و تفسیر کیفی ویژگی‌های کالبدی و تاریخی دو میدان، دنبال خواهد شد (Rayan et al., 2022, p. 7966).

بیان مسئله

میدان‌های شهری در طول تاریخ، نقش‌های گوناگون اجتماعی، فرهنگی و عملکردی ایفا کرده‌اند. میادین سنتی مانند میدان نقش جهان اصفهان، عمدتاً به‌عنوان قطب‌های اجتماعی - فرهنگی در مراکز تاریخی شهرها شکل گرفته‌اند. این فضاها با هندسه متناسب، مقیاس انسانی، حضور نشانه‌های معماری، مسیرهای عابرپیاده، فضای سبز گسترده، آب‌نماها و نشیمنگاه‌ها، بر ارزش‌های زیبایی‌شناختی و هویت شهری تأکید داشته و حس مکان و تعلق اجتماعی را تقویت می‌کنند (Ahac et al., 2023, p. 118; Boulagouas et al., 2024, p. 294). در مقابل، فلکه‌ها و میادین مدرن شهری مانند میدان آذربایجان تبریز، با فلسفه‌ای کاملاً متفاوت و با محوریت تسهیل جریان

ترافیک و ارتقای ایمنی طراحی می‌شوند. این فضاها اغلب شامل باندهای ترافیکی متعدد، جزیره مرکزی و حداقل عرصه برای عابران پیاده هستند و هدف اصلی آنها کاهش توقف‌ها، برخوردها و بهبود کارایی ترافیک است (Mohammad et al., 2022, p. 101116; Persaud et al., 2001, p. 5).

از نظر ایمنی و زیست‌محیطی، شواهد نشان می‌دهد که میدان‌های مدرن می‌توانند تصادفات و ازدحام را در مقایسه با تقاطع‌های چراغ‌دار کاهش دهند و از طریق جریان روان‌تر وسایل نقلیه، انتشار گازهای گلخانه‌ای را نیز کم کنند (Fernandes et al., 2016, p. 850; Shaaban et al., 2018, p. 182)؛ با این حال، این فضاها به ندرت به ابعاد اقلیمی، سرزندگی اجتماعی و هویت شهری می‌پردازند و اغلب فاقد پیوستگی عملکردی با کاربری‌های پیرامون و امکانات اجتماعی فعال هستند.

در شرایط کنونی و با شدت گرفتن تغییرات اقلیمی و تشدید پدیده جزیره حرارتی شهری، ضرورت توجه به تاب‌آوری اقلیمی و کیفیت محیطی فضاها باز عمومی بیش از پیش احساس می‌شود (Zhai & Lee, 2024, P. 474; Wang & Chen, 2024, p. 105). پرسش اصلی این است که الگوی طراحی انسان‌محور میدان‌های سنتی (نمونه: نقش جهان) در مقایسه با الگوی ترافیک‌محور فلکه‌های مدرن (نمونه: آذربایجان) چگونه بر شاخص‌های عینی مانند دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و گسترش سطوح نفوذناپذیر تأثیر می‌گذارد؟ و این تفاوت‌ها چه درس‌هایی برای بازطراحی فضاهای شهری معاصر در جهت افزایش تاب‌آوری و آسایش حرارتی دارد؟ مقایسه جامع این دو الگو می‌تواند نقاط قوت و ضعف هر یک را آشکار ساخته و راهبردهایی عملی برای بهبود طراحی فلکه‌های موجود و آینده ارائه دهد (Crocce & Vettorato, 2021, p. 103313; Cuce et al., 2025, p. 1303).

مبانی نظری

تغییرات اقلیمی به‌عنوان یکی از تهدیدهای بنیادین قرن بیست‌ویکم، پیامدهای چندبعدی و درهم‌تنیده‌ای بر نظام‌های انسانی و طبیعی برجای می‌گذارد و ضرورت توسعه راهبردهای کارآمد برای افزایش تاب‌آوری را بیش از پیش برجسته می‌سازد (Zhai & Lee, 2024, p. 474). شهرها به‌واسطه تراکم جمعیت، تمرکز زیرساخت‌ها و فعالیت‌های اقتصادی، به کانون‌های اصلی آسیب‌پذیری در برابر رویدادهای حدی آب‌وهوایی از جمله سیلاب‌های فزاینده، موج‌های گرما و طوفان‌های شدید بدل شده‌اند؛ از این رو، مفهوم تاب‌آوری شهری به‌عنوان مؤلفه‌ای کلیدی در برنامه‌ریزی شهری مطرح می‌شود که کاهش خطرپذیری، ارتقای ظرفیت سازگاری و حمایت از مسیرهای توسعه پایدار را دنبال می‌کند (Lu & Stead, 2013, p. 205).

تاب‌آوری اقلیمی، که بخشی جدایی‌ناپذیر از چارچوب کلی تاب‌آوری است، پیوندی عمیق با سایر ابعاد آن - از جمله تاب‌آوری اجتماعی، اقتصادی و بوم‌شناختی - دارد و تفاوت در شرایط و نیازهای مناطق شهری و روستایی ویژگی‌ها و چالش‌های متفاوتی برای آن ایجاد می‌کند (Su et al., 2022, p. 8911). این مفهوم در سطح اجتماعی بر سرمایه اجتماعی، انسجام جامعه و مشارکت نهادهای رسمی و غیررسمی استوار است و نقش حیاتی در کاهش اثرات نامطلوب اقلیمی ایفا می‌کند (Carmen et al., 2022, p. 1380). در حوزه مدیریت ریسک بلایا، رویکردهای نوین

کاهش خطرپذیری با تأکید بر یکپارچگی اقدامات و مشارکت جامعه، دستیابی به اهداف توسعه پایدار را تسهیل می‌کنند (Djalante et al., 2011, p. 5). همچنین در سطح بوم‌شناختی - اجتماعی، حفظ توازن میان سامانه‌های طبیعی و انسانی از طریق حکمرانی کارآمد و پرهیز از الگوهای مدیریتی ناکارآمد به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده برای ارتقای تاب‌آوری مطرح است (Ojea et al., 2021, p. 22926).

راهبردهای تقویت تاب‌آوری اقلیمی در محیط‌های شهری، طیفی از مداخلات زیرساختی، نوآوری‌های فناورانه و اقدامات اجتماعی را در بر می‌گیرند. کشاورزی شهری، با استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی، ذخیره‌سازی آب باران و کاهش اثر جزیره حرارتی، علاوه بر ارتقای امنیت غذایی، پیوندهای اجتماعی را تقویت کرده و تاب‌آوری اکولوژیک و فناورانه را بهبود می‌بخشد (Tomatis et al., 2023, p. 502). در حوزه زیرساخت، تلفیق فناوری‌های هوشمند مانند شبکه‌های مدیریت هوشمند آب و بهره‌گیری از چارچوب‌های ارزیابی ریسک، نمونه‌هایی از اقدامات موفق در ارتقای تاب‌آوری شهری محسوب می‌شوند (Adelani et al., 2024, p. 985). نوآوری‌های دیجیتال و ابزارهای مالی نوین نیز می‌توانند با ارتقای بهره‌وری منابع و پشتیبانی از توسعه صنعتی، بُعد اقتصادی تاب‌آوری را تقویت کنند (Dada et al., 2024, p. 1377).

از منظر سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی برای تاب‌آوری اقلیمی مستلزم رویکردی جامع و یکپارچه است که ابعادی همچون تنوع‌بخشی، یادگیری سازمانی، پیوندپذیری شبکه‌ها و حکمرانی اثربخش را پوشش دهد (Berbés-Blázquez et al., 2017, p. 235). در این راستا، چارچوب‌های ارزیابی تاب‌آوری به‌عنوان ابزارهای تحلیلی، امکان شناسایی حوزه‌های کلیدی آسیب‌پذیری و تدوین برنامه‌های اقدام متناسب با زمینه‌های بومی را برای شهرها فراهم می‌کنند (Cardoso et al., 2020, p. 242). اتخاذ چنین رویکردی نه تنها توان سازگاری شهرها با شوک‌های اقلیمی و زیست‌محیطی را ارتقا می‌دهد، توسعه پایدار شهری را تضمین کرده و ظرفیت تاب‌آوری نسل‌های آینده را تقویت می‌کند.

بر این اساس، ادبیات علمی اخیر بر ضرورت ادغام مفاهیم تاب‌آوری اقلیمی در فرآیندهای برنامه‌ریزی شهری و مدیریت منابع تأکید دارد. چنین رویکردی، با بهره‌گیری از ابزارهای فناورانه، سیاست‌های مشارکتی و نوآوری‌های اجتماعی، بستری علمی و عملی برای کاهش آسیب‌پذیری شهری و ایجاد سامانه‌های پایدار و انعطاف‌پذیر فراهم می‌سازد. این چارچوب نظری، پایه‌ای محکم برای پژوهش‌های کاربردی در حوزه طراحی شهری و ارتقای کیفیت محیطی در مواجهه با تغییرات اقلیمی فراهم می‌کند.

پیشینه پژوهش داخلی

در سال‌های اخیر، با افزایش نگرانی‌ها درباره تغییرات اقلیمی و اثرات آن بر شهرهای ایران، پژوهش‌های متعددی به موضوع تاب‌آوری اقلیمی شهری پرداخته‌اند. این مطالعات عمدتاً بر ابعاد گوناگون تاب‌آوری شامل ظرفیت‌های نهادی، نقش زیرساخت‌های سبز، آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیررسمی، تحلیل حرارتی ساختمان‌ها و ارزیابی تطبیقی شهرها متمرکز بوده‌اند؛ با این حال، آنچه کمتر مورد توجه قرار گرفته، مقایسه مستقیم عملکرد اقلیمی دو گونه متفاوت از فضاها شهری (میدان سستی در برابر فلکه مدرن) با استفاده از داده‌های کمی سنجش از دور در یک بازه زمانی ده‌ساله است. در ادامه، مهم‌ترین پژوهش‌های داخلی مرتبط با تاب‌آوری اقلیمی و کیفیت محیطی فضاها شهری مرور می‌شوند.

پژوهش‌های داخلی انجام‌شده در حوزه تاب‌آوری اقلیمی شهری طی سال‌های اخیر، عمدتاً بر ابعاد گوناگون این مفهوم شامل نقش زیرساخت‌های سبز، ظرفیت‌های نهادی، آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها و تحلیل حرارتی فضاها متمرکز بوده‌اند. منافلویان و همکاران در پژوهشی با تأکید بر چالش‌های تغییرات اقلیمی، مهم‌ترین چالش را تشدید وقوع سیل معرفی کرده و نشان دادند که بعد محیطی (فضاهای سبز و باز و حفاظت از رودخانه‌ها) بیش از سایر ابعاد در دستیابی به تاب‌آوری اقلیمی اهمیت دارد (منافلویان و همکاران، ۱۳۹۹، ص. 252). شیرگیر و همکاران با تمرکز بر تأثیر زیرساخت‌های سبز بر تاب‌آوری اقلیمی در مقیاس محله شهری (مطالعه موردی: یوسف‌آباد تهران) به این نتیجه رسیدند که اگرچه استفاده از زیرساخت‌های سبز یکی از استراتژی‌های مهم سازگاری با اقلیم در مناطق گرم و خشک است، تاکنون چارچوب دقیقی برای مستندسازی و سنجش کیفی این زیرساخت‌ها تدوین نشده بود. آنان با انجام تحقیق خود، چنین چارچوبی را ارائه کردند (شیرگیر و همکاران، ۱۳۹۹، ص. 72).

ساکت حسنلویی و همکاران در مطالعه‌ای تطبیقی بر روی شهرهای نقده و قروه نشان دادند که بین بهبود سطح تاب‌آوری شهری و کاهش مخاطرات طبیعی همبستگی قوی و معناداری وجود دارد. به‌ویژه، بعد ساختاری - کالبدی (برخوردار از بافت شهری مطلوب) بیشترین و بعد اجتماعی - فرهنگی (پویایی و تنوع اقتصادی) کمترین اهمیت را داشتند. همچنین شهر نقده از وضعیت تاب‌آوری مطلوب‌تری نسبت به قروه برخوردار بود (ساکت حسنلویی و همکاران، ۱۴۰۲، ص. 85). طاهری و همکاران با تحلیل حرارتی ساختمان‌های ساحلی شهر نور، تاب‌آوری اقلیمی از نوع سازگاری (با ضریب ۰.۹۴) را شناسایی کردند و ضریب تهویه را ۲.۲۴ وات بر مترمربع در ساعت گزارش نمودند. (طاهری و همکاران، 1399، ص. 82)

آزمون و محمدنژاد در پژوهشی بر روی شهر تبریز و با استفاده از روش تأثیر خنک‌کنندگی پارک (Park Cooling Effects) روی باغ فجر نشان دادند که وجود فضای سبز و زیرساخت‌های سبز شهری نقش بسزایی در تاب‌آوری اقلیمی و کاهش دمای سطح زمین دارد (آزمون و محمدنژاد، ۱۴۰۳، ص. 72).

