Journal of Urban Studies on Space and Place
Vol.9, No 34, Spring 2025, 45 - 69 | https://jspr.jdisf.ac.ir/
ISSN: 3060-6985 | EISSN: 3060-7094

DOI: https://doi.org/10.22034/jspr.2025.2056446.1126 مقاله پژوهشی
Received:2025/ 03/ 22 Revised: 2025/ 06/ 04 Accepted: 2025/ 07/ 07 Published: 2025/ 07/ 07

Optimization of Sustainable Urban Form Using Multi-criteria Algorithms (Case study: Baharestan city)

Ahmad Najafi1
Department of Urban Planning, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
Ramtin Mortaheb
Assistant Professor, Faculty Member, Department of Architecture and Urban Planning, Faculty of Engineering and Technology, Ashrafi Esfahani University, Isfahan, Iran.
Keyvan Rafiei
Department of Urban Planning, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
Bahareh Tadayon
Department of Urban Planning, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Extended Abstract

Introduction

Rapid urbanization necessitates sustainable urban development, particularly optimizing urban form due to land and environmental resource limitations. Modern urban growth often overlooks traditional solar access, resulting in energy imbalances and urban heat islands, as exemplified by the poor air quality in Baharestan and Isfahan in 2019. There's an urgent need for solutions to increase building density while ensuring direct sunlight, thermal comfort, and reduced energy consumption. Algorithmic processes, especially parametric design, offer a novel approach to optimizing urban morphology for multiple, often conflicting objectives, such as maximizing building footprint and courtyard area while ensuring solar access. This study addresses this gap by presenting an integrated model for urban form organization in Baharestan City using multi-criteria algorithms and a solar envelope approach. The main objective is to propose an urban form organization algorithm for Baharestan, analyzing solar light reception and resulting energy in outdoor spaces. Sub-objectives include creating vertical green space patterns, proposing optimal urban block design rules, and developing a climate-optimized multi-variable algorithm for urban development. Ultimately, this research aims to foster a more sustainable city by maximizing building volume using the solar envelope method.

Theoretical Framework

The study integrates "compact city" principles – optimizing land use, increasing density, and promoting mixed-use development – with the "low-carbon energy city" theory, which focuses on reducing greenhouse gas emissions through energy optimization and the use of renewable sources. Solar access is fundamental to both, enabling natural illumination and reducing heating and cooling demands. Multi-criteria algorithms are crucial here, as they

1. Corresponding Author: ahmad.naajafi@gmail.com

balance conflicting sustainability objectives (e.g., maximizing area versus solar access). The solar envelope defines maximum building heights while preserving solar access. Evolutionary computations provide tools for exploring sustainable urban forms. Recent urban planning research has increasingly leveraged Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) algorithms, combined with advanced computational techniques such as machine learning and genetic algorithms, to achieve optimal urban design.

Methodology

This research is applied-developmental, providing a practical and generalizable algorithmic modeling approach for urban design that combines documentary, analytical, and modeling methods. Multi-criteria algorithms like Wallacei are chosen because urban design problems often involve conflicting objectives (e.g., maximizing footprint vs. solar access). These algorithms provide Pareto optimal solutions for complex decision-making. In the modeling phase, 5000 simulations using the Wallacei multi-criteria algorithm selected the optimal urban layout for residential blocks, maximizing building footprint and courtyard area. Subsequent analyses included solar radiation energy, sky dome coverage, and solar access hours in outdoor urban spaces. Baharestan City, Isfahan (51E, 32N), was the case study, with Meteonorm climate data validated using data from the Isfahan Shahid Beheshti Airport station. The parametric solar envelope calculation defines direct solar access conditions. Steps involved: 2D site modeling in Rhinoceros; importing EPW weather data into Ladybug plugin to set solar radiation and minimum temperature (20°C, 475 W/m² on December 21st); determining shading boundaries (1.5-2m above ground); setting modeling time (8:00 AM-4:00 PM on December 21st); and generating a 30m maximum height geometric polygon for the solar envelope. The 35-hectare Baharestan study area was divided into five blocks. Rhinoceros 6 SR30, Grasshopper v1, and DecodingSpaces 2020 were used for parametric modeling. After the initial division (Figure 1), 5,000 multi-criteria parametric models were run via Wallacei (Figures 2 and 3). Eight optimal options per area were selected, maximizing building potential and courtyard area (Figure 4). Solar envelope structures were determined for each building on December 21st (the lowest sun angle), considering shadow lines (1.5-2m) and the maximum buildable height (30m), which defined the permissible volumes. Final building volumes were obtained by placing solar envelope volumes in 3-meter voxels to ensure winter sunlight access (Figure 5).

Results and Discussion

Climate data indicated Baharestan's outdoor environment requires direct sun for comfort for six months and shade for four months (Figure 6). Buildable space categorization showed high density (Table 1). Over 95% of open spaces in all five blocks received more than 1000 kWh/m² of solar energy annually, suggesting potential for energy self-sufficiency (Figure 7). Sky dome access averaged over 70% in outdoor spaces and floor plans, aiding natural light utilization (Figure 8). Solar access hours in December (the shortest day) consistently showed over 35 hours of direct sunlight across most urban areas (Figure 9).

Conclusion

This research successfully developed a comprehensive framework for optimizing sustainable urban form in Baharestan using parametric design and multi-criteria algorithms. The Wallacei genetic algorithm facilitated the evaluation of 5,000 models, yielding optimal layouts. The findings align with previous studies on the impact of urban form on environmental sustainability, particularly in terms of solar access and thermal comfort. The study's innovation

lies in its simultaneous optimization of conflicting objectives: maximizing building footprint, courtyard area, and solar access. The integrated, climate-optimized algorithm effectively handles complex urban design challenges in specific climates. Its high efficiency is evidenced by over 1,000 kWh/m² of solar radiant energy in 95% of areas, over 70% sky dome access, and over 35 hours of solar access in the shortest month. These results directly address the issues of energy consumption and air pollution in cities like Isfahan. The method facilitates urban green spaces on building levels and significantly meets daylight needs. This research enriches parametric design and multi-criteria algorithms, offering an efficient tool for urban planners to create more sustainable and resilient cities.

Keywords: Sustainable Urban Form, Parametric Design, Genetic Algorithm, Urban Development, Solar Envelope, Multi-Criteria Optimization.

Citation:
Najafi, A., Mortaheb, R., Rafiei, Keyvan & Tadayon, B. (2025). Optimization of Sustainable Urban Form Using Multi-criteria Algorithms (Case study: Baharestan city). *Journal of Urban Studies on Space and Place, 9*(34), 45-69.
https://doi.org/10.22034/jspr.2025.2056446.1126

DOI: https://doi.org/10.22034/jspr.2025.2056446.1126
URL: https://jspr.jdisf.ac.ir/article_725931.html?lang=en

Copyrights:
©2023 by the authors. Published by Journal of Urban Studies on Space and Place.
This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه علمی پژوهشهای فضا و مکان در شهر
دوره ۹، شماره ۳۴، بهار ۱۴۰۴، ۴۵-۶۹ | https://jspr.jdisf.ac.ir/
شاپا چاپی: ۶۹۸۵-۳۰۶۰ | شاپا الکترونیکی: ۷۰۹۴-۳۰۶۰

مقاله پژوهشی: DOI: https://doi.org/10.22034/jspr.2025.2056446.1126
تاریخ دریافت: ۰۲ / ۰۱ / ۱۴۰۴ تاریخ بازنگری: ۱۴ / ۰۳ / ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۶ / ۰۴ / ۱۴۰۴ تاریخ انتشار: ۱۶ / ۰۴ / ۱۴۰۴

بهینه‌سازی فرم شهری پایدار با استفاده از الگوریتم‌های چندمعیاره (مورد مطالعه: شهر بهارستان)

احمد نجفی[۱]
گروه شهرسازی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.
رامتین مرتهب
استادیار و عضو هیات علمی، گروه معماری و شهرسازی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اشرفی اصفهانی، اصفهان، ایران.
کیوان رفیعی
گروه شهرسازی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.
بهاره تدین
گروه شهرسازی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

چکیده
رشد شهرنشینی و محدودیت در زمین و منابع زیست‌محیطی، ضرورت توسعهٔ پایدار در کلان‌شهرها را نمایان می‌کند. شکل پایدار شهر یکی از راه‌های دست یافتن به این ضرورت است. در همین راستا، این مقاله به ارائهٔ الگوریتمی جهت ساماندهی شکل شهر و تحلیل دریافت نور خورشید در طرح ایجادشده و با هدف حداکثر کردن میزان زیربنا و مساحت حیاط برای بلوک‌های مسکونی تولیدشده توسط همین الگوریتم به مدل‌سازی یک منطقهٔ شهری در شهر بهارستان اصفهان می‌پردازد. روش این پژوهش از نظر هدف، کاربردی-توسعه‌ای و از نظر روش ترکیبی از روش‌های اسنادی، تحلیلی و مدل‌سازی است که با ۵۰۰۰ مدل‌سازی با الگوریتم چندمعیار والاسی ایجاد می‌شود و نتایج شبیه‌سازی‌های طرح به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که این روش توانایی بالایی در ایجاد فضای‌های شهری با بهره‌مندی بسیار بالا از شاخص‌های انرژی تابشی خورشید، با دسترسی ۹۵ درصد مناطق از انرژی بیش از ۱۰۰۰ کیلو وات‌ساعت بر مترمربع، میزان دسترسی به گنبد آسمان در فضای باز شهری و فضاهای داخلی ساختمان‌ها بیش از ۷۰ درصد و میزان ساعت برخورداری از نور خورشید بیش از ۳۵ ساعت در کوتاه‌ترین ماه سال را دارد و دارای پتانسیل بالایی در تسهیل طراحی برای کارشناسان حوزهٔ شهری است.