در سطح کلان‌شهر اصفهان، قاسمی و همکاران با رویکرد نهادگرا به سنجش تاب‌آوری نواحی پانزده‌گانه پرداختند. نتایج نشان داد که مناطق ۴، ۹، ۲ و ۳ از وضعیت مطلوب، مناطق ۵ و ۶ تاب‌آوری زیاد، مناطق ۱۳، ۷ و ۱۲ تاب‌آوری متوسط، مناطق ۱۱، ۱۵ و ۱ تاب‌آوری ضعیف، و مناطق ۱۰، ۸ و ۱۴ در رتبه آخر (محروم‌ترین) از نظر شاخص‌های تاب‌آوری نهادی قرار دارند (قاسمی و همکاران، 1401، ص. 82). بارزمان و همکاران در بررسی شهر ورامین، بالاترین اولویت تاب‌آوری اقلیمی را به جمعیت ساکن در سکونتگاه‌های غیررسمی (وزن نرمال شده ۰.۲۲) و مهاجرت (۰.۲۱۳) اختصاص دادند. آنان همچنین به تهدیدهایی نظیر افت آب‌های زیرزمینی، شورشیدن منابع آب، فرونشست زمین و تغییر بیلان انرژی سطحی به دلیل رشد فیزیکی شهر اشاره کردند (بارزمان و همکاران، ۱۴۰۰، ص. 137).

زیاری و همکاران در پژوهشی بر روی شهر مشهد نشان دادند که هرچند بین مؤلفه‌های تاب‌آوری مدیریت شهری و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی همبستگی مثبت و قوی وجود دارد؛ اما مدیریت شهری مشهد تاب‌آوری لازم را ندارد و نیازمند آگاهی‌بخشی، آموزش نیروی انسانی، ارتقای کارایی اقدامات سازگاری، تعامل با مردم و نهادهای به‌روزرسانی دستورالعمل‌ها و تأمین منابع مالی و اطلاعاتی است (زیاری و همکاران، 1404، ص. 15).

فرجی و همکاران از دیدگاه شهروندان ورامین، میزان تاب‌آوری را ۲.۱۵ (پایین‌تر از متوسط مطلوب) ارزیابی کردند و نشان دادند که مؤلفه‌های اقتصادی - اجتماعی و زیربنایی بالاترین و مؤلفه‌های محیطی و نهادی پایین‌ترین میزان تاب‌آوری را دارند. آنان بر همکاری دولت، نهادهای محلی و سازمان‌های آموزشی برای افزایش مشارکت شهروندی تأکید کردند (فرجی و همکاران، 1399، ص. 609). در نهایت، مختاری و همکاران در مطالعه‌ای بر روی روستاهای گردشگری شهرستان سامان، نوسانات شدید در تاب‌آوری معیشتی را گزارش کردند. براساس یافته‌های آنان، شاخص «ظرفیت تحمل» به طور معناداری بالاتر از «خودساختگی»، «ظرفیت یادگیری» و «تنوع» بود؛ اما مهم‌ترین مؤثر در تاب‌آوری معیشتی در این منطقه، سرمایه اجتماعی بود. با وجود سرمایه‌های اجتماعی، انسانی و محیطی نسبتاً قابل توجه، دیگر شاخص‌های تاب‌آوری معیشتی در وضعیت مطلوبی قرار نداشتند (مختاری و همکاران، 1402، ص. 14).

بررسی پژوهش‌های داخلی نشان می‌دهد که تاکنون مطالعات ارزشمندی در زمینه تاب‌آوری اقلیمی شهری در ایران انجام شده است. مهم‌ترین یافته‌های آن‌ها عبارتند از: (۱) تأکید بر نقش کلیدی زیرساخت‌های سبز و فضاهای باز در کاهش دمای سطح زمین و تعدیل جزیره حرارتی (آزمون و محمدنژاد، ۱۴۰۳، ص. 72؛ شیرگیر و همکاران، ۱۳۹۹، ص. 72)؛ (۲) اهمیت بعد کالبدی - ساختاری در ارتقای تاب‌آوری (ساکت حسنلویی و همکاران، ۱۴۰۲، ص. 85)؛ (۳) شناسایی چالش‌هایی مانند سیل، خشکسالی و فرونشست زمین به عنوان تهدیدهای اصلی (منافلوپان و همکاران، ۱۳۹۹، ص. 252؛ بارزمان و همکاران، ۱۴۰۰، ص. 137)؛ (۴) نابرابری مناطق شهری در برخورداری از ظرفیت‌های تاب‌آوری (قاسمی و همکاران، ۱۴۰۱، ص. 85؛ زیاری و همکاران، ۱۴۰۴، ص. 15). با وجود این، شکاف پژوهشی عمده در مطالعات داخلی، فقدان یک تحلیل تطبیقی کمی و همزمان بین الگوی میدان سستی (با طراحی انسان‌محور و همساز با اقلیم) و الگوی فلکه مدرن (با طراحی ترافیک‌محور) با استفاده از شاخص‌های عینی سنجش از دور (NDBI، NDVI، LST) در یک دوره زمانی بلندمدت است. پژوهش حاضر دقیقاً با هدف پرکردن این خلأ طراحی شده و با مطالعه دو نمونه شاخص (میدان نقش جهان اصفهان و میدان آذربایجان تبریز) به مقایسه مستقیم عملکرد اقلیمی آنها پرداخته است.

پیشینه پژوهش خارجی

در سطح بین‌المللی، ادبیات گسترده‌ای درباره تاب‌آوری اقلیمی شهری، اثر جزیره حرارتی و نقش طراحی فضاهای باز عمومی شکل گرفته است. محققان در کشورهای مختلف با بهره‌گیری از فناوری‌های سنجش از دور، مدل‌سازی اقلیمی و مطالعات میدانی، به بررسی عوامل مؤثر بر تاب‌آوری و ارائه راهکارهای عملی پرداخته‌اند. رویکردهای مبتنی بر طبیعت (Nature-based Solutions)، برنامه‌ریزی مشارکتی چندمقیاسی، سیاست‌های آزمایشی شهرهای تاب‌آور و بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی شهری از جمله محورهای اصلی این پژوهش‌ها هستند. در ادامه، مهم‌ترین مطالعات خارجی مرتبط با موضوع مرور می‌شوند.

در سطح بین‌المللی، مطالعات گسترده‌ای درباره تاب‌آوری اقلیمی شهری، نقش زیرساخت‌های سبز و آبی و برنامه‌ریزی یکپارچه شهری انجام شده است. یلماز نشان داد که برنامه‌ریزی یکپارچه و سیاست‌های تطبیقی، کلید ایجاد شهرهای تاب‌آور اقلیمی هستند (Yilmaz, 2021, p. 145). در همین راستا، شو و همکاران با بررسی تجربیات

کپنهاگ به این نتیجه رسیدند که همکاری بین سطوح مختلف حکمرانی (از محلی تا ملی) برای دستیابی به تاب‌آوری اقلیمی ضروری است (Xu et al., 2021, p. 35). شیائو و همکاران بر نقش راهکارهای مبتنی بر طبیعت تأکید کردند و نشان دادند این راهکارها همزمان تاب‌آوری اقلیمی را افزایش داده و انتشار کربن را کاهش می‌دهند (Xiao et al., 2023, p. 1389). وانگ و چن با بررسی سیاست‌های آزمایشی شهرهای تاب‌آور اقلیمی در چین دریافتند که این سیاست‌ها به طور معناداری تاب‌آوری شهری را بهبود بخشیده‌اند (Wang & Chen, 2024, p. 105). سیمپسون و همکاران در مطالعه کیپ‌تاون نشان دادند که یکپارچه‌سازی علوم اقلیمی در برنامه‌ریزی شهری موفقیت‌آمیز بوده است (Simpson et al., 2023, p. 10).

شی و فان بر سازوکارهای تنظیم‌گری برای سیستم‌های انرژی شهری تاب‌آور تأکید کردند و نشان دادند که انعطاف‌پذیری سیستم‌های انرژی نیازمند چارچوب‌های سیاستی نوین است (Shi & Fan, 2024, p. 105). رایان و همکاران در پاکستان به بررسی چارچوب شاخص‌های زیرساخت سبز شهری پرداختند و دریافتند مشارکت جامعه و کارشناسان، طراحی شاخص‌ها را اثربخش‌تر می‌کند (Rayan et al., 2022, p. 7966). پرا و همکاران نشان دادند که طراحی یکپارچه زیرساخت‌ها (بهینه‌سازی همزمان سیستم‌های انرژی و مورفولوژی شهری) تاب‌آوری را افزایش می‌دهد (Perera et al., 2021, p. 116). نیک و همکاران در یک مطالعه مروری بر سیستم‌های انرژی شهری تاب‌آور، گذار به سیستم‌های انرژی انعطاف‌پذیر را نیازمند نوآوری فنی-سیاستی دانستند (Nik et al., 2021, p. 134). مک‌ایووی و همکاران بر ادغام آموزش و یادگیری با پژوهش عملی بین‌رشته‌ای تأکید کرده و نشان دادند که رویکردهای مشارکتی، یادگیری و اجرا را بهبود می‌بخشند (McEvoy et al., 2019, p. 6701). لومبا و همکاران با ارائه راهنمای شهرهای تاب‌آور اقلیمی با تمرکز بر زیرساخت‌های حیاتی، نشان دادند که رویکرد پیش‌گیرانه، ریسک‌پذیری شهرها را کاهش می‌دهد (LombaFernández et al., 2019, p. 4727). جوانرودی و همکاران در یک مرور فنی بر طراحی سیستم‌های انرژی تاب‌آور با توجه به مورفولوژی شهری، تأکید کردند که فرم شهری تأثیر مستقیمی بر عملکرد انرژی و تاب‌آوری دارد (Javanroodi et al., 2023, p. 155). این گروه پژوهشی در مطالعه دیگری با ارائه چارچوب بهینه‌سازی چندهدفه برای طراحی فرم‌های ساختمانی تاب‌آور، نشان دادند که طراحی ساختمان‌ها باید همزمان به اهداف انرژی و اقلیمی پاسخ دهد (Javanroodi et al., 2020, p. 34). هاردوی و همکاران با بررسی برنامه‌ریزی مشارکتی برای توسعه شهری فراگیر و تاب‌آور در سه شهر آمریکای لاتین، نتیجه گرفتند که مشارکت جامعه، اثربخشی سیاست‌های اقلیمی را افزایش می‌دهد (Hardoy et al., 2019, p. 35). لین و همکاران در ارزیابی پروژه‌های پایلوت شهرهای تاب‌آور در چین نشان دادند که سیاست‌های ملی محرک مهمی برای اقدامات محلی هستند (Lin et al., 2021, p. 1760). کوکو و همکاران با بررسی زیرساخت سبز برای کاهش جزایر گرمایی شهری، راهکارهای مبتنی بر طبیعت را کلید شهرهای پایدار و تاب‌آور معرفی کردند (Cuce et al., 2025, p. 1303). کروچه و وتوراتو با ارائه کاتالوگی از راهکارهای سطح شهری برای تاب‌آوری، نشان دادند که استفاده هوشمند از سطوح شهری می‌تواند تاب‌آوری را با هزینه کمتری محقق کند (Croce & Vettorato, 2021, p. 103313). در نهایت، کوبینا با تمرکز بر نقاط بحرانی تغییرات اقلیمی، بر نقش محوری برنامه‌ریزی زمین در کاهش آسیب‌پذیری شهری تأکید کرد (Cobbinah, 2021, p. 104948).

مرور پژوهش‌های خارجی نشان می‌دهد که دانش جهانی در زمینه تاب‌آوری اقلیمی شهری به بلوغ نسبی رسیده است. یافته‌های کلیدی عبارتند از: (۱) اثبات نقش مؤثر زیرساخت‌های سبز و آبی در کاهش جزیره حرارتی و افزایش تاب‌آوری (Cuce et al., 2025, p. 1303)؛ (۲) ضرورت برنامه‌ریزی یکپارچه و مشارکتی در مقیاس‌های مختلف (Xu et al., 2021, p. 35; Hardoy et al., 2019, p. 35)؛ (۳) تأثیر مثبت سیاست‌های آزمایشی و چارچوب‌های ارزیابی ریسک (Wang & Chen, 2024, p. 105; Cardoso et al., 2020, p. 242)؛ (۴) توجه به مورفولوژی شهری و فرم ساختمان‌ها در طراحی تاب‌آور (Javanroodi et al., 2023)؛ با این حال، بیشتر این مطالعات در بافت شهرهای غربی یا شرق آسیا انجام شده و کمتر به مقایسه تطبیقی گونه‌های تاریخی و مدرن فضاها شهری در کشورهایی با اقلیم نیمه‌خشک و میراث غنی طراحی سنتی (مانند ایران) پرداخته‌اند. همچنین، تعداد معدودی از پژوهش‌های خارجی به تحلیل سری زمانی ده‌ساله رفتار حرارتی یک فلکه مدرن در مقابل یک میدان سنتی با استفاده همزمان از سه شاخص LST، NDVI و NDBI پرداخته‌اند. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از این دانش جهانی و بومی‌سازی آن در دو نمونه شاخص ایرانی، تلاش می‌کند تا این خلأ را پر کرده و درس‌هایی برای طراحی شهری معاصر در سطح بین‌المللی ارائه دهد.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نوع توصیفی تحلیلی و تطبیقی است و برای پردازش داده‌های ماهواره‌ای از سامانه ابری Google Earth Engine (GEE) استفاده شده است. تمام مراحل پیش‌پردازش، محاسبه شاخص‌ها و خروجی اولیه در GEE انجام شده و سپس نقشه‌های نهایی و تحلیل‌های آماری در نرم‌افزارهای QGIS و Envi تکمیل شده است. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده از مجموعه Landsat 8 Collection 2 Level 2 برای تمام سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ دریافت شده‌اند. این مجموعه شامل باندهای بازتابی تصحیح‌شده (Surface Reflectance) و باند حرارتی دمای سطح (Surface Temperature) است که نیاز به تصحیح اتمسفری جداگانه را کاهش می‌دهد. محدوده مکانی دو شهر به صورت چندضلعی‌های دقیق یا بافرهایی بر اساس مرکز جغرافیایی تعریف شد: برای تبریز، نقطه مرکزی میدان آذربایجان به مختصات [46.2919, 38.0962] انتخاب و بافری به شعاع ۲۰ کیلومتر اطراف آن ایجاد شد. برای اصفهان نیز همین رویه با مختصات میدان نقش جهان [51.6761, 32.6556] و بافر ۱۵ کیلومتر تکرار شد. بازه زمانی اصلی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ است، اما برای حذف اثر تغییرات فصلی و اطمینان از همسانی شرایط، تصاویر صرفاً برای دوره ۱۰ تیر تا ۱۰ مرداد (۱ ژوئیه تا ۱ اوت) هر سال فراخوانی شدند. برای هر سال، مجموعه تصاویر موجود در بازه زمانی مشخص شده (۱ ژوئیه تا ۱ اوت) با فیلتر ابری کمتر از ۳۰ درصد انتخاب شدند. سپس میانگین تمام تصاویر آن بازه محاسبه شد تا یک تصویر ترکیبی میانگین برای آن سال به دست آید. این کار اثر ابرهای باقیمانده و نویزهای روزانه را کاهش می‌دهد و یک نمای پایدار از شرایط تابستان هر سال ارائه می‌کند.

محاسبه دمای سطح زمین (LST)

دمای سطح زمین مستقیماً از باند حرارتی ST_B10 محصول Level 2 استخراج شد. این باند قبلاً توسط USGS الگوریتم Split-Window و تصحیحات اتمسفری پردازش شده است. مراحل محاسبه در کد GEE به شرح زیر است:

1. تبدیل مقدار خام باند حرارتی به دمای سلسیوس با استفاده از رابطه خطی ارائه شده در مستندات:

$$LST (^{\circ}C) = ST_B10 \times 0.00341802 + 149.0 - 273.15$$
2. برای هر سال، ابتدا مجموعه تصاویر موجود در بازه ۱ ژوئیه تا ۱ اوت فیلتر می‌شوند، سپس میانگین همه تصاویر آن سال محاسبه می‌شود. خروجی یک لایه دمای سطح با تفکیک مکانی ۳۰ متر (پس از بازسامانه‌دهی) است.

محاسبه شاخص NDVI

شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) از باندهای بازتابی تصحیح‌شده با مقیاس خطی محاسبه می‌شود. رابطه کلی:

$$NDVI = (SR_B5 - SR_B4) / (SR_B5 + SR_B4)$$

که در آن:

- SR_B5: باند فروسرخ نزدیک (NIR) با طول موج ۰.۸۵-۰.۸۸ میکرومتر
- SR_B4: باند قرمز (Red) با طول موج ۰.۶۴-۰.۶۷ میکرومتر

برای هر سال، NDVI روی تمام تصاویر موجود در بازه ۱ ژوئیه تا ۱ اوت محاسبه شده و سپس میانگین زمانی آنها در نظر گرفته شده است.

محاسبه شاخص NDBI

شاخص تفاضل نرمال‌شده سطوح ساخته‌شده (NDBI) نیز بر اساس باندهای فروسرخ نزدیک و فروسرخ کوتاه‌موج محاسبه می‌شود:

$$NDBI = (SR_B6 - SR_B5) / (SR_B6 + SR_B5)$$

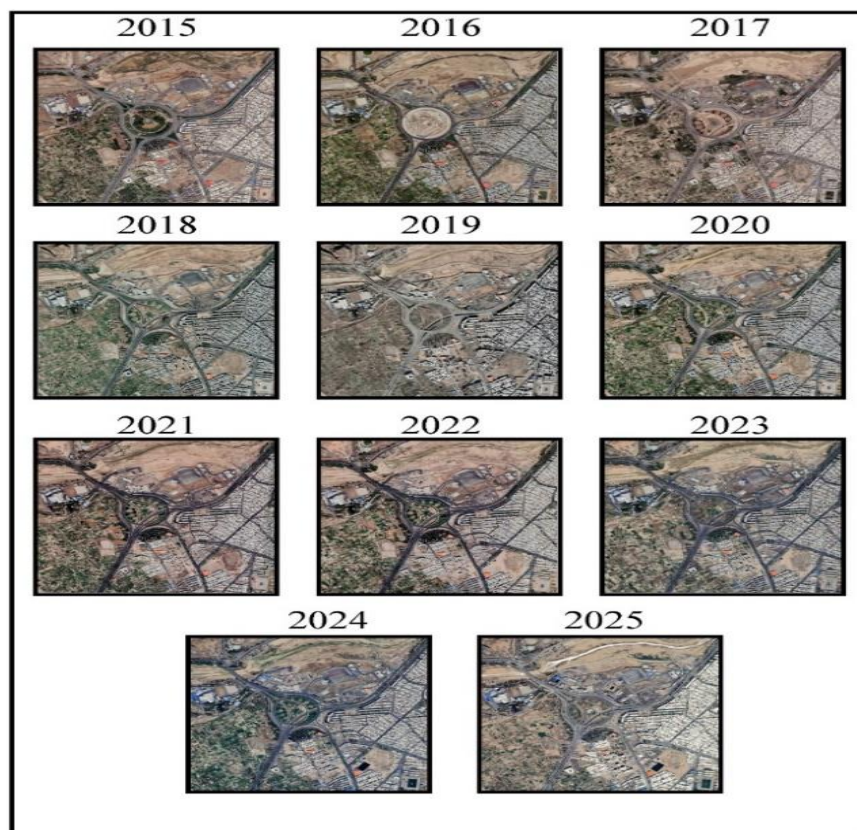
که در آن:

- SR_B6: باند فروسرخ کوتاه‌موج (SWIR) با طول موج ۱.۵۷-۱.۶۵ میکرومتر
- SR_B5: باند NIR

مقادیر مثبت NDBI نشان‌دهنده غلبه سطوح مصنوعی (آسفالت، بتن، ساختمان) و مقادیر منفی نشان‌دهنده غلبه سطوح طبیعی (پوشش گیاهی، خاک، آب) است. مانند NDVI، میانگین زمانی تصاویر موجود در بازه تابستان هر سال به‌عنوان NDBI گزارش می‌شود.

با توجه به اینکه عرض میدان نقش جهان حدود ۱۶۰ متر است و باند حرارتی اصلی لندست تفکیک ۱۰۰ متر دارد، مقادیر LST برای محدوده هر میدان به صورت میانگین ناحیه‌ای همراه با انحراف معیار محاسبه شد. همچنین برای کاهش خطای ناشی از همسایگی، از روش تفکیک زیرپیکسل حرارتی (Thermal Sharpening) مبتنی بر NDVI با الگوریتم DisTrad استفاده شد. داده‌های LST ماهواره‌ای با دمای هوای ثبت‌شده در ایستگاه‌های سینوپتیک اصفهان (کد ۴۰۸۰۰) و تبریز (کد ۴۰۷۰۶) در روزهای اخذ تصاویر اصلی مقایسه شد. به دلیل عدم دسترسی به دمای سطح زمین در ایستگاه‌ها، ضریب همبستگی پیرسون (R) بین دمای هوا و LST ماهواره‌ای محاسبه. نتایج برای اصفهان $R = 0.87$ و برای تبریز $R = 0.83$ به دست آمد. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به ترتیب ۲.۹ و ۳.۲ درجه سلسیوس بود که در محدوده قابل قبول برای مطالعات سنجش از دور شهری قرار دارد.

یافته‌ها



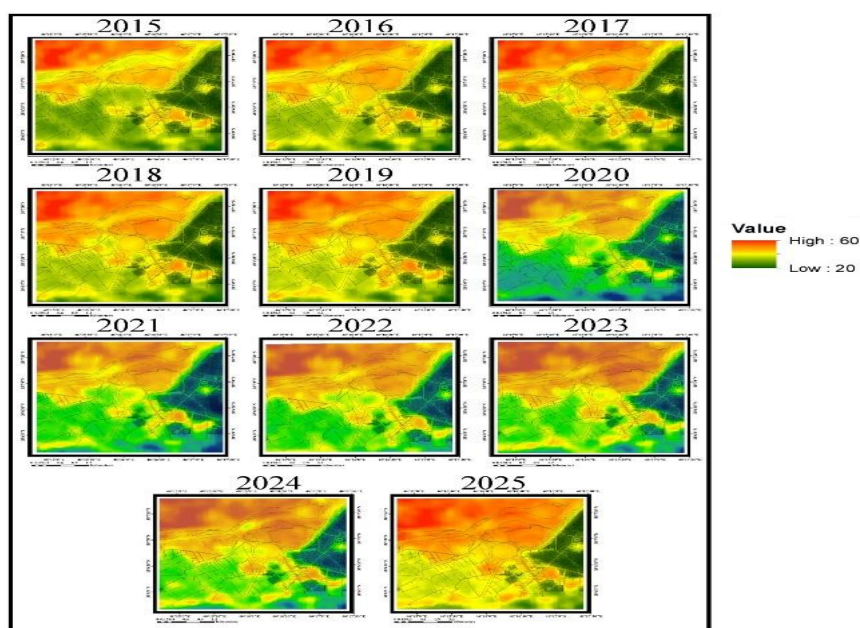
شکل 1. تغییرات کالبدی میدان آذربایجان از سال 2015 تا 2025 برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث (مأخذ: نگارندگان، 1404)

Figure 1. Morphological changes in Azerbaijan Square from 2015 to 2025, taken from Google Earth satellite images (Source: Authors, 1404)

تحلیل سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه در بازه زمانی 2015 تا 2025 (شکل 1) نشان‌دهنده دگرگونی تدریجی اما عمیق در ساختار کالبدی - فضایی و الگوی کاربری زمین این گره شهری است. در سال‌های ابتدایی، محدوده دارای ماهیتی نیمه‌باز با غلبه اراضی بایر و کشاورزی و میدان مرکزی با ساختاری ساده و حداقل مداخلات زیرساختی بوده است. با گذشت زمان، به‌ویژه از سال 2018 به بعد، توسعه شبکه معابر، افزایش ظرفیت ترافیکی و احداث تقاطع‌های غیرهمسطح موجب گسترش سطوح نفوذناپذیر و کاهش پیوستگی پوشش سبز پیرامونی شده است. این روند تا سال‌های پایانی دوره مطالعه به تثبیت یک گره پیچیده حمل‌ونقلی انجامیده که در آن فرم میدان، بیش از آنکه واجد کیفیت فضایی باشد، تابع منطق عملکردی و مهندسی ترافیک است. به‌طور هم‌زمان، افزایش تراکم ساخت‌وساز و اتصال کامل محدوده به بافت شهری اطراف، نقش این فضا را از یک عرصه گذار حاشیه‌ای به یک هسته فعال شهری ارتقا داده است.

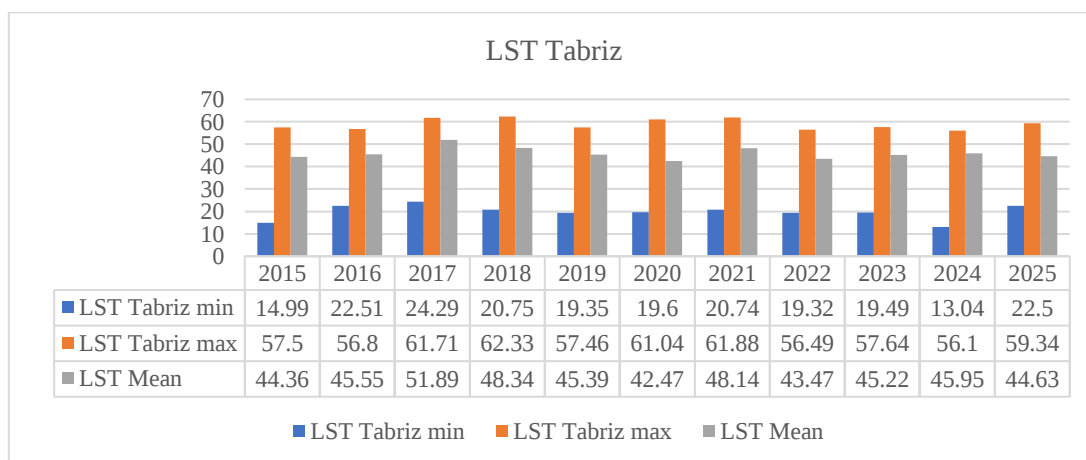
از منظر اقلیمی و آسایش حرارتی، این تحولات کالبدی پیامدهای درخور توجهی در مقیاس خرداقلیم شهری به همراه داشته‌اند. (شکل 2) افزایش چشمگیر سطوح سخت با آلودگی پایین، کاهش اراضی طبیعی و محدود شدن فضای

سبز به عناصر جزیره‌ای درون میدان، موجب تشدید جذب و ذخیره حرارت و کاهش فرایندهای تبخیر-تعرق شده است. در نتیجه، دمای سطح زمین و دمای تشعشعی متوسط افزایش یافته و شرایط نامطلوب‌تری برای شاخص‌های متداول آسایش حرارتی نظیر PET و UTCI فراهم آمده است. براساس چارچوب مناطق اقلیمی محلی (LCZ)، محدوده مورد مطالعه طی این دوره از طبقات مرتبط با اراضی باز و کم‌تراکم به سمت نواحی غالباً نفوذناپذیر و زیرساخت‌محور تغییر یافته که این امر بیانگر افزایش پتانسیل شکل‌گیری جزایر حرارتی موضعی است. چنین روندی ضرورت بازاندیشی در مداخلات طراحی شهری با رویکرد اقلیم‌محور و تقویت ساختارهای سبز-آبی را برای ارتقای آسایش حرارتی در این گره شهری برجسته می‌سازد.