کلمات کلیدی: شکل پایدار شهر، طراحی پارامتریک، الگوریتم ژنتیک، توسعهٔ شهری.

۱. ایمیل نویسنده مسئول: ahmad.naajafi@gmail.com

۱- مقدمه

رشد فزایندهٔ شهرنشینی و محدودیت‌های فزاینده در زمین و منابع زیست‌محیطی، لزوم توجه به توسعهٔ پایدار را در کلان‌شهرها برجسته می‌سازد. در این راستا، دستیابی به شکلی پایدار از شهر، ازجمله راهکارهای کلیدی جهت تحقق این ضرورت است. با توجه به پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۲۵، بیش از ۶۵ درصد جمعیت جهان در نواحی شهری ساکن خواهند شد (Taghvaei et al, 2016)، طراحی و برنامه‌ریزی شهری کارآمد، برای مواجهه با چالش‌های ناشی از تراکم جمعیتی و گسترش فیزیکی شهرها، بیش از پیش اهمیت می‌یابد.

در دوران معاصر، با افزایش روزافزون رشد شهرها و تراکم ساختمانی، ملاحظات حیاتی نظیر دسترسی به نور خورشید، که از دیرباز در معماری سنتی ایران مورد توجه بوده است (Mahmoudi & Nivi, 2011)، اغلب نادیده گرفته می‌شود. این غفلت منجر به بروز چالش‌های جدی از جمله عدم تعادل انرژی و ایجاد پدیده‌هایی چون جزایر گرمایی شهری شده است (Shoshtari et al, 2018). برای مثال، شهر اصفهان، با وجود قدمت تاریخی، در سال ۹۸ تنها ۲۰ روز هوای پاک داشته است و این روند در شهر اقماری بهارستان نیز مشاهده می‌شود. این وضعیت، ضرورت پرداختن به راهکارهایی برای افزایش حجم ساختمانی و تراکم، ضمن حفظ دسترسی به نور مستقیم خورشید، تأمین آسایش حرارتی در فضای باز و کاهش مصرف انرژی را بیش از پیش نمایان می‌سازد.

طراحی مناسب زمینهٔ استفادهٔ بهینه از نور طبیعی را برای روشنایی فضاهای داخلی و خارجی ساختمان‌ها فراهم می‌آورد. در این مسیر، توجه به هندسهٔ فضا، فرم کلی، جهت‌گیری بنا و محدودیت عمق نفوذ نور طبیعی از عوامل مهم در یک طراحی کارآمد محسوب می‌شوند (Tahbaz, 2017). دغدغهٔ اصلی پژوهشگران حوزهٔ ریخت‌شناسی شهری، نحوهٔ ارزیابی و داوری شکل فیزیکی بافت شهری است، به‌خصوص با توجه به ماهیت کیفی و زیبایی‌شناختی بخش عمده‌ای از این موضوعات. ازاین‌رو، توسعهٔ روش‌های کمی و در عین حال منعطف، برای اصلاح بافت‌های شهری نامناسب و جلوگیری از توسعهٔ بی‌برنامه حیاتی است (Jamali, 2015). پاسخ به این چالش، در توسعهٔ فرآیندهای الگوریتمی نهفته است که قادر به تولید بهینهٔ ریخت‌شناسی شهری برای اهداف متضاد متعدد است.

طراحی پارامتریک یا الگوریتمیک، رویکردی نوین و پیشرفته در حوزهٔ طراحی است. این رویکرد امکان تغییر آسان در طرح با تغییر مقادیر پارامترها را فراهم می‌آورد (Karimi & Eghbali, 2017) و قابلیت تحلیل چندبعدی طرح از جنبه‌های مختلف نظیر زیبایی، سازه، انرژی و کاربری را داراست. در این زمینه، شکاف پژوهشی حاضر در نبود الگوریتم‌های جامع و بهینه برای ساماندهی فرم شهری پایدار در مناطق با اقلیم‌های خاص نظیر اصفهان و بهارستان، با تمرکز بر حداکثرسازی میزان زیربنا و مساحت حیاط، و در عین حال تضمین دسترسی به نور خورشید و کاهش مصرف انرژی مشهود است. درحالی‌که مطالعات پیشین به برخی از این جنبه‌ها به‌صورت مجزا پرداخته‌اند، کمتر پژوهشی به ارائهٔ الگوریتمی چندمعیاره که به‌طور همزمان به این اهداف متعارض در یک فرآیند بهینه‌سازی بپردازد، مبادرت ورزیده است. این پژوهش قصد دارد با بهره‌گیری از الگوریتم‌های چندمعیاره و رویکرد پوستهٔ خورشیدی، به ارائهٔ مدلی یکپارچه برای ساماندهی شکل شهری در شهر بهارستان بپردازد و به این شکاف پژوهشی پاسخ دهد.

این پژوهش با هدف اصلی ارائهٔ الگوریتم ساماندهی شکل شهری برای شهر بهارستان، و هدف ویژهٔ تحلیل میزان دریافت نور خورشید و انرژی حاصل از آن در فضای باز توسط الگوریتم پیشنهادی در شهر بهارستان، و سه هدف فرعی شامل: ایجاد الگوی توسعهٔ فضاهای سبز در سطوح ارتفاعی بلوک‌های شهری، ارائهٔ مدل‌های بهینه برای قواعد طراحی شکل و فرم بلوک‌های شهری و ایجاد الگوریتم چندمتغیره و بهینه با اقلیم برای توسعهٔ شهری در شهر بهارستان صورت گرفته است. در نهایت، با استفاده از روش پوستهٔ خورشیدی، این پژوهش به‌دنبال حداکثرسازی حجم ساختمان‌ها و

بلوک‌های شهری در بهارستان اصفهان است تا زمینه را برای داشتن شهری پایدارتر برای نسل‌های آینده فراهم آورد.

۲- مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهش

نظریهٔ شهر فشرده[1]: در پاسخ به چالش‌های مطرح‌شده، نظریهٔ شهر یک رویکرد محوری در توسعهٔ شهری پایدار مطرح شده است. نظریهٔ شهر فشرده رویکردی محوری در توسعهٔ شهری پایدار، پاسخی به چالش‌های فزایندهٔ شهرنشینی امروز است. این نظریه بر استفاده بهینه از زمین، افزایش تراکم ساختمانی، و توسعهٔ چندمنظوره تأکید دارد و هدف اصلی آن کاهش پراکنده‌سازی شهری و مصرف بی‌رویهٔ منابع است (Adulkongkaew et al., 2020; Zhang et al., 2021). شهر فشرده به‌دنبال ایجاد محیط‌های شهری متراکم‌تر است که از طریق کاهش مسافت‌های سفر، تشویق به پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری، و دسترسی آسان‌تر به خدمات و امکانات، به کاهش انتشار کربن و بهبود کیفیت زندگی کمک می‌کند (Murphy et al., 2018). در چهارچوب پژوهش حاضر، هدف حداکثرسازی میزان زیربنا و مساحت حیاط برای بلوک‌های مسکونی و افزایش حجم ساختمان‌ها و بلوک‌های شهری در بهارستان اصفهان، به‌طور مستقیم با اصول نظریهٔ شهر فشرده همسوست (Prieto-Curiel et al., 2023). این رویکرد به‌دنبال مقابله با گسترش فیزیکی بی‌رویهٔ شهر و ارائهٔ راهکارهایی برای جای دادن جمعیت رو به رشد در فضایی کارآمدتر است. بهینه‌سازی فرم شهری با استفاده از الگوریتم‌های چندمعیاره، ابزاری قدرتمند برای تحقق اهداف شهر فشرده، به‌ویژه در مواجهه با اهداف متضاد مانند حداکثرسازی زیربنا و حفظ دسترسی به نور خورشید، فراهم می‌آورد.