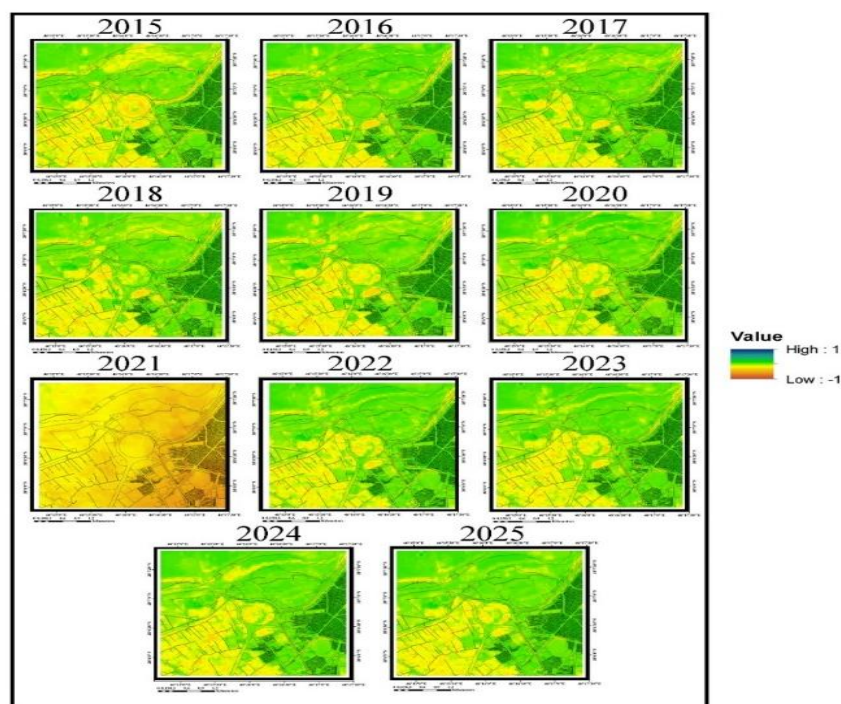
شکل 2. تصاویر ماهواره LST میدان آذربایجان شهر تبریز (مأخذ: نگارندگان، 1404)

Figure 2. LST satellite images of Azarbaijan Square in Tabriz (Source: Authors, 1404)



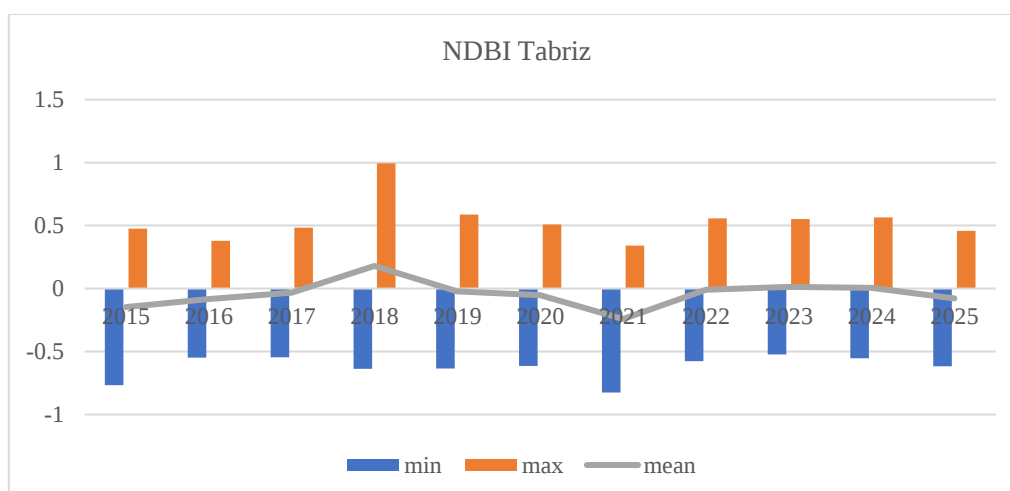
نمودار 1. نمودار مقایسه‌ای کمترین، بیشترین و میانگین مقدار LST در میدان آذربایجان شهر تبریز (مأخذ: نگارندگان، 1404)

Table1. Comparative chart of the lowest, highest and average LST values in Azarbaijan Square, Tabriz (Source: Authors, 1404)



شکل 3. تصاویر ماهواره NDBI میدان آذربایجان شهر تبریز (مأخذ: نگارندگان، 1404)

Figure3. NDBI satellite images of Azerbaijan Square, Tabriz (Source: Authors, 1404)

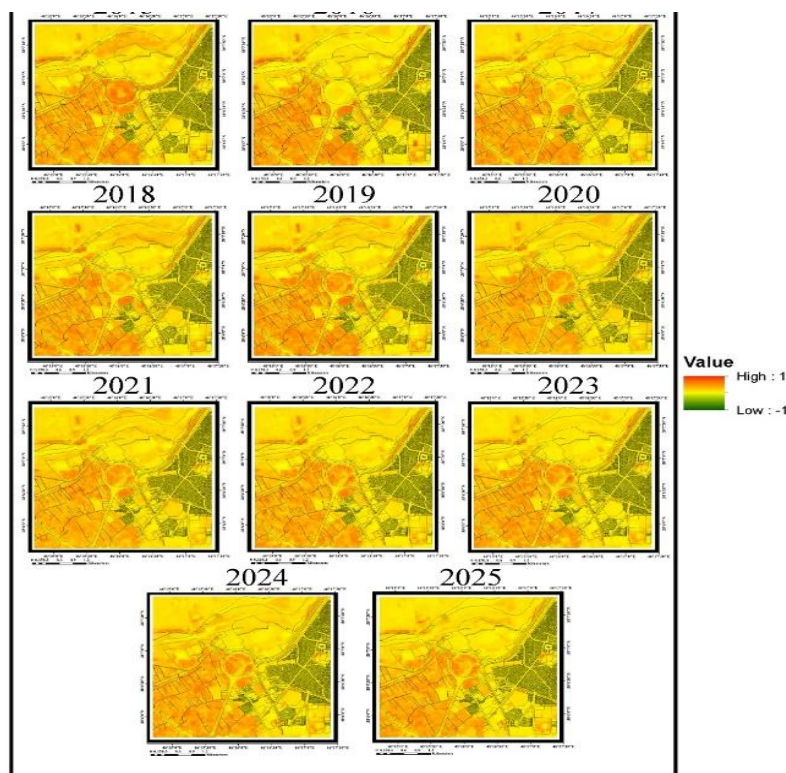


نمودار 2. نمودار مقایسه‌ای کمترین، بیستین و میانگین مقدار NDBI در میدان آذربایجان شهر تبریز (مأخذ: نگارندگان، 1404)

Table 2. Comparative chart of the lowest, highest and average NDBI values in Azarbaijan Square, Tabriz (Source: Authors, 1404)

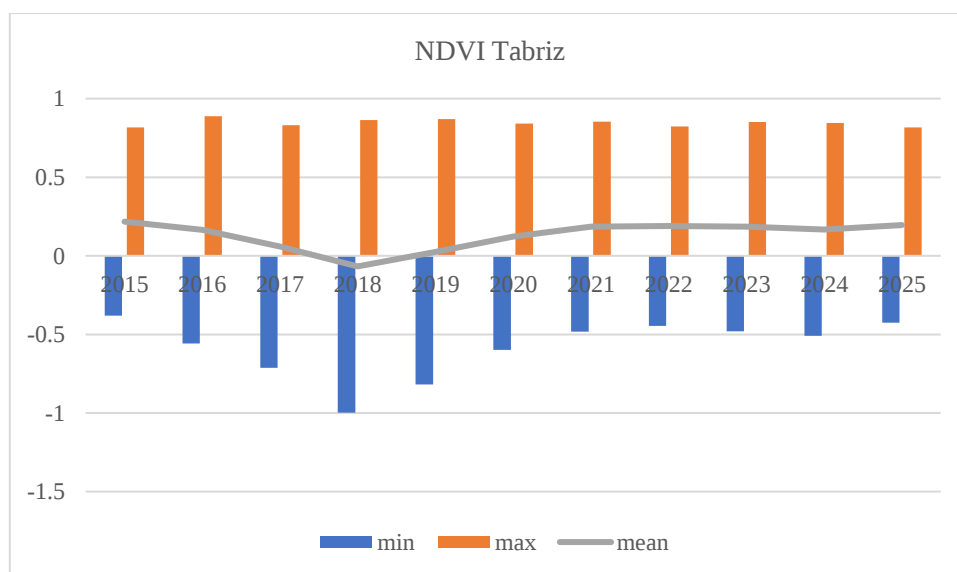
نمودار 2، نمودار NDBI (شاخص تفاضلی نرمال شده ساخت و ساز) شهر تبریز در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ روند تغییرات سطوح ساخته شده و ناحیه غیر گیاهی را نشان می دهد. مقادیر مثبت NDBI (نزدیک به ۱) بیانگر گسترش سطوح مصنوعی مانند ساختمان ها و جاده ها است؛ در حالی که مقادیر منفی نشان دهنده پوشش گیاهی یا زمین های بایر است. با توجه به داده های ارائه شده (شکل 3)، میانگین NDBI در این دوره احتمالاً روندی افزایشی داشته که حاکی از توسعه کالبدی و افزایش تراکم ساخت و ساز در منطقه تبریز است. نوسانات مقادیر حداقل و حداکثر نیز می تواند

نشان‌دهنده تأثیر سیاست‌های شهری، تغییرات کاربری اراضی یا عوامل اقلیمی در سال‌های مختلف باشد. این روند نیاز به مدیریت آگاهانه توسعه شهری را برای جلوگیری از کاهش پوشش گیاهی و تشدید اثرات جزیره گرمایی شهری برجسته می‌سازد.



شکل 4. تصاویر ماهواره NDVI میدان آذربایجان شهر تبریز (مأخذ: نگارندگان، 1404)

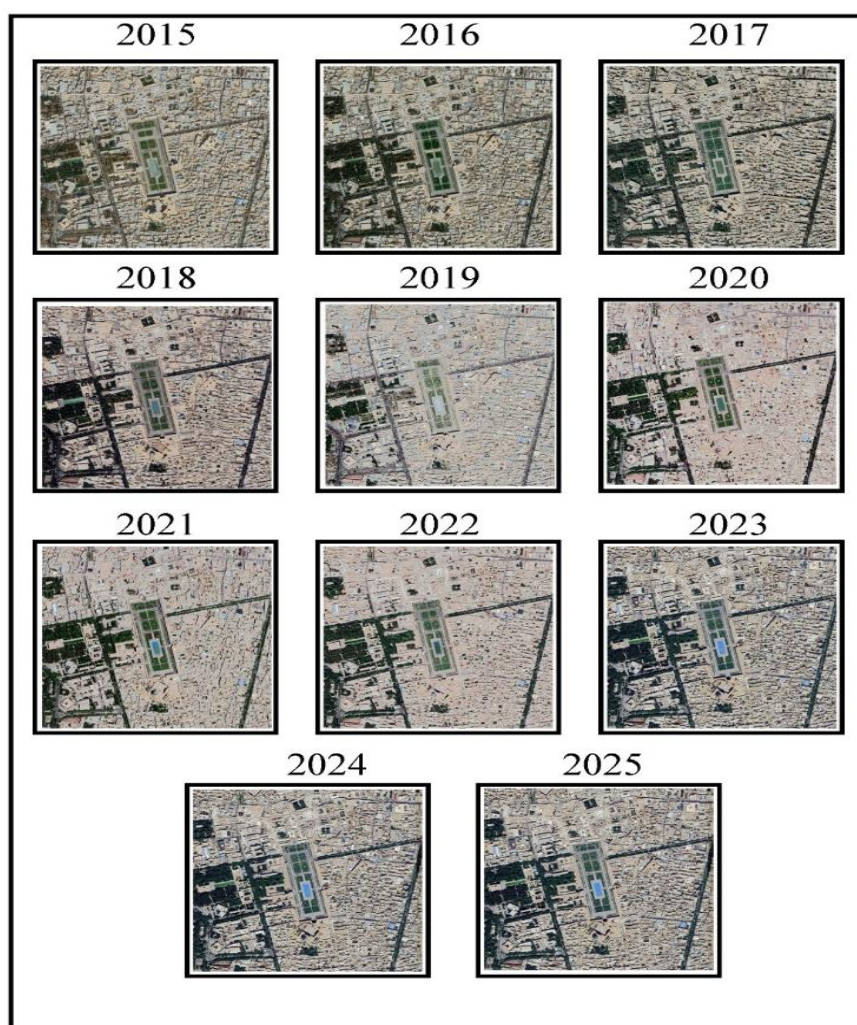
Figure 4. NDVI satellite images of Azerbaijan Square, Tabriz city (Source: Authors, 1404)



نمودار 3. نمودار مقایسه‌ای کمترین، بیشترین و میانگین مقدار NDVI در میدان آذربایجان شهر تبریز (مأخذ: نگارندگان، 1404)

Table 3. Comparative chart of the lowest, highest and average NDVI values in Azarbaijan Square, Tabriz (Source: Authors, 1404)

نمودار 3، تحلیل داده‌های NDVI (شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی) تبریز در بازه ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ نشان‌دهنده نوسانات قابل توجه در وضعیت پوشش گیاهی منطقه است. میانگین NDVI از ۰.۲۱۷۵ در سال ۲۰۱۵ به ۰.۱۹۶ در سال ۲۰۲۵ کاهش یافته که حاکی از روند کلی کاهش تراکم و سلامت پوشش گیاهی در این دهه است. (شکل 4) کاهش چشمگیر میانگین NDVI در سال ۲۰۱۸ (-0.06) و مقادیر حداقل منفی پایین در این سال، احتمالاً تحت تأثیر شرایط خشکسالی، کاهش بارش یا تغییرات کاربری اراضی رخ داده است. بهبود نسبی میانگین NDVI از سال ۲۰۲۰ به بعد می‌تواند نشان‌دهنده اثرات اقدامات احیایی، تغییرات اقلیمی فصلی یا تعدیل در مدیریت زمین باشد؛ با این حال مقادیر هنوز به سطح سال‌های ابتدایی دوره بازنگشته‌اند. نوسان گستره مقادیر حداکثر (از ۰.۸۱۶ تا ۰.۸۸۷) و حداقل (از -0.38 تا -0.99) نیز بیانگر تغییرپذیری مکانی و زمانی بالای پوشش گیاهی تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی در منطقه شهری و پیرامونی تبریز است. این روند کاهشی و ناپایدار در NDVI می‌تواند پیامدهایی همچون تشدید جزیره گرمایی شهری، کاهش تنوع زیستی و افزایش آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های محلی داشته باشد.

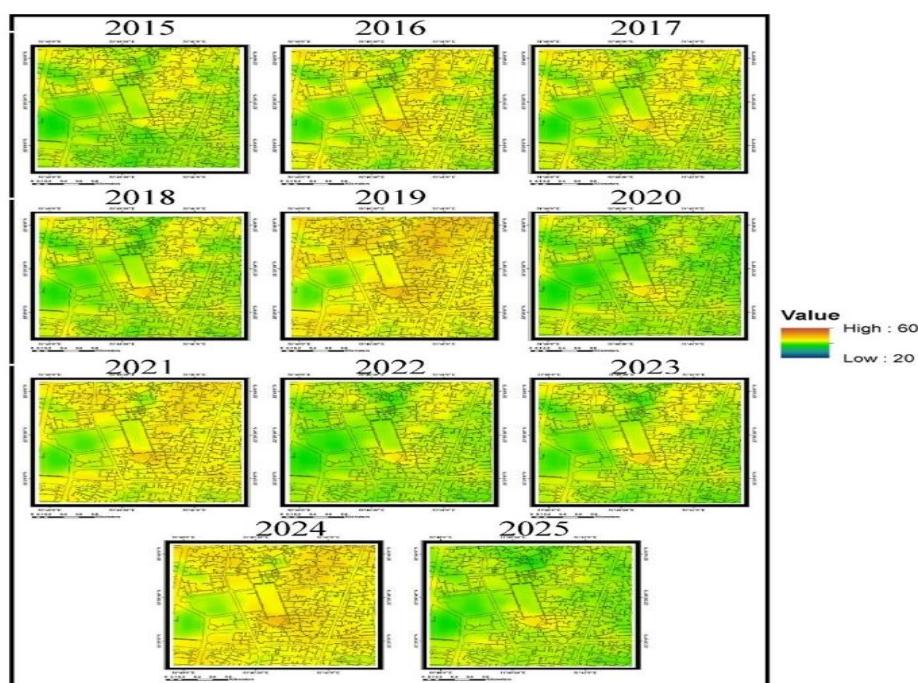


شکل 5. تغییرات کالبدی میدان نقش جهان از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۴)

Figure 2. Physical changes in Naqsh-e Jahan Square from 2015 to 2025, taken from Google Earth satellite images (Source: Authors, 1404)

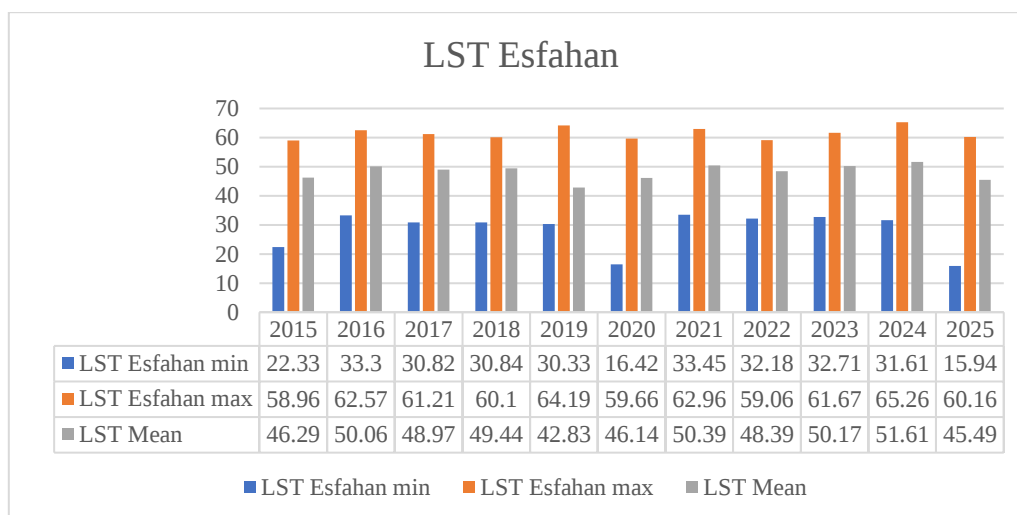
تحلیل سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه (شکل 5) در بازه زمانی 2015 تا 2025 نشان می‌دهد که ساختار کالبدی این بخش از شهر با وجود ثبات نسبی در الگوی کلی معابر، دستخوش تغییرات تدریجی اما معنادار در کیفیت پوشش زمین و سازمان فضایی شده است. در سال‌های ابتدایی دوره مطالعه، یک فضای سبز مستطیلی با سازمان‌دهی منظم و عناصر آبی مرکزی به‌عنوان هسته‌ای شاخص در میان بافتی متراکم و عمدتاً نفوذناپذیر شهری قابل مشاهده است. با گذر زمان، به‌ویژه از حدود سال 2018 به بعد، افزایش تراکم ساخت‌وساز و تکمیل تدریجی قطعات پیرامونی، منجر به کاهش اراضی باز پراکنده و تقویت پیوستگی بافت ساخته‌شده اطراف شده است. در عین حال، خود فضای سبز مرکزی از نظر ابعاد و هندسه کلی تا حد زیادی پایدار باقی مانده است؛ اما تغییرات جزئی در پوشش گیاهی، شدت سبزی‌نگی و عناصر آبی آن در تصاویر سال‌های مختلف قابل تشخیص است که بیانگر مداخلات مدیریتی و نگهداشت دوره‌ای این فضا است.

از منظر اقلیمی و آسایش حرارتی، این محدوده واجد نقشی دوگانه در ساختار خرداقلیم شهری است. فضای سبز و عنصر آبی مرکزی به‌عنوان یک لکه خنک‌کننده موضعی (Urban Cool Island) عمل کرده و از طریق افزایش تبخیر - تعرق، سایه‌اندازی و تعدیل دمای تشعشعی، شرایط مساعدتری نسبت به بافت متراکم پیرامونی فراهم می‌آورد؛ با این حال، رشد تدریجی سطوح سخت و افزایش تراکم کالبدی در پیرامون این فضای سبز، موجب تشدید ذخیره و بازگسیل حرارت در مقیاس محلی شده و اثر خنک‌کنندگی آن را به محدوده‌ای نسبتاً محدود تقلیل داده است. در چارچوب مناطق اقلیمی محلی (LCZ) این محدوده ترکیبی از یک لکه سبز سازهان‌یافته در دل یک ناحیه متراکم کم‌ارتفاع را نمایندگی می‌کند؛ وضعیتی که از یک سو ظرفیت بالقوه ارتقای آسایش حرارتی را نشان می‌دهد و از سوی دیگر بر ضرورت تقویت پیوندهای سبز، بهبود نفوذپذیری حرارتی سطوح و گسترش اثرات تعدیل‌کننده این فضای باز در بافت اطراف تأکید دارد.



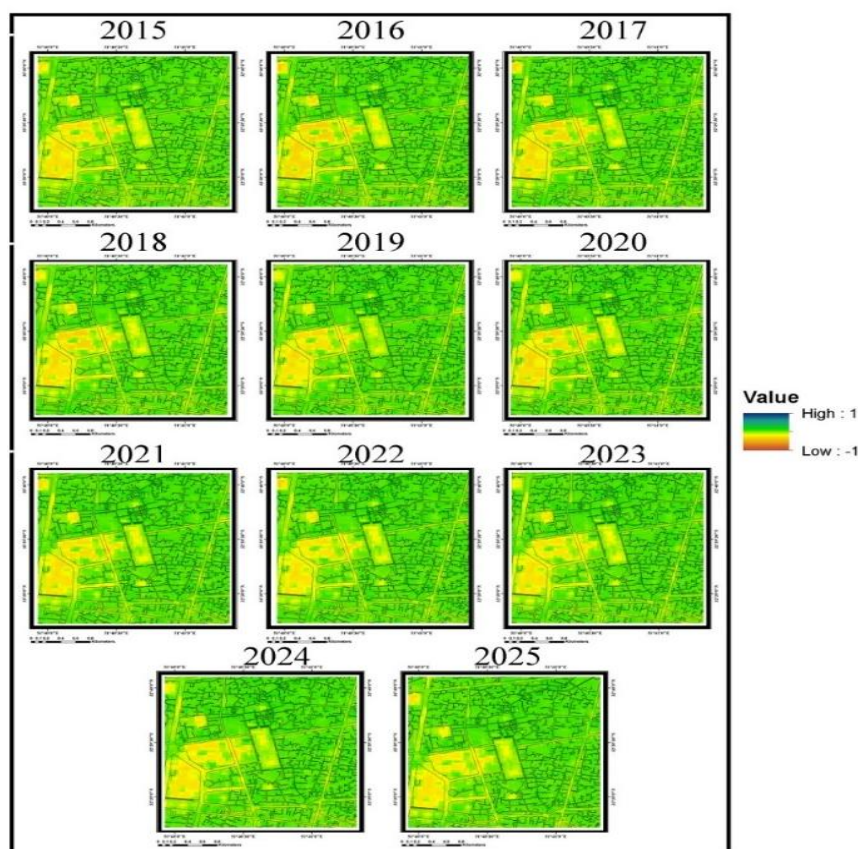
شکل 6. تصاویر ماهواره LST میدان نقش جهان شهر اصفهان (مأخذ: نگارندگان، 1404)

Figure 6. LST satellite images of Naqsh-e Jahan Square in Isfahan (Source: Authors, 1404)



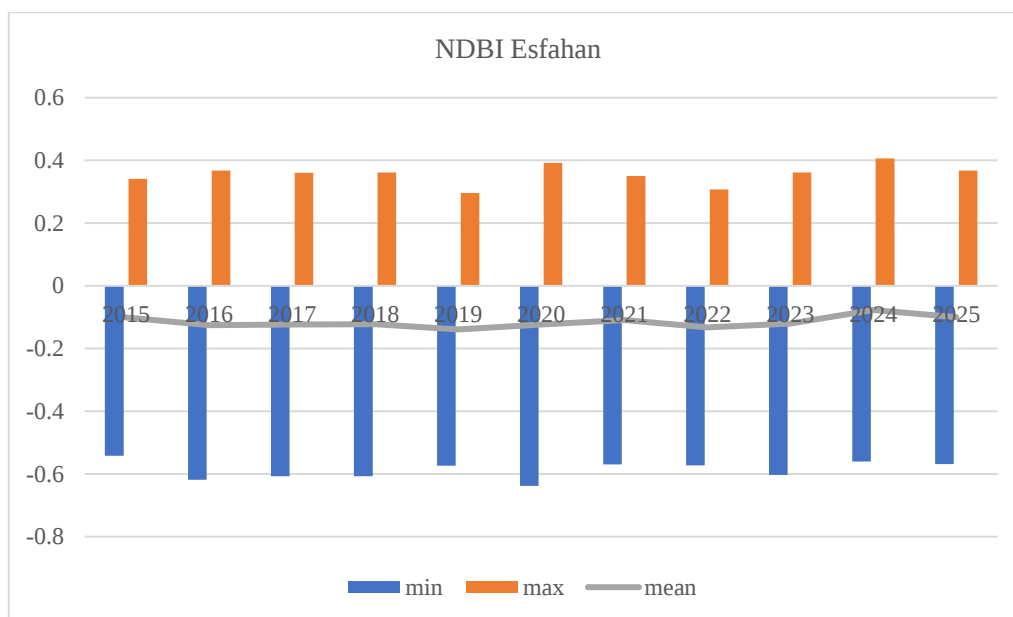
نمودار 4. نمودار مقایسه‌ای کمترین، بیشترین و میانگین مقدار LST در میدان نقش جهان شهر اصفهان (مأخذ: نگارندگان، 1404)

Table 4. Comparative chart of the minimum, maximum and average LST values in Naqsh-e Jahan Square, Isfahan (Source: Authors, 1404)



شکل 7. تصاویر ماهواره NDBI میدان نقش جهان شهر اصفهان (مأخذ: نگارندگان، 1404)