نظریهٔ شهر با انرژی کم‌کربن[2]: در کنار نظریهٔ شهر فشرده، نظریهٔ شهر با انرژی کم‌کربن نقشی حیاتی در تحقق پایداری شهری ایفا می‌کند. این نظریه بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسید کربن، از طریق بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر در محیط‌های شهری تمرکز دارد (Hou & Chen, 2023؛ Islam et al., 2024). ملاحظات حیاتی نظیر دسترسی به نور خورشید و کاهش مصرف انرژی که در مقدمه به آن اشاره شد، ستون فقرات این نظریه را تشکیل می‌دهند (Bazán et al., 2018). پژوهش حاضر با تحلیل دریافت نور خورشید و تأکید بر بهره‌مندی بالا از شاخص‌های انرژی تابشی خورشید، به‌طور مستقیم به اهداف شهر کم‌کربن می‌پردازد. قابلیت این روش در تأمین انرژی بیش از ۱۰۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع برای ۹۵ درصد از مناطق، و نیز ساعات برخورداری از نور خورشید بیش از ۳۵ ساعت در کوتاه‌ترین ماه سال، نشان‌دهندهٔ پتانسیل بالای این رویکرد در کاهش وابستگی به انرژی‌های فسیلی و کمک به پایداری انرژی است. بهینه‌سازی فرم شهری برای حداکثرسازی دسترسی به نور خورشید، نه‌تنها به روشنایی طبیعی فضاهای داخلی و خارجی کمک می‌کند، بلکه در کاهش نیاز به سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، و در نتیجه کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن مؤثر است. پیشنهادهایی مانند نصب پنل‌های خورشیدی نیز بر این رویکرد تأکید دارد (Vengosh & Weinthal, 2023, Zhang et al., 2023, Bazán et al., 2018; Islam et al., 2024).

دسترسی خورشیدی[3]: از حقوق خورشیدی، که به‌طور خاص برای نور مستقیم خورشید برای سیستم‌های انرژی خورشیدی در نظر گرفته شده است، درحالی‌که دسترسی خورشیدی حق نور خورشید در برخی از نمای ساختمان‌ها صرف نظر از وجود سیستم‌های انرژی خورشیدی فعال یا غیرفعال است (Colleen McCann, 2008, p.1).

پوستهٔ خورشیدی[4]: پوستهٔ خورشیدی یك سازهٔ فضا-زمان است. محدوده‌های مکانی آن با مشخصات

1. Compact City Theory
2. Low-Carbon City Theory
3. Solar access
4. Solar envelope

اندازهٔ زمین، شکل، جهت‌گیری، توپوگرافی، عرض جغرافیایی و محیط اطراف آن تعریف می‌شود. محدودیت‌های زمانی آن با ساعات روز، فصل سال و فاصلهٔ زمانی تعریف می‌شود. پوسته خورشیدی حداکثر ارتفاعات ساختمان‌هایی را نشان می‌دهد که دسترسی خورشیدی هیچ‌یك از ساختمان‌های موجود را در طی یك دورهٔ مشخص از سال نقض نمی‌کنند (Knowles, 1980, p.27).

محاسبات تکاملی (الگوریتم‌های چندهدفه): الگوریتم‌های تکاملی فرایندهای تکرارشونده‌ای هستند که بر اساس منطق‌های ساده استخراج‌شده از تکامل ساخته می‌شوند و معمولاً در بسیاری از زمینه‌ها برای حل مسائل غیرخطی و غیرقابل حل استفاده می‌شوند. آن‌ها یک ابزار طراحی تکراری برای کاوش در فرم‌های معماری و شهری پایدار و پویا ارائه می‌دهند.

پژوهش حاضر با رویکردی ترکیبی، بر اهمیت بهینه‌سازی فرم شهری با استفاده از الگوریتم‌های چندمعیاره تأکید دارد. این رویکرد تلاش می‌کند تا اصول نظریه‌های فوق را، به‌ویژه در زمینهٔ بهینه‌سازی مصرف انرژی، دسترسی به نور خورشید و ایجاد فضاهای سبز، در قالب یک چهارچوب عملیاتی در شهر بهارستان به کار گیرد.

شهرنشینی سریع و گسترده در سطح جهانی به بروز چالش‌های متعددی از جمله تخریب محیط‌زیست، نابرابری اجتماعی و اختلافات اقتصادی منجر شده است. این مسائل، ضرورت توسعهٔ فرم‌های شهری را ایجاب می‌کند که نه‌تنها جمعیت‌های رو به رشد را در خود جای دهند، بلکه ردپای اکولوژیکی را به حداقل برسانند و در عین حال، کیفیت زندگی شهروندان را نیز ارتقا بخشند. فرم شهری به چیدمان و پیکربندی فضاهای شهری اطلاق می‌شود که نقشی محوری در تعیین پایداری محیط‌های شهری ایفا می‌کند. دستیابی به پایداری در شهرسازی مستلزم بهینه‌سازی استفاده از منابع، فضا و زیرساخت‌ها، و برقراری تعادل بین نیازهای فعلی و نسل‌های آینده است. روش‌های بهینه‌سازی چندمعیاره ابزارهای کارآمدی برای مقابله با این چالش‌ها هستند؛ زیرا آن‌ها تسهیل‌کنندهٔ آشتی میان اهداف غالباً متناقض پایداری، مانند حفظ محیط‌زیست، عدالت اجتماعی و بقای اقتصادی هستند.

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های شهرسازی به‌طور فزاینده‌ای بر الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) متمرکز شده است. این الگوریتم‌ها به‌منظور ارزیابی و انتخاب راه‌حل‌های بهینهٔ طراحی شهری بر اساس معیارهای چندگانه، که گاهی متضاد هستند، طراحی شده‌اند. از سال ۲۰۱۹، شاهد تغییر قابل توجهی به‌سمت ادغام تکنیک‌های محاسباتی پیشرفته مانند یادگیری ماشین، الگوریتم‌های ژنتیک و هوش مصنوعی به‌منظور بهبود کاربرد MCDM در شهرسازی بوده‌ایم. این بررسی ادبیات، ارزیابی جامعی از پیشرفت‌های کلیدی در استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندمعیاره برای طراحی فرم‌های شهری پایدار از سال ۲۰۱۹ به بعد ارائه می‌کند و به صورت زمانی سازماندهی می‌شوند و تحولات مهم در نظریه، روش‌شناسی و یافته‌ها را بررسی می‌کند، ضمن اینکه تغییرات کلیدی در رویکردهای تحقیقاتی و روندهای نوظهور را نیز شناسایی می‌کند.

در جدول شمارهٔ (۱) خلاصه‌ای از مطالعات مرتبط با بهینه‌سازی فرم شهری پایدار با استفاده از الگوریتم‌های چندمعیاره و تأثیر فرم شهری بر پایداری محیطی و آسایش حرارتی، بر اساس دسته‌بندی موضوعی و هدف پژوهش، ارائه شده است.

تحولات و روش‌های کلیدی

رویکردهای اولیه (۲۰۱۹-۲۰۲۰)

پس از سال ۲۰۱۹، شاهد تمرکز بر پالایش رویکردهای تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) از طریق ادغام آن‌ها با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سایر فناوری‌های محاسباتی برای مقابله با چالش‌های پایداری شهری بود. یک مشارکت قابل توجه از سوی یائو و همکاران (۲۰۱۹) ارائه شد که یک مدل بهینه‌سازی ارائه داد که GIS را با تکنیک‌های MCDM ترکیب می‌کرد تا الگوهای کاربری زمین را در مناطق

جدول شمارهٔ (۱): خلاصه‌ای از پیشینهٔ پژوهش در بهینه‌سازی فرم شهری پایدار و تأثیر فرم شهری بر پایداری محیطی و آسایش حرارتی