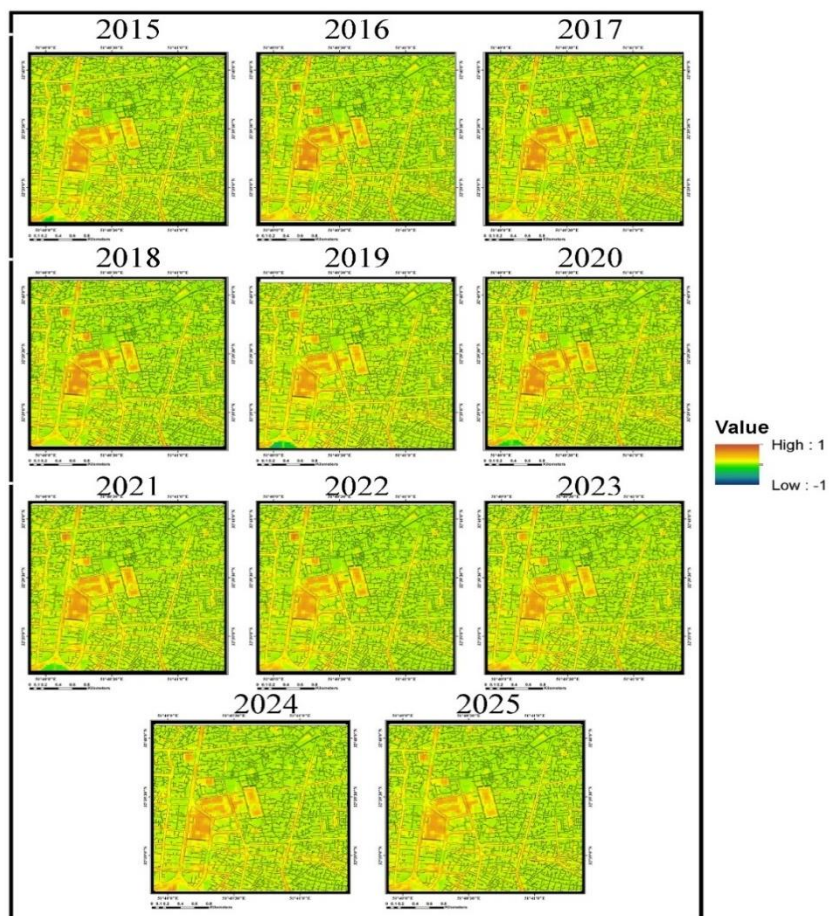
Figure 7. NDBI satellite images of Naqsh-e Jahan Square in Isfahan (Source: Authors, 1404)



نمودار 5. نمودار مقایسه‌ای کمترین، بیشترین و میانگین مقدار NDBI در میدان نقش جهان شهر اصفهان (مأخذ: نگارندگان، 1404)

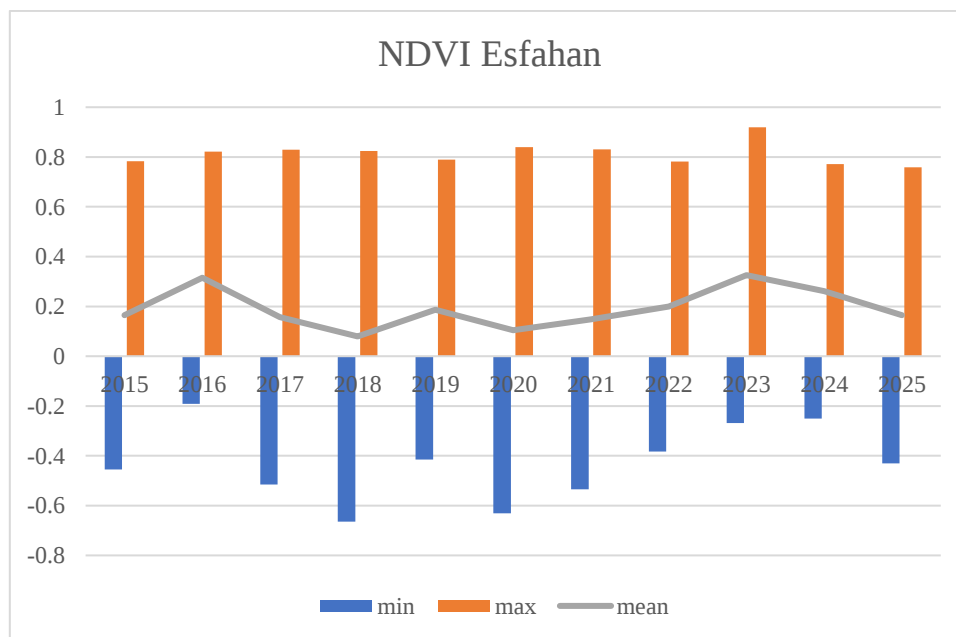
Table 5. Comparative chart of the minimum, maximum and average NDBI values in Naqsh-e Jahan Square, Isfahan (Source: Authors, 1404)

نمودار 5. تحلیل داده‌های NDBI (شاخص تفاضلی نرمال‌شده ساخت‌وساز) میدان نقش جهان شهر اصفهان طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ نشان می‌دهد که میانگین این شاخص در تمام سال‌ها مقادیر منفی را حفظ کرده‌است (بین -۰.۱۱ تا -۰.۱۳)، که بیانگر غلبه نسبی پوشش گیاهی یا سطوح غیرمصنوع بر مناطق ساخته‌شده در مقیاس کلی منطقه مورد مطالعه است. با وجود این، روند میانگین NDBI (شکل 7) نوسانی بوده و کاهش تدریجی آن تا سال ۲۰۱۹ (به -۰.۱۳۹) احتمالاً حاکی از توسعه محدود کالبدی یا افزایش تراکم پوشش گیاهی در آن سال‌ها است؛ در حالی که بهبود نسبی (کمتر منفی‌شدن) میانگین در سال‌های ۲۰۲۱ و به ویژه ۲۰۲۴ (با مقدار -۰.۰۷۷) می‌تواند نشان‌دهنده آغاز روند توسعه فیزیکی یا کاهش پوشش گیاهی در بخش‌هایی از منطقه باشد. دامنه تغییرات گسترده بین مقادیر حداقل (همواره منفی و حول -۰.۶) و حداکثر (مثبت و بین ۰.۲۹۶ تا ۰.۴۰۶) نیز گویای ناهمگنی فضایی قابل توجه در کاربری اراضی و ترکیب سطوح مصنوعی و طبیعی در محدوده شهری و پیرامون اصفهان است. این الگو می‌تواند انعکاس‌دهنده سیاست‌های مدیریت شهری، پروژه‌های عمرانی و یا تغییرات محیطی موضعی در این بازه زمانی باشد.



شکل 8. تصاویر ماهواره NDVI میدان نقش جهان شهر اصفهان (مأخذ: نگارندگان، 1404)

Figure 8. NDVI satellite images of Naqsh-e Jahan Square in Isfahan (Source: Authors, 1404)



نمودار 6. نمودار مقایسه‌ای کمترین، بیشترین و میانگین مقدار NDVI در میدان نقش جهان شهر اصفهان (مأخذ: نگارندگان، 1404)

Table 6. Comparative chart of the minimum, maximum and average NDVI values in Naqsh-e Jahan Square, Isfahan (Source: Authors, 1404)

نمودار 6، تحلیل داده‌های NDVI اصفهان در بازه ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ نشان‌دهنده نوسانات قابل توجه در پویایی پوشش گیاهی این منطقه است. میانگین NDVI از ۰.۱۶۴۷ در سال ۲۰۱۵ با یک افزایش چشمگیر در سال ۲۰۱۶ (۰.۳۱) و سپس کاهش شدید در سال ۲۰۱۸ (۰.۰۷) مواجه شده که احتمالاً بازتاب‌دهنده تأثیر تغییرات اقلیمی سالانه (مانند خشکسالی) یا فشارهای ناشی از توسعه شهری است. بهبود تدریجی میانگین در سال‌های بعد، به اوج خود در سال ۲۰۲۳ (۰.۳۲) رسیده که می‌تواند حاکی از اثرگذاری مثبت سیاست‌های احیای سبز، افزایش بارش‌ها یا تغییرات مدیریت اراضی باشد؛ هرچند این روند مثبت در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵ مجدداً رو به کاهش نشان می‌دهد. (شکل ۸) گستره وسیع مقادیر (از حداقل‌های منفی تا حداکثرهای نزدیک ۰.۹) گویای ناهمگونی شدید فضایی در تراکم پوشش گیاهی است که احتمالاً ناشی از ترکیب اراضی کشاورزی، نواحی شهری و عرصه‌های طبیعی در محدوده مطالعه است. این الگوی نوسانی بر آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های گیاهی منطقه در برابر عوامل انسانی و طبیعی تأکید می‌کند.

بحث

در این پژوهش، مقایسه تطبیقی میدان نقش جهان اصفهان به‌عنوان نماد میادین سنتی انسان‌محور و میدان آذربایجان تبریز به‌عنوان نماد فلکه‌های مدرن ترافیک‌محور، شکاف معناداری در تاب‌آوری اقلیمی و کیفیت محیطی این دو گونه فضای شهری نشان داد. یافته‌های کمی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور حاکی از آن است که میدان سنتی با میانگین دمای سطح زمین (LST) پایین‌تر، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) بالاتر و شاخص توسعه شهری (NDBI) منفی، محیطی خنک‌تر، پایدارتر و تاب‌آورتر ایجاد کرده است. در مقابل، میدان آذربایجان با روند کاهشی NDVI و افزایشی NDBI، به کانون گرمایی تبدیل می‌شود که آسیب‌پذیری شهر را در برابر امواج گرما افزایش می‌دهد.

یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین داخلی هم‌سویی درخور توجهی دارد. **آزمون و محمدنژاد (۱۴۰۳)** در بررسی زیرساخت‌های سبز شهری در تبریز نشان دادند که وجود فضای سبز (مانند باغ فجر) نقش بسزایی در کاهش دمای سطح زمین و افزایش تاب‌آوری اقلیمی دارد - یافته‌ای که با وضعیت میدان آذربایجان (کمبود فضای سبز و LST بالا) سازگار است. **شیرگیر و همکاران (۱۳۹۹)** بر ضرورت تدوین چارچوبی برای سنجش و ارتقای زیرساخت‌های سبز شهری در مواجهه با تغییرات اقلیمی تأکید کردند؛ پژوهش حاضر با استفاده از شاخص‌های NDVI و NDBI، چنین چارچوبی را در مقیاس دو میدان عملیاتی ساخته است. **ساکت حسنلوئی و همکاران (۱۴۰۲)** در مطالعه تطبیقی شهرهای نقده و قروه نشان دادند که بعد کالبدی - ساختاری مهم‌ترین عامل تاب‌آوری است - یافته‌ای که در پژوهش ما با برتری شاخص‌های کالبدی میدان نقش جهان (نفوذپذیری، پوشش سبز، نسبت H/W تأیید می‌شود. همچنین **منافلویان و همکاران (۱۳۹۹)** مهم‌ترین چالش اقلیمی را سیل و مهم‌ترین بعد را محیطی (فضاهای سبز و باز) معرفی کردند - ابعادی که در میدان مدرن به حاشیه رفته است. **قاسمی و همکاران (۱۴۰۱)** در ارزیابی تاب‌آوری نهادی اصفهان، نواحی دارای فضای سبز بیشتر را تاب‌آورتر ارزیابی کردند که با عملکرد برتر میدان نقش جهان همخوانی دارد. **بازرمان و همکاران (۱۴۰۰)** نیز بر نقش پوشش گیاهی در تعدیل جزیره حرارتی تأکید داشته‌اند. به‌طور کلی، مطالعات داخلی نقش فضای سبز و نفوذپذیری را تأیید می‌کنند؛ اما هیچ‌یک مقایسه مستقیم دو گونه میدان سنتی و مدرن را با داده‌های سری زمانی سنجش از دور انجام نداده‌اند که نوآوری پژوهش حاضر است.

در سطح وانگ و چن از طریق آزمایش‌های شبه‌طبیعی نشان دادند سیاست‌های شهر تاب‌آور اقلیمی در چین به‌طور معناداری تاب‌آوری را بهبود بخشیده است. این امر لزوم بازطراحی میادین مدرن با رویکرد اقلیمی را برجسته می‌کند (Wang & Chen, 2024). کوته و همکاران بر نقش زیرساخت سبز در کاهش جزیره حرارتی (Cuce et al., 2025) و کروس و وتوراتو بر راهکارهای سطح شهری برای تاب‌آوری تأکید کرده‌اند (Croce & Vettorato, 2021). در مطالعات مرتبط با میادین و فلکه‌ها و آحاک و بولاگوس عمدتاً بر ایمنی و کاهش سرعت تمرکز داشته‌اند و ابعاد اقلیمی را نادیده گرفته‌اند؛ شکافی که پژوهش حاضر پر می‌کند (Ahac et al., 2023; Boulagouas et al., 2024). همچنین، محمد و همکاران با استفاده از LST و NDVI به تحلیل جزیره حرارتی در احمدآباد هند پرداختند و نشان دادند که سطوح نفوذناپذیر با LST همبستگی مثبت دارند؛ نتیجه‌ای که در میدان آذربایجان نیز تأیید شد (Mohammad et al., 2022). رایان و همکاران در پاکستان، شاخص‌های زیرساخت سبز را با مشارکت جامعه تدوین کردند که رویکرد مشارکتی را برای بهبود میادین مدرن توصیه می‌دارد (Rayan et al., 2022). جوانرودی و همکاران بر نقش مورفولوژی شهری در تاب‌آوری انرژی و اقلیم تأکید دارند - نسبت H/W متعادل در میدان نقش جهان (حدود ۱ به ۴ تا ۱ به ۶) شرایط سایه و تهویه مطلوبی فراهم می‌کند؛ در حالی که میدان آذربایجان با گستردگی افقی و عدم تناسب، شرایط گرمایی نامناسبی دارد (Javanroodi et al., 2020; Javanroodi et al., 2023).

تفاوت‌های چشمگیر بین دو میدان ریشه در رویکردهای طراحی متفاوت دارد. میدان نقش جهان با بهره‌گیری از دانش بومی و اقلیمی، عناصر زیر را تلفیق کرده است: (۱) پوشش گیاهی گسترده و سایه‌انداز (کاهش دمای تابشی)، (۲) حوض مرکزی و جوی‌های آب (خنک‌سازی تبخیری)، (۳) مصالح با آلودگی بالا و نفوذپذیر (کاشی‌های روشن، آجر)، (۴) نسبت H/W مناسب (سایه یکنواخت و جریان هوا). این ویژگی‌ها در کنار یکدیگر یک سیستم اکولوژیک یکپارچه ایجاد کرده‌اند که ضمن تعدیل دما، سرزندگی اجتماعی و حضورپذیری را نیز افزایش می‌دهد. در مقابل، میدان آذربایجان - با الهام از رویکردهای مهندسی ترافیک غربی - بر حداکثرسازی ظرفیت سواره، حداقل‌سازی توقف و ساده‌سازی هندسه تمرکز کرده است. سطوح وسیع آسفالت تیره با آلودگی کم (حدود ۰.۰۵-۰.۱۰) حرارت خورشید را جذب و ذخیره می‌کنند، عدم وجود سایه و پوشش سبز منجر به افزایش دمای تشعشعی می‌شود و آلودگی حرارتی ناشی از خودروها شرایط را تشدید می‌کند. این فضا به یک کانون گرمایی شهری تبدیل می‌شود که آسایش حرارتی را به شدت کاهش می‌دهد، مصرف انرژی برای خنک‌سازی ساختمان‌های مجاور را افزایش می‌دهد و به دلیل نبود قلمرو همگانی، فاقد حیات اجتماعی و حس مکان است.

شواهد حاصل از این مطالعه تطبیقی - که با داده‌های کمی شاخص‌های LST، NDVI و NDBI و تحلیل کیفی پشتیبانی می‌شود - به وضوح نشان می‌دهد که الگوهای طراحی سنتی و انسان‌محور بر پایه دانش اقلیمی، از ظرفیت ذاتی بالاتری برای ارتقای تاب‌آوری اقلیمی و کیفیت محیطی برخوردارند. این نتیجه با یافته‌های کلیدی پژوهش‌های داخلی (آزمون و محمدنژاد، ۱۴۰۳؛ شیرگیر و همکاران، ۱۳۹۹؛ ساکت حسنلوئی و همکاران، ۱۴۰۲) و خارجی (Cuce et al., 2025; Wang & Chen, 2024) همسو است. در مقابل، رویکردهای مدرن بخش‌یافته و تک‌عملکردی که صرفاً بر کارایی ترافیکی متمرکزند، نه تنها کیفیت محیطی را تنزل می‌دهند، آسیب‌پذیری شهرها را در برابر تغییرات

اقلیمی افزایش می‌دهند؛ بنابراین، بازاندیشی در طراحی فلک‌ها و میادین معاصر با اولویت‌دادن به راهبردهای مبتنی بر طبیعت، افزایش نفوذپذیری و پوشش سبز، و تلفیق کارکردهای اجتماعی - زیست‌محیطی با مدیریت ترافیک، یک ضرورت اکولوژیک و راهبردی برای شهرهای تاب‌آور آینده است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف تحلیل تطبیقی تاب‌آوری اقلیمی و کیفیت محیطی دو گونه شاخص از فضاهای شهری ایران انجام شد: میدان نقش جهان اصفهان به‌عنوان نماد میادین سنتی انسان‌محور و میدان آذربایجان تبریز به‌عنوان نماینده فلک‌های مدرن ترافیک‌محور. داده‌های کمی حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ برای سه شاخص LST ، $NDVI$ و $NDBI$ استخراج و تحلیل شد. یافته‌های اصلی به‌طور خلاصه عبارتند از:

۱. میدان نقش جهان با میانگین شاخص پوشش گیاهی ($NDVI$) مثبت و قابل توجه (اوج ۰.۳۲ در سال ۲۰۲۳) و میانگین شاخص سطوح ساخته‌شده ($NDBI$) منفی در تمام سال‌ها (بین ۰.۱۰۰- تا ۰.۱۳۹-)، نشان‌دهنده غلبه سطوح سبز و نفوذپذیر بر سطوح مصنوع است. این وضعیت به شکل‌گیری یک لکه خنک شهری با میانگین دمای سطح زمین (LST) پایین‌تر نسبت به بافت پیرامونی انجامیده است.

۲. میدان آذربایجان در مقابل، روند معکوسی داشته است: میانگین $NDVI$ از ۰.۲۱ در سال ۲۰۱۵ به ۰.۱۹ در سال ۲۰۲۵ کاهش یافته است؛ در حالی که میانگین $NDBI$ روند افزایشی داشته است که بیانگر گسترش سطوح نفوذناپذیر (آسفالت، بتن و ساختمان) است. این تحولات، میدان را به یک کانون گرمایی با میانگین LST به مراتب بالاتر از محله‌های مسکونی اطراف تبدیل کرده است.

۳. تحلیل کیفی نشان داد که عناصر کلیدی موفقیت میدان نقش جهان عبارتند از: (الف) پوشش گیاهی گسترده و سایه‌انداز (درختان کهنسال، باغ‌های تاریخی)، (ب) عناصر آبی (حوض مرکزی، جوی‌ها) با اثر خنک‌کنندگی تبخیری، (ج) مصالح بومی با آلودگی بالا (کاشی‌های روشن، آجرهای متخلخل)، (د) نسبت متعادل ارتفاع به عرض (H/W) که سایه‌یکنواخت و جریان هوای طبیعی را ممکن می‌سازد. در مقابل، میدان آذربایجان فاقد این ویژگی‌هاست و سلطه سطوح سخت تیره، نبود پوشش سبز معنادار و گرمای ناشی از ترافیک سنگین، شرایط نامطلوبی را ایجاد کرده است.

نتایج این مطالعه به‌روشنی نشان می‌دهد که الگوی طراحی سنتی میدان نقش جهان از نظر تاب‌آوری اقلیمی و کیفیت محیطی بر الگوی مدرن میدان آذربایجان برتری آشکار دارد. این برتری نه تصادفی، بلکه نتیجه مستقیم به‌کارگیری اصول طراحی همساز با اقلیم، تلفیق هوشمندانه عناصر طبیعی (آب، گیاه) و مصالح مناسب و اولویت‌دادن به انسان و تعاملات اجتماعی به جای خودرو است؛ بنابراین، برای دستیابی به فضاهای شهری پایدار و مقاوم در برابر تغییرات اقلیمی، بازاندیشی در الگوی رایج فلک‌های مدرن ضروری است.

براساس یافته‌های عینی این پژوهش (که در بخش نتایج و نقشه‌ها مستند شده)، راهبردهای عملیاتی زیر برای بازطراحی میادین و فلک‌های موجود و طراحی نمونه‌های جدید پیشنهاد می‌شود:

۱. افزایش پوشش گیاهی و سایه‌اندازی: کاشت درختان بومی مقاوم به خشکی در حاشیه و جزایر میانی، ایجاد باغچه‌های مشارکتی و استفاده از دیوارهای سبز در ساختمان‌های پیرامون. این راهبرد به‌طور مستقیم NDVI را افزایش و LST را کاهش می‌دهد (همان‌گونه که در میدان نقش جهان با NDVI مثبت و LST پایین مشاهده شد).
 ۲. جایگزینی سطوح نفوذناپذیر با مصالح نفوذپذیر و با آلودگی بالا: کاهش سطح آسفالت تیره و استفاده از سنگفرش‌های نیمه‌نفوذپذیر، بتن سبک، آجرهای روشن یا شن‌رویه. این کار موجب کاهش ذخیره حرارت و افزایش تبخیر سطحی می‌شود (در مقابل، میدان آذربایجان با NDBI مثبت و LST بالا نمونه نامطلوب است).
 ۳. احیای عناصر آبی در فضاهای شهری: احداث حوض‌های کم‌عمق، آبنا‌های تبخیری و جوی‌های آب روان که با فرآیند تبخیر، خنک‌کنندگی موضعی ایجاد می‌کنند. وجود حوض مرکزی در میدان نقش جهان یکی از عوامل کلیدی خنکی آن است.
 ۴. بازتعریف نقش ترافیکی فلکه‌ها: کاهش سلطه خودرو از طریق تنگ‌تر کردن باندهای سواره، ایجاد مسیرهای پیاده و دوچرخه‌ایمن، آرام‌سازی ترافیک با تغییر هندسه میدان و اولویت‌دادن به حمل‌ونقل عمومی. این اقدامات بدون حذف کارایی ترافیکی، فضای انسانی‌تری ایجاد می‌کنند.
 ۵. افزایش نسبت سایه به سطح باز: طراحی سایه‌بان‌های مصنوعی (پارگولا، سایبان‌های پارچه‌ای) در کنار درختکاری، به‌ویژه در فصول گرم، آسایش حرارتی عابران را بهبود می‌بخشد.
- این پژوهش با وجود یافته‌های ارزشمند، با محدودیت‌هایی نیز مواجه بوده است. نخست، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، امکان بررسی جزئیات بسیار ریز (مانند دمای نقاط مشخص کف میدان) را نمی‌دهد. دوم، مطالعه دو نمونه شهری (اصفهان و تبریز)؛ تعمیم نتایج به سایر شهرهای ایران نیازمند مطالعات بیشتر است. سوم، داده‌های اقلیمی محلی (دمای هوا، رطوبت، سرعت باد) در کنار دمای سطح زمین می‌توانست تحلیل را غنی‌تر کند؛ اما چنین داده‌هایی در ایستگاه‌های نزدیک به میادین در دسترس نبود.
- بنابراین، پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بالاتر (مانند Sentinel-2 یا داده‌های پهپاد) و برداشت‌های میدانی دما و رطوبت، دقت نتایج را افزایش دهند. همچنین مقایسه تطبیقی میادین سنتی و مدرن در سایر اقلیم‌های ایران (گرم و مرطوب، معتدل خزری، سرد کوهستانی) می‌تواند به تدوین دستورالعمل‌های بومی‌شده طراحی تاب‌آور کمک کند. درنهایت، پژوهش‌های میان‌رشته‌ای با مشارکت متخصصان ترافیک، اقلیم‌شناسی و جامعه‌شناسی می‌تواند راهکارهای عملی‌تری برای تبدیل فلکه‌های گرم و ناامن به گره‌های شهری زنده، سبز و تاب‌آور ارائه دهد.
- این پژوهش نشان داد که بازگشت به اصول طراحی همساز با اقلیم و انسان‌محور، نه یک نگاه نوستالژیک، بلکه یک ضرورت اکولوژیک و راهبردی برای بقای شهرهای ایران در قرن بیست‌ویکم است. میدان نقش جهان به‌عنوان یک سرمشق زنده، ثابت کرده است که تلفیق دانش بومی با فناوری‌های نوین می‌تواند فضاهایی خلق کند که هم در برابر تغییرات اقلیمی مقاوم‌اند و هم کیفیت زندگی و انسجام اجتماعی را ارتقا می‌بخشند.

منابع

- آزمون، مجتبی، و محمدنژاد، محمد (1403). بررسی میزان تاب‌آوری شهری در مواجهه با تغییرات اقلیمی در شهر تبریز. *فصلنامه علمی مدیریت محیط زیست شهری*، 2(1)، 67-81.
- <https://doi.org/10.48306/jumee.2024.446222.1040>
- بارزمان سپیده، فرجی عبدالله، و شمسی‌پور، علی‌اکبر (۱۴۰۰). تاب‌آوری شهری با تأکید بر جنبه‌های اقلیمی در شهر ورامین. *مسکن و محیط روستا*، ۴۰(۱۷۴)، ۱۳۵-۱۴۸.
- <http://dx.doi.org/DOI:%2010.22034/40.174.135>
- زیاری، کرامت‌اله، منصوری اطمینان، ابوالفضل، و محمدی یل سویی، مهرداد (1404). بررسی و تحلیل نقش تاب‌آوری نهادی در مواجهه با اثرات تغییرات اقلیمی بر شهرها (موردپژوهی: شهر مشهد). *جغرافیا و توسعه فضای شهری*، 12(1)، 1-19. <https://doi.org/10.22067/jgusd.2022.78089.1237>
- ساکت حسنلوئی، میثم، آقابگلو، شاهین، اسدی، هیوا، و سلگی، میلاد (1402). واکاوی ابعاد و مؤلفه‌های تاب‌آوری شهری با تأکید بر تغییرات اقلیمی مطالعه موردی: ارزیابی تطبیقی شهرهای نقره و قروه. *رهپویه معماری و شهرسازی*، 2(1)، 81-93. <https://doi.org/10.22034/rau.2023.2005071.1047>
- شیرگیر، المیرا، بهزادفر، مصطفی، و خیرالدین، رضا (1399). تبیین روشی جهت سنجش و افزایش میزان تاب‌آوری شهری به تغییرات اقلیمی بر پایه اصول اکولوژی سیمای سرزمین در مقیاس محله شهری (مطالعه موردی: محله یوسف‌آباد تهران). *هویت شهر*، 15(46)، 69-84.
- <https://doi.org/10.30495/hoviatsshahr.2021.17026>
- طاهری، فاطمه، خالدی، شهریار، و برنا، رضا (1399). تحلیل حرارتی سایت ساختمان‌های ساحلی با راهبرد طراحی تاب‌آوری اقلیمی مطالعه موردی: شهر ساحلی نور. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، 13(47)، 77-94.
- <https://civilica.com/doc/1162597/>
- فرجی، عبدالله، شمسی‌پور، علی‌اکبر، و بارزمان، سپیده (1399). سنجش و ارزیابی جامعه شناختی تاب‌آوری شهر ورامین در برابر مخاطرات ناشی از تغییرات اقلیمی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، 52(4)، 605-619.
- <https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.281426.1007382>
- قاسمی، سجاد، هادیانی، زهره، و حمیدیان پور، محسن (1401). سنجش میزان تاب‌آوری کلان شهر اصفهان در برابر تغییرات اقلیمی با رویکرد نهادگرا. *جغرافیا و پایداری محیط*، 13(2)، 75-93.
- <https://doi.org/10.22126/ges.2023.8276.2580>
- مختاری، صادق، فراهانی، حسین، عینالی، جمشید، و چراغی، مهدی (1402). ارزیابی چارچوب تاب‌آوری معیشتی در برابر تغییرات اقلیمی (محدوده مورد مطالعه: روستاهای منطقه گردشگری سامان). *کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، 11(2)، 1-19. <https://doi.org/10.22034/grd.2024.20259.1583>
- منافلویان، ساناز، سعیده زرآبادی، زهرا سادات، و بهزادفر، مصطفی (1399). شناسایی و بررسی وضعیت موجود تغییرات اقلیمی و چالش‌های آن در تاب‌آوری بوم‌شناسانه. *جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، 10(39)، 447-462.