یافته‌های کلیدی مرتبط با پژوهش حاضر	روش پژوهش	هدف اصلی	موضوع اصلی پژوهش	نویسنده(ها) و سال
مؤثر در ارزیابی معیارهای پایداری مکانی (دسترسی به فضاهای سبز، توسعهٔ بی‌رویه شهری و مصرف انرژی)	GISترکیب و تکنیک‌های MCDM	بهینه‌سازی الگوهای کاربری زمین	بهبود الگوهای کاربری زمین در مناطق شهری	یائو و همکاران (۲۰۱۹)
فراهم کردن زمینه برای تحولات بعدی در استفاده از الگوریتم‌ها در برنامه‌ریزی پایداری شهری	الگوریتم‌های ژنتیک)GA(	تأکید بر پایداری محیطی، عدالت اجتماعی و امکان‌سنجی اقتصادی	بهینه‌سازی تصمیمات شهرسازی	وانگ و همکاران (۲۰۲۰)
ارائهٔ ابزاری قدرتمند برای توسعهٔ محیط‌های شهری با بازدهی انرژی بالا	یادگیری تقویتی عمیق)DRL(	کاهش مصرف انرژی، انتشار کربن و افزایش آسایش حرارتی	بهینه‌سازی طرح‌های ساختمان	پارخ و همکاران (۲۰۲۱)
نشان دادن کارایی بهینه‌سازی بیزی در کاهش اثرات زیست‌محیطی و هزینه‌های عملیاتی	بهینه‌سازی بیزی	کاهش اثرات زیست‌محیطی و هزینه‌های عملیاتی	بهینه‌سازی محدود چندهدفه در طراحی ساختمان	ماترن و همکاران (۲۰۲۱)
نشان دادن حرکت به‌سوی شیوه‌های برنامه‌ریزی شهری فراگیرتر و شفاف‌تر	مدل بهینه‌سازی چندهدفه مشارکتی	گنجاندن دیدگاه‌های مختلف در فرایندهای تصمیم‌گیری	برنامه‌ریزی شهری مشارکتی	ویکی و همکاران (۲۰۲۱)
موفقیت در متعادل کردن اهداف پایداری مختلف	الگوریتم چندمعیاره ترکیبی	متعادل کردن اولویت‌های رقابتی مانند بهره‌وری انرژی، مقرون‌به‌صرفه بودن و ادغام اجتماعی	بهینه‌سازی طرح‌های ساختمانی در سطح محله	موسی و دیل (۲۰۲۳)
امکان استراتژی‌های طراحی شهری تطبیقی‌تر و پاسخگوتر	یادگیری تقویتی عمیق در ترکیب با داده‌های شهری بی‌درنگ	پاسخ به شرایط متغیر محیطی	بهینه‌سازی پویا عملکرد ساختمان	پارخ و همکاران (۲۰۲۴)
ارتباط معنادار پارامترهای ریخت‌شناسی شهری با متغیرهای میکرواقلیم	تحلیل و مدل‌سازی	تحلیل مناطق مختلف شهر شانگهای	تأثیر پارامترهای ریخت‌شناسی شهری بر میکرواقلیم	وی و همکاران (۲۰۱۶)
کاشت فضای سبز کم‌ارتفاع می‌تواند دمای شب را کاهش دهد	بررسی رابطل بین دمای هوا و متغیرهای ریخت‌شناسی شهری	کاهش دمای شب	رابطهٔ دمای هوا و متغیرهای ریخت‌شناسی شهری	وای یو و همکاران (۲۰۲۰)
شاخص‌های ریخت‌شناسی شهری تأثیر زیادی بر دمای هوا دارند	تحلیل و مدل‌سازی	بررسی چهار شاخص (تراکم ساختمان، پوشش گیاهی، نسبت سطح کف و گنبد آسمان)	تأثیر شاخص‌های ریخت‌شناسی شهری بر دمای هوا	ژو و همکاران (۲۰۲۰)

یافته‌های کلیدی مرتبط با پژوهش حاضر	روش پژوهش	هدف اصلی	موضوع اصلی پژوهش	نویسنده(ها) و سال
فرم شهری می‌تواند تأثیر زیادی بر راحتی حرارتی داشته باشد	تحلیل و مدل‌سازی	بررسی تأثیر بر راحتی حرارتی و شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی)PET(	تأثیر شکل شهری بر میکرواقلیم شهری	عبدالسلام عثمان و احمد الشبول (۲۰۲۰)
فضای سبز شرایط آسایش حرارتی را بهبود می‌بخشد	بررسی تأثیر پوشش گیاهی	بهبود شرایط آسایش حرارتی	تأثیر پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی	داوطلب و همکاران (۲۰۱۶)
تغییر در هندسهٔ خیابان تأثیر زیادی بر آسایش حرارتی عابران پیاده دارد	تحلیل و مدل‌سازی	بررسی تأثیر بر آسایش حرارتی عابران پیاده	تأثیر هندسه خیابان بر خرداقلیم شهری	ثناگردربانی و همکاران (۲۰۱۸)
افزایش دمای متوسط تابشی به کاهش آسایش حرارتی منجر می‌شود	تحلیل و مدل‌سازی	بررسی تأثیر افزایش دما بر آسایش حرارتی	رابطه دمای متوسط تابشی و آسایش حرارتی	کرمی‌راد و همکاران (۲۰۱۸)
افزایش سپیدایی باعث کاهش دمای هوا و کاهش انتشار کربن می‌شود	تحلیل و مدل‌سازی	کاهش دما و انتشار کربن در محله‌های متراکم	تأثیر تغییر سپیدایی روسازی بر دمای هوا و تقاضای انرژی ساختمان	ژو و همکاران (۲۰۲۰)
شاخص‌های ریخت‌شناسی شهری تأثیر زیادی بر تقاضای انرژی ساختمان دارند	تحلیل و مدل‌سازی	بررسی تأثیر شاخص‌هایی مانند پوشش گیاهی، ارتفاع ساختمان و مساحت قطعه	رابطهٔ بین تقاضای انرژی و شاخص‌های ریخت‌شناسی شهری	چن و همکاران (۲۰۲۰)
شاخص‌های ریخت‌شناسی شهری تأثیر زیادی بر مصرف انرژی دارد	تحلیل و مدل‌سازی	بررسی تأثیر شاخص‌هایی مانند نسبت سطح کف و ارتفاع ساختمان	تأثیر عوامل ریخت‌شناسی شهری بر مصرف انرژی گرمایش	لنگ و همکاران (۲۰۲۰)
شاخص‌های مورفولوژیکی عمودی غلظت آلاینده‌های هوا را کاهش می‌دهند	تحلیل و مدل‌سازی	کاهش غلظت آلاینده‌های هوا	تأثیر ریخت‌شناسی شهری بر کیفیت هوای بیرونی	حسن و همکاران (۲۰۲۰)
ویژگی‌های مورفولوژیکی محوطه تأثیر زیادی بر تهویه و آسایش حرارتی دارد	تحلیل و مدل‌سازی	بررسی تأثیر بر تهویه و آسایش حرارتی	تأثیر ریخت‌شناسی شهری بر تهویه محوطه و جزایر گرمایی شهری	هی و همکاران (۲۰۲۰)
شاخص‌هایی مانند نسبت نما به مکان و عامل آسمان، همبستگی بالایی با در دسترس بودن خورشید در نمای بنا دارند	تحلیل و مدل‌سازی	توسعه ابزارهای ارزیابی عملکرد خورشیدی در طراحی شهری	شناسایی شاخص‌های ریخت‌شناسی شهری	مرگانتی و همکاران (۲۰۱۷)

یافته‌های کلیدی مرتبط با پژوهش حاضر	روش پژوهش	هدف اصلی	موضوع اصلی پژوهش	نویسنده(ها) و سال
تراکم بالای ساختمان‌های بلند ظرفیت خورشیدی را افزایش می‌دهد	تحلیل و مدل‌سازی	افزایش ظرفیت خورشیدی	تأثیر تراکم ساختمان و نوسان ارتفاعات ساختمان بر ظرفیت خورشیدی	زو و همکاران (۲۰۲۰)
گونه‌های مختلف مسکن تأثیر زیادی بر شکل‌دهی حوزه‌های مورفولوژیک سطح شهر دارد	تحلیل و مدل‌سازی	بررسی تأثیر بر شکل‌گیری بافت‌های شهری	تأثیر گونه‌های مختلف مسکن بر شکل‌دهی حوزه‌های مورفولوژیک سطح شهر	جمالی (۲۰۱۲)
بافت‌های قدیمی با ساختار ارگانیک پایداری بالاتری دارند	بررسی رابطه	پایداری بالاتر بافت‌های قدیمی با ساختار ارگانیک	رابطه بین شاخص بسته‌شدگی و پایداری محیطی	چنگلوایی و همکاران (۲۰۱۸)
ایجاد سایه بر آسایش حرارتی عابران پیاده تأثیر زیادی دارد	بررسی تأثیر	تأثیر ایجاد سایه بر آسایش حرارتی عابران پیاده	تأثیر عناصر الحاقی نما بر آسایش حرارتی	احمدپور کلهرودی و همکاران (۲۰۱۷)

شهری به‌سرعت در حال رشد بهبود بخشد. این رویکرد در ارزیابی معیارهای پایداری مکانی، مانند دسترسی به فضاهای سبز، توسعهٔ بی‌رویهٔ شهری و مصرف انرژی مؤثر بود. به‌طور مشابه، وانگ و همکاران (۲۰۲۰) الگوریتم‌های ژنتیک (GA) را برای بهینه‌سازی تصمیمات شهرسازی با تأکید بر پایداری محیطی، عدالت اجتماعی و امکان‌سنجی اقتصادی به کار بردند. این مطالعات بنیادی، زمینه را برای تحولات بعدی در استفاده از الگوریتم‌ها در برنامه‌ریزی پایداری شهری فراهم کردند.