https://www.jgeoqeshm.ir/article_117760.html

References

- Adelani, F. A., Okafor, E. S., Jacks, B. S., & Ajala, O. A. (2024). Exploring theoretical constructs of urban resilience through smart water grids: case studies in African and US cities. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(3), 984-994. <https://doi.org/10.51594/estj.v5i3.952>
- Azmoon, M., & Mohammadnejad, M. (2024). Investigating urban resilience to climate change in the city of Tabriz. *Journal of Urban Environmental Management*, 2(1), 67-81. <https://doi.org/10.48306/jumee.2024.446222.1040>. [In Persian]
- Ahac, S., Ahac, M., Bašić, S., & Majstorović, I. (2023). Speed reduction capabilities of two-geometry roundabouts. *Applied Sciences*, 13(21), 11816. <https://doi.org/10.3390/app132111816>
- Berbés-Blázquez, M., Mitchell, C. L., Burch, S. L., & Wandel, J. (2017). Understanding climate change and resilience: assessing strengths and opportunities for adaptation in the Global South. *Climatic Change*, 141(2), 227-241. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1897-0>
- Boulagouas, W., Catalina, O. C. A., Mariscal, M. A., Herrera, S., & García-Herrero, S. (2024). Effects of mobile phone-related distraction on driving performance at roundabouts: Eye movements tracking perspective. *Heliyon*, 10(8), e29456. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29456>
- Barzaman, S., Faraji, A., & Shamsipour, A. (2021). Urban resilience with emphasis on climatic aspects in the city of Varamin. *Housing and the Rural Environment*, 40(174), 135-148. <http://dx.doi.org/DOI:%2010.22034/40.174.135> [In Persian]
- Cobbinah, P. B. (2021). Urban resilience in climate change hotspot. *Land Use Policy*, 100, 104948. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104948>
- Croce, S., & Vettorato, D. (2021). Urban surface uses for climate resilient and sustainable cities: A catalogue of solutions. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103313. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103313>
- Cuce, P. M., Cuce, E., & Santamouris, M. (2025). Towards Sustainable and Climate-Resilient Cities: Mitigating Urban Heat Islands Through Green Infrastructure. *Sustainability*, 17 (3), 1303. <https://doi.org/10.3390/su17031303>
- Cardoso, P., Barton, P. S., Birkhofer, K., Chichorro, F., Deacon, C., Fartmann, T., Fukushima, C. S., Gaigher, R., Habel, J. C., Hallmann, C. A., Hill, M. J., Hochkirch, A., Kwak, M. L., Mammola, S., Ari Noriega, J., Orfinger, A. B., Pedraza, F., Pryke, J. S., Roque, F. O., ... Samways, M. J. (2020). Scientists' warning to humanity on insect extinctions. *Biological Conservation*, 242, 108426. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108426>
- Carmen, E., Fazey, I., Ross, H., Bedinger, M., Smith, F. M., Prager, K., McClymont, K., & Morrison, D. (2022). Building community resilience in a context of climate change: The role of social capital. *Ambio*, 51(6), 1371-1387. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01678-9>
- Dada, M. A., Majemite, M. T., Obaigbena, A., Daraojimba, O. H., Oliha, J. S., & Nwokediegwu, Z. Q. S. (2024). Review of smart water management: IoT and AI in water and wastewater treatment. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(1), 1373-1382. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.0171>
- Djalante, R., Holley, C., & Thomalla, F. (2011). Adaptive governance and managing resilience to natural hazards. *International Journal of Disaster Risk Science*, 2(4), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s13753-011-0015-6>
- Faraji, A., Shamsipour, A., & Barzaman, S. (2020). Measurement and Sociological Assessment of the Varamin City's Resilience against Climate Change. *Physical Geography Research*, 52(4), 605-619. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.281426.1007382> [In Persian]
- Fernandes, P., Pereira, S. R., Bandeira, J. M., Vasconcelos, L., Silva, A. B., & Coelho, M. C. (2016). Driving around turbo-roundabouts vs. conventional roundabouts: Are there advantages regarding pollutant emissions?. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(9), 847-860. <https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1168497>
- Ghasemi, S., Hadyani, Z., & Hamidianpour, M. (2023). Measurement of the Isfahan Metropolitan Resilience Against Climate Change with an Institutional Approach. *Geography and Environmental Sustainability*, 13(2), 75-93. <https://doi.org/10.22126/ges.2023.8276.2580> [In Persian]
- Hardoy, J., Gencer, E., & Winograd, M. (2019). Participatory planning for climate resilient and inclusive urban development in Dosquebradas, Santa Ana and Santa Tomé. *Environment and Urbanization*, 31(1), 33-52. <https://doi.org/10.1177/0956247819825539>

- Javanroodi, K., Nik, V. M., & Adl-Zarrabi, B. (2020). A multi-objective optimization framework for designing climate-resilient building forms in urban areas. In *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science* (Vol. 588, No. 3, p. 032036). IOP Publishing.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032036>
- Javanroodi, Kavan, 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>
- Lin, L., Guo, L., Zhang, C., & Di, L. (2024). The Global Land Surface Temperature Change in the 21st Century—A Satellite Remote Sensing Based Assessment. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17, 1756–1764.
<https://doi.org/10.1109/jstars.2023.3338980>
- Lomba-Fernández, C., Hernantes, J., & Labaka, L. (2019). Guide for climate-resilient cities: An urban critical infrastructures approach. *Sustainability*, 11(17), 4727 <https://doi.org/10.3390/su11174727>
- Lu, P., & Stead, D. (2013). Understanding the notion of resilience in spatial planning: A case study of Rotterdam, The Netherlands. *Cities*, 35, 200–212. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.06.001>
- Manafloouyan, S., Saeideh zar Abadi, Z. S., & Behzadfar, M. (2020). Identify and review the current state of climate change and its challenges in ecological resilience. *Geography and Regional Planning*, 10(3-1), 447-462. https://www.jgeoqeshm.ir/article_117760.html [In Persian]
- McEvoy, D., Iyer-Raniga, U., Ho, S., Mitchell, D., Jegatheesan, V., & Brown, N. (2019). Integrating teaching and learning with inter-disciplinary action research in support of climate resilient urban development. *Sustainability*, 11(23), 6701. <https://doi.org/10.3390/su11236701>
- Mohammad, P., Goswami, A., Chauhan, S., & Nayak, S. (2022). Machine learning algorithm based prediction of land use land cover and land surface temperature changes to characterize the surface urban heat island phenomena over Ahmedabad city, India. *Urban Climate*, 42 (February 2022), 101116. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101116>
- Mokhtari, S., Farahani, H., einalia, J., & cheraghi, M. (2024). Evaluation of livelihood resilience framework against climate change (Study area: Saman tourism area villages). *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 11(2), 1-19.
<https://doi.org/10.22034/grd.2024.20259.1583> [In Persian]
- Mora, C., Dousset, B., Caldwell, I. R., Powell, F. E., Geronimo, R. C., Bielecki, C. R., Counsell, C. W. W., Dietrich, B. S., Johnston, E. T., Louis, L. V., Lucas, M. P., McKenzie, M. M., Shea, A. G., Tseng, H., Giambelluca, T. W., Leon, L. R., Hawkins, E., & Trauernicht, C. (2017). Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*, 7(7), 501–506. <https://doi.org/10.1038/nclimate3322>
- Nik, V. M., Perera, A. T. D., & Chen, D. (2021). Towards climate resilient urban energy systems: a review. *National Science Review*, 8(3), nwaa134. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaa134>
- Ojea, E., Fontán, E., Fuentes-Santos, I., & Bueno-Pardo, J. (2021). Assessing countries' social-ecological resilience to shifting marine commercial species. *Scientific Reports*, 11(1), 22926.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-02328-6>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438(7066), 310–317. <https://doi.org/10.1038/nature04188>
- Persaud, B. N., Garder, P. E., Retting, R. A., & Lord, D. (2001). Safety effect of roundabout conversions in the United States: Empirical bayes observational before-after study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1751(1), 1–8.
<https://doi.org/10.3141/1751-01>
- Perera, A. T. D., Javanroodi, K., & Nik, V. M. (2021). Climate resilient interconnected infrastructure: Co-optimization of energy systems and urban morphology. *Applied Energy*, 285, 116430.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116430>
- Rayan, M., Gruehn, D., & Khayyam, U. (2022). Frameworks for Urban Green Infrastructure (UGI) Indicators: Expert and Community Outlook toward Green Climate-Resilient Cities in Pakistan. *Sustainability*, 14(13), 7966. <https://doi.org/10.3390/su14137966>
- Saket Hasanlouei, M., Agabegloo, S., Asadi, H., & Solgi, M. (2023). Analyzing the Dimensions and Components of Urban Resilience with an Emphasis on Climate Change Case Study: Comparative

- Evaluation of Naqadeh and Qorveh Cities. *Rahpooye Memari-o Shahrsazi*, 2(1), 81-93.
<https://doi.org/10.22034/rau.2023.2005071.1047> [In Persian]
- Santamouris, M. (2020). Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings*, 207, 109482. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109482>
- Seto, K. C., Golden, J. S., Alberti, M., & Turner, B. L., II. (2017). Sustainability in an urbanizing planet. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 8935–8938.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1606037114>
- Shaaban, K., Abou-Senna, H., Elnashar, D., & Radwan, E. (2018). Assessing the impact of converting roundabouts to traffic signals on vehicle emissions along an urban arterial corridor in Qatar. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69(2), 178–191.
<https://doi.org/10.1080/10962247.2018.1526137>
- Shi, J., & Fan, H. (2024). Regulatory mechanisms for climate-resilient urban energy systems. *Sustainable Cities and Society*, 102, 105215. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105215>
- Shirgir, E., Behzadfar, M., & Kheyroddin, R. (2020). Explaining a method for measuring and increasing urban resilience to climate change based on landscape ecology principles at the scale of an urban neighborhood (case study: Yousef Abad neighborhood, Tehran). *City Identity*, 15(46), 69-84.
<https://doi.org/10.30495/hoviatshahr.2021.17026> [In Persian]
- Simpson, N. P., Simpson, K. J., Ferreira, A. T., Constable, A., Glavovic, B., Eriksen, S. E. H., Ley, D., Solecki, W., Rodríguez, R. S., & Stringer, L. C. (2023). Climate-resilient development planning for cities: progress from Cape Town. *Npj Urban Sustainability*, 3(1), 10.
<https://doi.org/10.1038/s42949-023-00089-x>
- Su, Q., Chang, H. S., & Pai, S. E. (2022). A Comparative Study of the Resilience of Urban and Rural Areas under Climate Change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 8911. <https://doi.org/10.3390/ijerph19158911>
- Taheri, F., Khaledi, Sh., & Borna, R. (2019). Thermal analysis of coastal building sites with climate resilience design strategy, case study: Noor coastal city. *Journal of Physical Geography*, 13(47), 77-94. <https://civilica.com/doc/1162597/> [In Persian]
- Tomatis, F., Egerer, M., Correa-Guimaraes, A., & Navas-Gracia, L. M. (2023). Urban gardening in a changing climate: A review of effects, responses and adaptation capacities for cities. *Agriculture*, 13(2), 502. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020502>
- Wang, D., & Chen, S. (2024). The effect of pilot climate-resilient city policies on urban climate resilience: Evidence from quasi-natural experiments. *Cities*, 153(5), 105316.
<https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105316>
- Xiao, Z., Ge, H., Lacasse, M. A., Wang, L., & Zmeureanu, R. (2023). Nature-Based solutions for carbon neutral climate resilient buildings and communities: A review of technical evidence, design guidelines, and policies. *Buildings*, 13(6), 1389. <https://doi.org/10.3390/buildings13061389>
- Xu, H., Liu, L., & Ding, P. (2021). Building climate resilient city through multiple scale cooperative planning: experiences from Copenhagen. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1203, No. 3, p. 032063). IOP Publishing.
<https://doi.org/10.1088/1757-899x/1203/3/032063>
- Yilmaz, D., Isinkaralar, O. (2021). Climate action plans under climate-resilient urban policies. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 7(2), 140-147.
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2045751>
- Zhai, L., & Lee, J. E. (2024). Investigating vulnerability, adaptation, and resilience: A comprehensive review within the context of climate change. *Atmosphere*, 15(4), 474.
<https://doi.org/10.3390/atmos15040474>
- Ziyari, K. A., mansouri etminan, A., & Mohammadyelsooei, M. (2025). Investigating and Analyzing the Role of Institutional Resilience in Facing the Effects of Climate Change on Cities (Case Study: Mashhad City). *Geography and Urban Space Development*, 12(1), 1-19.
<https://doi.org/10.22067/jgusd.2022.78089.1237> [In Persian]