تکنیک‌های پیشرفتهٔ الگوریتمی (۲۰۲۱-۲۰۲۲)

از سال ۲۰۲۱ به بعد، شاهد تغییر محسوسی به سمت استفاده از الگوریتم‌های پیچیده‌تر، از جمله یادگیری تقویتی عمیق (DRL) و بهینه‌سازی بیزی، در بهینه‌سازی فرم‌های شهری بوده‌ایم. DRL به‌ویژه، فرآیندهای تصمیم‌گیری پویا و داده‌محور را معرفی کرد که تلاش‌های برنامه‌ریزی شهری را بهبود بخشید. برای مثال، پارخ و همکاران (۲۰۲۱) استفاده از DRL را برای بهینه‌سازی طرح‌های ساختمان بر اساس مصرف انرژی، انتشار کربن و آسایش حرارتی نشان دادند و ابزاری قدرتمند برای توسعهٔ محیط‌های شهری با بازدهی انرژی بالا ارائه کردند. به همین ترتیب، ماترن و همکاران (۲۰۲۱) از بهینه‌سازی بیزی برای بهینه‌سازی محدود چندهدفه در طراحی ساختمان استفاده کردند و کارایی آن را در کاهش اثرات زیست محیطی و هزینه‌های عملیاتی نشان دادند.

همزمان، تأکید فزاینده‌ای بر رویکردهای مشارکتی در بهینه‌سازی برنامه‌ریزی شهری وجود داشت. ویکی و همکاران (۲۰۲۱) یک مدل بهینه‌سازی چندهدفهٔ مشارکتی برای برنامه‌ریزی شهری در سنگاپور پیشنهاد دادند که در آن مشارکت ذی‌نفعان جزء ضروری فرآیند تصمیم‌گیری بود. این روند، نشان‌دهندهٔ حرکت گسترده‌تری به‌سوی شیوه‌های برنامه‌ریزی شهری فراگیرتر و شفاف‌تر بود که به‌دنبال گنجاندن دیدگاه‌های مختلف در فرایندهای تصمیم‌گیری است.

رویکردهای ترکیبی و یکپارچه‌سازی داده‌های بی‌درنگ (۲۰۲۳ تاکنون)

تا سال ۲۰۲۳، تکنیک‌های بهینه‌سازی ترکیبی، که چندین الگوریتم مانند الگوریتم‌های ژنتیک، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق را با هم ترکیب می‌کنند، در

تحقیقات برنامه‌ریزی شهری به شهرت رسیدند. این مدل‌های ترکیبی به‌منظور بهبود استحکام و کارایی فرآیندهای بهینه‌سازی، به‌ویژه برای مناطق شهری در مقیاس بزرگ با اهداف پیچیده و چندبعدی پایداری، طراحی شده‌اند. یک مثال قابل توجه، کار موسی و دیل (۲۰۲۳) است که از یک الگوریتم چندمعیاره ترکیبی برای بهینه‌سازی طرح‌های ساختمانی در سطح محله در راستای اهداف پایداری استفاده کردند. رویکرد آن‌ها با موفقیت اولویت‌های رقابتی مانند بهره‌وری انرژی، مقرون‌به‌صرفه بودن و ادغام اجتماعی را متعادل کرد.

روند مهم دیگر، ادغام داده‌های بلادرنگ و شبیه‌سازی‌های عملکرد با الگوریتم‌های بهینه‌سازی است. در سال ۲۰۲۴، پارخ و همکاران استفاده از یادگیری تقویتی عمیق را در ترکیب با داده‌های شهری بی‌درنگ برای بهینه‌سازی پویا عملکرد ساختمان در پاسخ به شرایط متغیر محیطی نشان دادند. این یکپارچه‌سازی امکان استراتژی‌های طراحی شهری تطبیقی‌تر و پاسخگوتر را فراهم می کند که می‌توانند به چالش‌های نوظهور شهری در زمان واقعی رسیدگی کنند.

در کنار تحولات اخیر در حوزهٔ الگوریتم‌های چندمعیاره، پژوهش‌های گسترده‌ای نیز در زمینهٔ تأثیر فرم شهری بر پایداری محیطی و آسایش حرارتی انجام شده است. این پژوهش‌ها را می‌توان بر اساس موضوع و هدف پژوهش به چند دستهٔ اصلی تقسیم‌بندی کرد:

۱. تأثیر فرم شهری بر میکرواقلیم و آسایش حرارتی

وی و همکاران (۲۰۱۶) با تحلیل مناطق مختلف شهر شانگهای، نشان دادند که پارامترهای ریخت‌شناسی شهری با متغیرهای میکرواقلیم ارتباط معناداری دارند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری بر شرایط محیطی و آسایش حرارتی شهروندان تأثیر زیادی دارد. وای یو و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی رابطهٔ بین دمای هوا و متغیرهای ریخت‌شناسی شهری، نشان دادند که کاشت فضای سبز کم‌ارتفاع دمای شب را کاهش می‌دهد. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری با توجه به پوشش گیاهی می‌تواند تأثیر مثبتی بر شرایط محیطی داشته باشد. ژو و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای دیگر، تأثیر چهار شاخص ریخت‌شناسی شهری (تراکم ساختمان، پوشش گیاهی، نسبت سطح کف و گنبد آسمان) بر دمای هوا را بررسی کردند و دریافتند که این شاخص‌ها تأثیر زیادی بر دمای هوا دارند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که طراحی فرم شهری به‌طور مستقیم بر شرایط محیطی و آسایش حرارتی شهروندان تأثیر می‌گذارد. عبدالسلام عثمان و احمد الشبول (۲۰۲۰) با بررسی تأثیر شکل شهری بر میکرواقلیم شهری، نشان دادند که فرم شهری بر راحتی حرارتی و شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) تأثیر زیادی دارد. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری می‌تواند به‌طور مستقیم بر آسایش حرارتی شهروندان تأثیر بگذارد. داوطلب و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی، نشان دادند که فضای سبز شرایط آسایش حرارتی را بهبود می‌خشد. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری با توجه به پوشش گیاهی تأثیر مثبتی بر آسایش حرارتی دارد.

ثناگردربانی و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی تأثیر هندسه خیابان بر خرداقلیم شهری، نشان دادند که تغییر در هندسهٔ خیابان بر آسایش حرارتی عابران پیاده تأثیر زیادی دارد. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری به‌طور مستقیم بر شرایط محیطی تأثیر می‌گذارد. کرمی‌راد و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی رابطهٔ بین دمای متوسط تابشی و آسایش حرارتی، نشان دادند که افزایش دمای متوسط تابشی به کاهش آسایش حرارتی منجر می‌شود. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری به‌طور مستقیم بر آسایش حرارتی شهروندان تأثیر می‌گذارد.

۲. تأثیر فرم شهری بر مصرف انرژی و پایداری محیطی

ژو و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی تأثیر تغییر سپیدایی روسازی بر دمای هوا و تقاضای انرژی ساختمان، دریافتند که افزایش سپیدایی باعث کاهش دمای هوا و کاهش انتشار کربن در محله‌های متراکم می‌شود.

این نتایج نشان می‌دهد که تغییرات در فرم شهری بر مصرف انرژی و پایداری محیطی تأثیر زیادی دارند. چن و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی رابطهٔ بین تقاضای انرژی و شاخص‌های ریخت‌شناسی شهری، نشان دادند که شاخص‌هایی مانند پوشش گیاهی، ارتفاع ساختمان و مساحت قطعه بر تقاضای انرژی ساختمان تأثیر زیادی دارند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری به‌طور مستقیم بر مصرف انرژی و پایداری محیطی تأثیر می‌گذارد. لنگ و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی تأثیر عوامل ریخت‌شناسی شهری بر مصرف انرژی گرمایش، نشان دادند که شاخص‌هایی مانند نسبت سطح کف و ارتفاع ساختمان بر مصرف انرژی تأثیر زیادی دارد. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری به‌طور مستقیم بر مصرف انرژی و پایداری محیطی تأثیر می‌گذارد.

۳. تأثیر فرم شهری بر کیفیت هوا و تهویه

حسن و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی تأثیر ریخت‌شناسی شهری بر کیفیت هوای بیرونی، نشان دادند که شاخص‌های مورفولوژیکی عمودی غلظت آلاینده‌های هوا را کاهش می‌دهند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری تأثیر زیادی بر کیفیت هوا و پایداری محیطی دارند. هی و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی تأثیر ریخت‌شناسی شهری بر تهویهٔ محوطه و جزایر گرمایی شهری، نشان دادند که ویژگی‌های مورفولوژیکی محوطه تأثیر زیادی بر تهویه و آسایش حرارتی دارند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری به‌طور مستقیم بر شرایط محیطی و آسایش حرارتی شهروندان تأثیر می‌گذارد.

۴. تأثیر فرم شهری بر ظرفیت خورشیدی و انرژی خورشیدی

مرگانتی و همکاران (۲۰۱۷) با شناسایی شاخص‌های ریخت‌شناسی شهری، نشان دادند که شاخص‌هایی مانند نسبت نما به مکان و عامل آسمان، همبستگی بالایی با در دسترس بودن خورشید در نمای بنا دارند. این یافته‌ها در توسعهٔ ابزارهای ارزیابی عملکرد خورشیدی در طراحی شهری استفاده می‌شوند. زو و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی تأثیر تراکم ساختمان و نوسان ارتفاعات ساختمان بر ظرفیت خورشیدی، نشان دادند که تراکم بالای ساختمان‌های بلند ظرفیت خورشیدی را افزایش می‌دهند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری به‌طور مستقیم بر پایداری محیطی تأثیر می‌گذارد.

۵. تأثیر فرم شهری بر شکل‌گیری بافت‌های شهری و سیمای شهری

جمالی (۲۰۱۲) در پژوهش‌های خود نشان داد که گونه‌های مختلف مسکن تأثیر زیادی بر شکل‌دهی حوزه‌های مورفولوژیک سطح شهر دارند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری به‌طور مستقیم بر شکل‌گیری بافت‌های شهری تأثیر می‌گذارند.

۶. تأثیر فرم شهری بر پایداری محیطی و اجتماعی

چنگلوایی و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی رابطهٔ بین شاخص بسته‌شدگی و پایداری محیطی، نشان دادند که بافت‌های قدیمی با ساختار ارگانیک پایداری بالاتری دارند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری به‌طور مستقیم بر پایداری محیطی تأثیر می‌گذارد. احمدپور کلهرودی و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی تأثیر عناصر الحاقی نما بر آسایش حرارتی، نشان دادند که ایجاد سایه تأثیر زیادی بر آسایش حرارتی عابران پیاده دارند. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که طراحی فرم شهری به‌طور مستقیم بر آسایش حرارتی شهروندان تأثیر می‌گذارد.

تغییرات نظری و عملی

یک تغییر نظری قابل توجه در پژوهش‌های اخیر پایداری شهری، گذار از مدل‌های بهینه‌سازی تک‌هدفه به چهارچوب‌های چندهدفه بوده است که به موازنه‌های ذاتی در متعادل کردن اهداف پایداری توجه بهتری می‌کنند. این گذار در برنامه‌ریزی شهری بسیار مهم است، جایی که برنامه‌ریزان باید به عوامل زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی توجه کنند. الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندمعیاره، به‌ویژه در پرداختن به این موازنه‌ها، با ارزیابی چندین گزینهٔ طراحی شهری و توصیهٔ پایدارترین نتایج، مفید بوده‌اند.

علاوه بر این، افزایش اتکا به تکنیک‌های داده‌محور، از جمله یادگیری ماشین و هوش مصنوعی، دقت و کارایی فرآیندهای بهینه‌سازی را افزایش داده و امکان ایجاد استراتژی‌های بهینه‌سازی دقیق‌تر و پیچیده‌تر را فراهم کرده است که منعکس‌کنندهٔ ماهیت چندوجهی پایداری شهری است.

بهینه‌سازی فرم‌های شهری پایدار با استفاده از الگوریتم‌های چندمعیاره در سال‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیری داشته است، به‌طوری که پژوهش‌های گسترده نشان می‌دهد طراحی فرم شهری تأثیر زیادی بر شرایط محیطی، مصرف انرژی، کیفیت هوا و شکل‌گیری بافت‌های شهری دارد. تحولات کلیدی در این زمینه شامل افزایش پیچیدگی الگوریتم‌ها، ادغام داده‌های بی‌درنگ و مشارکت فرآیندهای مشارکتی در برنامه‌ریزی شهری بوده است، درحالی‌که پژوهش‌های جدید بر ادغام سیستم‌های بهینه‌سازی ترکیبی و داده‌محور متمرکز شده و تأکید می‌کند که طراحی فرم شهری با توجه به شاخص‌های ریخت‌شناسی به‌طور مستقیم بر پایداری محیطی و کیفیت زندگی شهروندان تأثیر می‌گذارد؛ این روند گسترده به‌سمت شهرهای پایدارتر و انعطاف‌پذیرتر حرکت می‌کند و پژوهش‌های آتی احتمالاً بر مقیاس‌بندی این مدل‌ها برای کاربردهای در مقیاس بزرگ و پالایش یکپارچه‌سازی معیارهای مختلف پایداری متمرکز خواهد شد که پتانسیل متحول کردن برنامه‌ریزی شهری و ایجاد شهرهای پایدارتر برای نسل‌های آینده را دارد.

۳- روش پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی-توسعه‌ای محسوب می‌شود. ماهیت کاربردی آن در تلاش برای ارائهٔ یک الگوریتم عملی برای ساماندهی شکل شهری و حل مشکلات واقعی در زمینهٔ دسترسی به نور خورشید و بهینه‌سازی انرژی در شهر بهارستان نهفته است. جنبهٔ توسعه‌ای آن نیز به‌دلیل ارائهٔ یک رویکرد نوین مدل‌سازی پارامتریک و الگوریتمی برای طراحی شهری است که قابلیت تعمیم و استفاده در سایر مناطق با شرایط مشابه را دارد. از نظر روش پژوهش، این مطالعه ترکیبی از روش‌های اسنادی، تحلیلی و مدل‌سازی را به کار می‌گیرد.

۳/۱. علت استفاده از الگوریتم‌های چندمعیاره

انتخاب الگوریتم‌های چندمعیاره برای بهینه‌سازی فرم شهری پایدار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مسائل طراحی شهری به‌ندرت تک‌بعدی هستند و اغلب شامل اهداف متضاد و پیچیده‌ای می‌شوند. برای مثال، حداکثرسازی زیربنا ممکن است با حفظ دسترسی به نور خورشید یا ایجاد فضای سبز کافی در تضاد باشد. الگوریتم‌های چندمعیاره، از جمله الگوریتم والاسی (Wallacei) که در این پژوهش به کار گرفته شده است، این امکان را فراهم می‌آورند تا چندین هدف (نظیر حداکثرسازی زیربنا، مساحت حیاط، بهره‌مندی از انرژی خورشیدی و گنبد آسمان) به‌طور همزمان مورد بهینه‌سازی قرار گیرند و مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینه (پارتو) ارائه شود. این رویکرد امکان انتخاب بهترین گزینه را بر اساس اولویت‌ها و محدودیت‌های خاص فراهم می‌کند و به طراحان شهری ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌گیری در مسائل پیچیده ارائه می‌دهد.

۳/۲. روش استخراج داده‌ها و استانداردهای مورد استفاده

در مرحلهٔ مدل‌سازی، ۵۰۰۰ شبیه‌سازی با الگوریتم چندمعیار والاسی انجام شد تا بهینه‌ترین الگوی چیدمان شهری برای حداکثر کردن میزان زیربنا و مساحت حیاط برای بلوک‌های مسکونی انتخاب شود. پس از انتخاب یکی از گزینه‌های بهینه، تحلیل‌های انرژی تابشی خورشید، پوشش گنبد آسمان و میزان ساعات دسترسی به نور خورشید در فضای باز شهری انجام گرفت.

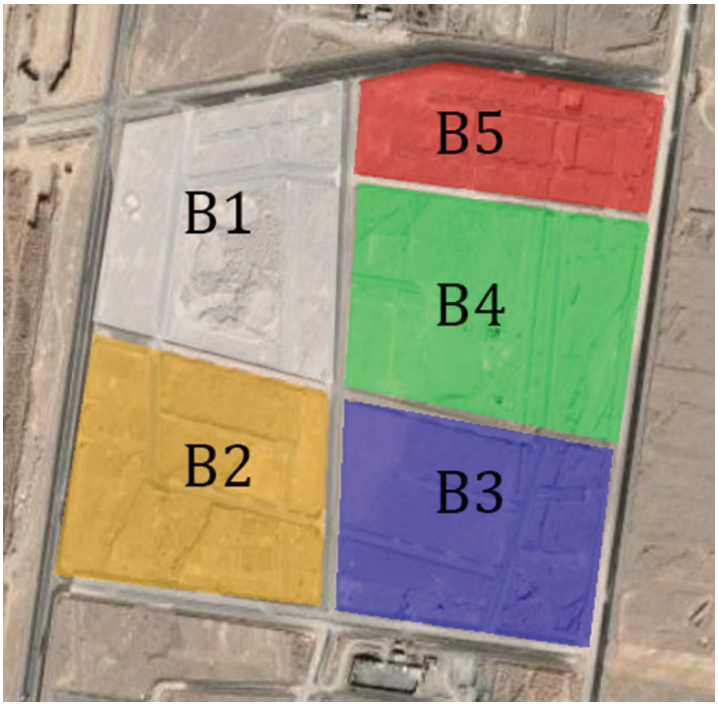
نمونهٔ مطالعاتی پژوهش شهر بهارستان، واقع در اصفهان، ایران (51E, 32N) است. داده‌های آب‌وهوایی شهر بهارستان از نرم‌افزار متئورم (Meteonorm) استخراج و با داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (فرودگاه شهید بهشتی اصفهان) اعتبارسنجی شده‌اند.

۳/۲/۱. روش محاسبهٔ پوستهٔ پارامتریک خورشیدی

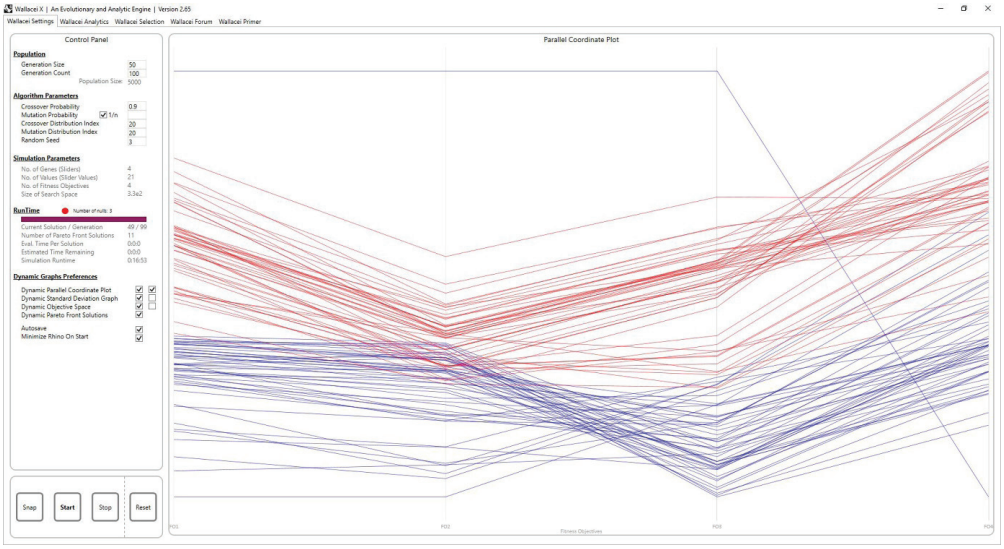
محاسبهٔ پوستهٔ پارامتریک خورشیدی تعریف

شرایط دسترسی مستقیم به نور خورشید نیازمند است. این شرایط بر اساس وضعیت آب‌وهوایی و ویژگی‌های سایت مورد مطالعه تعیین می‌شوند. مراحل محاسبه به شرح زیر است:

- مدل‌سازی سایت: ابتدا یک مرز دوبعدی (2D) از سایت موردنظر در نرم‌افزار راینو (Rhinoceros) مدل‌سازی می‌شود.
- تعیین شرایط محیطی: یک پرونده آب‌وهوایی (EPW) به پلاگین لیدیباگ (Ladybug) وارد می‌شود. شرایط تابش آفتاب و حداقل دما برای مدل‌سازی تعیین می‌شود. در این پژوهش، حداقل دمای هوا برای ایجاد آسایش حرارتی ۲۰ درجه سانتیگراد و حداقل انرژی دریافتی از خورشید ۴۷۵ w/m^2 در روز ۲۱ دسامبر (کوتاه‌ترین روز سال) در نظر گرفته شده است.
- تعیین مرز سایه‌اندازی: سایت موردنظر به همراه ساختمان‌ها و محیط اطراف به پلاگین لیدیباگ شناسانده می‌شود تا ارتفاع مرز سایه بر ساختمان‌های اطراف مشخص شود. به‌دلیل کاربری مسکونی اطراف سایت و نیاز به نور روز، مرز سایه‌اندازی در ارتفاع حداقل ۱٫۵ تا ۲ متر بالاتر از سطح زمین در نظر گرفته شده است.
- تعیین زمان مدل‌سازی: زمان مدل‌سازی به‌دلیل شرایط بحرانی آسایش در روز ۲۱ دسامبر (کوتاه‌ترین روز سال) از ساعت ۸ تا ۱۶ در نظر گرفته شده است.
- تولید پوستهٔ خورشیدی: یک چندضلعی هندسی با حداکثر ارتفاع ۳۰ متر ایجاد می‌شود که در بخش یافته‌ها، میزان ساعت برخورداری ساختمان‌های مجاور و سطوح از نور خورشید و میزان انرژی دریافتی ساختمان‌ها و سطوح زمین بر اساس قوانین شهری اصفهان و مدل‌سازی پوسته خورشیدی بر اساس ۵۰ درصد عرصهٔ زمین مورد بررسی قرار می‌گیرد.

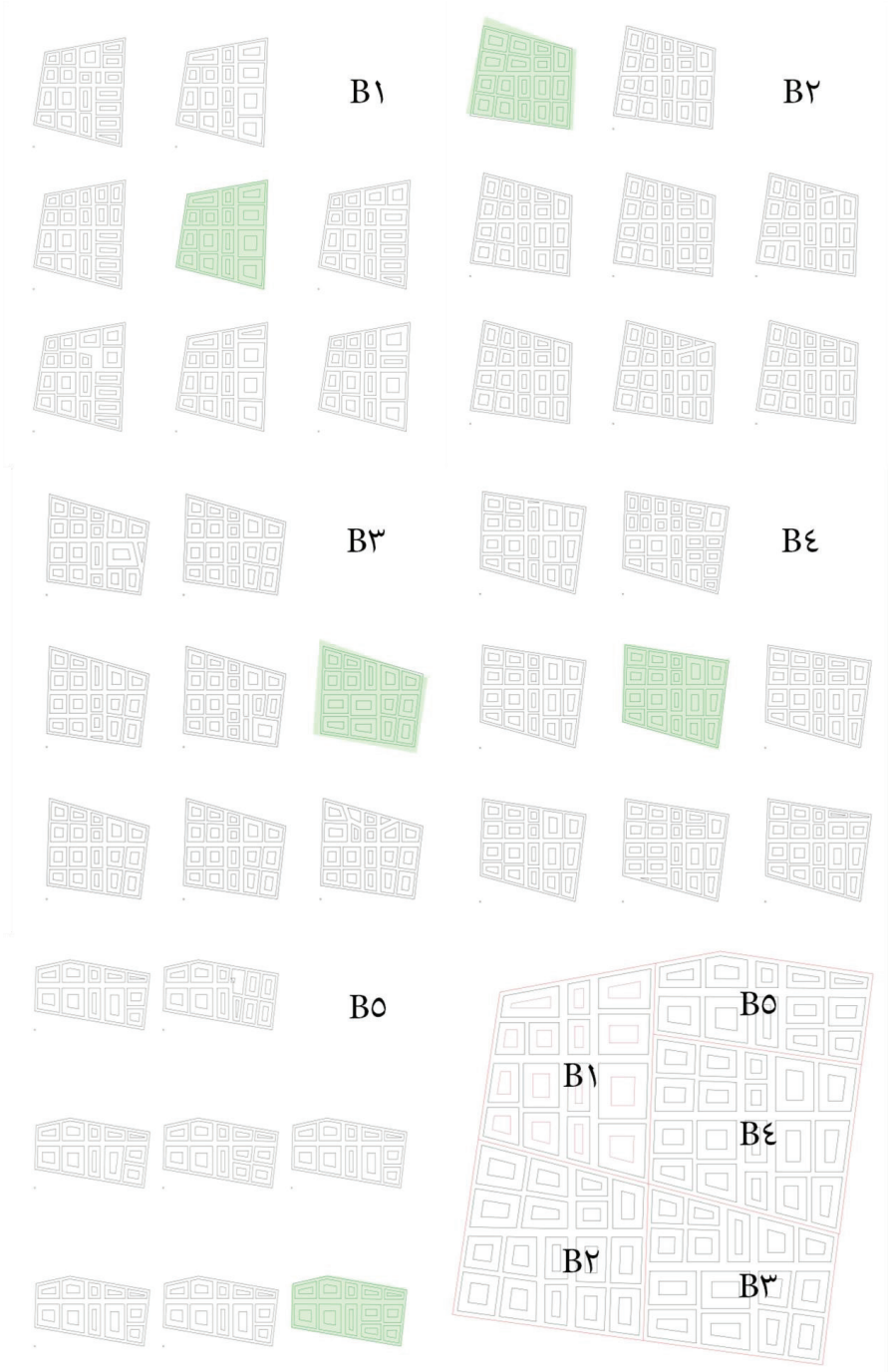


تصویر شمارهٔ (۱): محدودهٔ مورد مطالعه و تقسیم‌بندی آن به بلوک‌های شهری کوچک‌تر، (مأخذ نگارنده)

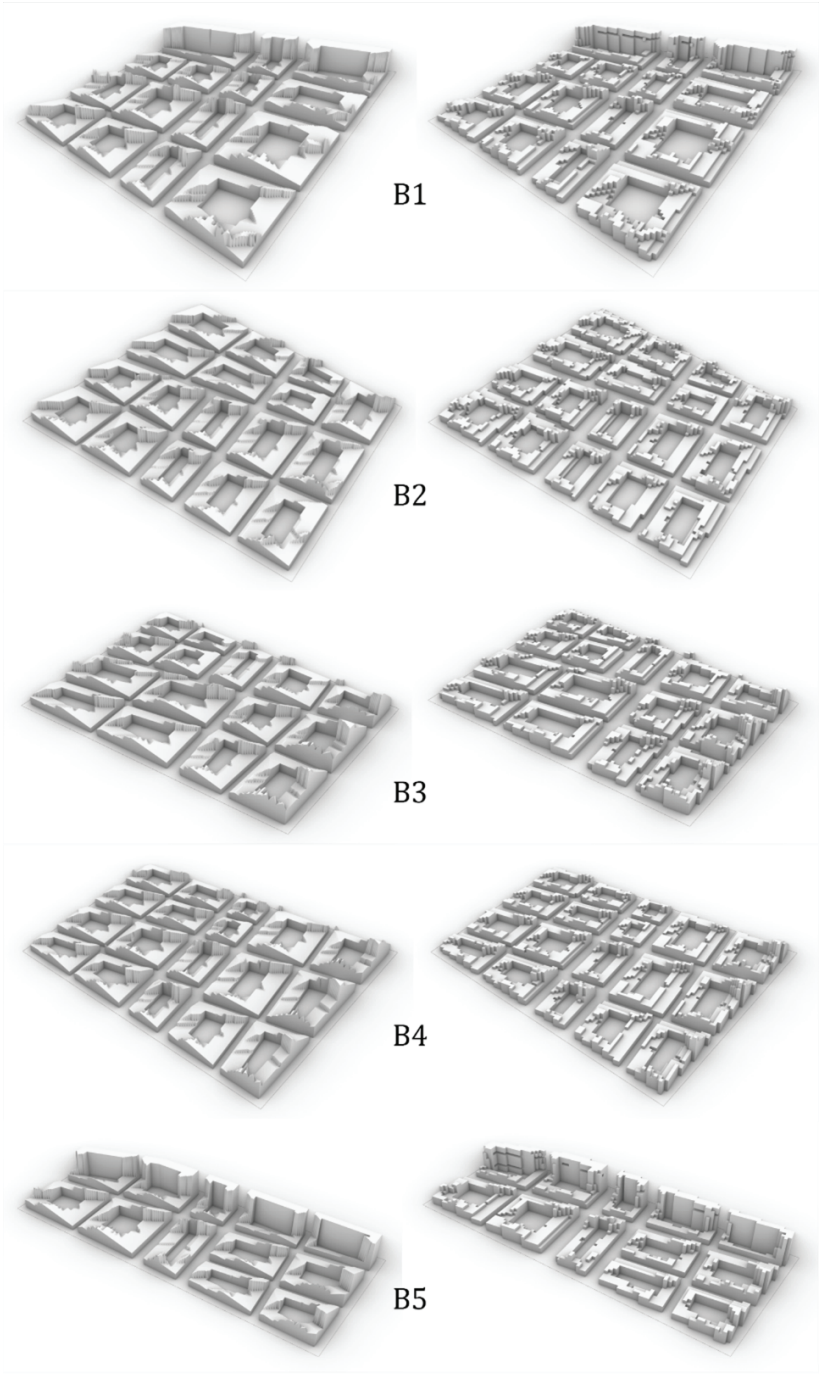


تصویر شمارهٔ (۲): مدل‌سازی چندمعیاره توسط پلاگین والاسی، (مأخذ نگارنده)

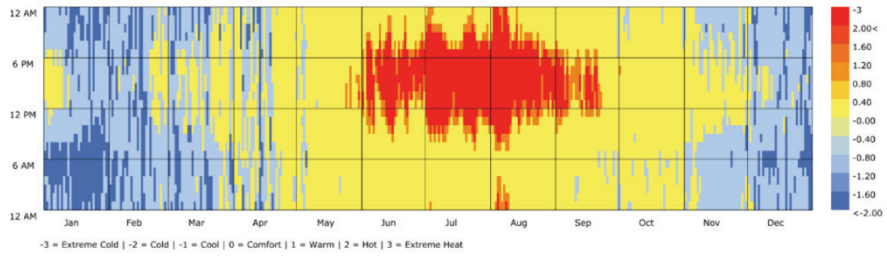
تصویر شمارهٔ (۳): مدل‌سازی چندهدفه بر اساس چهار پارامتر حداکثر (میزان کل ساخت، میزان حیاط برای بلوک‌های ساختمانی، میزان ساختمان‌های طراحی با روش پوستهٔ خورشیدی، میزان بهینهٔ ساخت)، (مأخذ نگارنده)



تصویر شمارهٔ (۴): حالت‌های بهینه برای بلوک‌های ۱ -۵ و حالت انتخابی در هر بلوک و نقشهٔ نهایی کل محدوده، (مأخذ نگارنده)



تصویر شمارهٔ (۵): محاسبهٔ پوسته‌های خورشیدی (چپ) و حجم نهایی ساختمان‌ها (راست) در بلوک‌های ۱-۵، (مأخذ نگارنده)



تصویر شمارهٔ (۶): نمودار آسایش در فضای باز در طول سال برای شهر بهارستان، (مأخذ نگارنده)

۳٫۳. مدل‌سازی

در این پژوهش، محدوده‌ای به مساحت ۳۵ هکتار در شهر بهارستان اصفهان، طبق تقسیم‌بندی شهرداری منطقه، به ۵ بلوک کوچک‌تر تقسیم شد. برای مدل‌سازی از نرم‌افزار راینو ۶ سری SR30 و برای مدل‌سازی الگوهای پارامتریک از افزونهٔ گرس‌هاپر ورژن ۱ استفاده شده است. همچنین، برای مدل‌سازی پارامتریک زمین‌های شهری از پلاگین دیکودینگ‌اسپیس ورژن ۲۰۲۰ (DecodingSpaces 2020) استفاده شد.

در مرحله اول، پس از مشخص کردن محدوده شهری و تقسیم‌بندی آن به ۵ بلوک کوچکتر (تصویر شمارهٔ ۱)، مدل‌سازی آغاز شد. سپس، مدل‌سازی پارامتریک چندمعیاره با افزونه والاسی (تصویر ۲ و ۳) به تعداد ۵۰ گزینه در ۱۰۰ نسل و در مجموع ۵۰۰۰ مدل‌سازی انجام شد. در نهایت، برای هر محدوده ۸ گزینه با در نظر گرفتن حداکثر قابلیت ساخت و حداکثر میزان حیاط در ساختمان‌ها انتخاب شد (تصویر شمارهٔ ۴).

پس از مشخص شدن شکل، اندازه و چیدمان زمین‌های ایجادشده توسط برنامه، با در نظر گرفتن خط سایه در ارتفاع ۱٫۵ تا ۲ متری در زمین‌های مجاور و حداکثر ارتفاع قابل ساخت ۳۰ متر از سطح زمین برای هر پلاک ساختمانی، سازه فضایی پوسته خورشیدی برای هر ساختمان در روز ۲۱ دسامبر (کمترین زاویه تابش خورشید) مشخص شد. این اقدام، محدودهٔ مجاز برای حجم هر ساختمان در بلوک‌های شهری را تعیین کرد.

در مرحله بعد، با قرار دادن هر حجم پوسته خورشیدی در وکسل‌هایی با ابعاد ۳ متر، حجم نهایی ساختمان بدون اینکه پس از ساخت مانع رسیدن نور خورشید در زمستان شود، به دست آمد (تصویر شمارهٔ ۵).

۵- یافته‌های پژوهش

در بررسی طرح موجود نخست باید به تحلیل اطلاعات آب‌وهوایی شهر بهارستان که از داده‌های نرم‌افزار متنورم برای شهر بهارستان استخراج و با اعتبارسنجی این اطلاعات با داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به این شهر که ایستگاه فرودگاه شهید بهشتی اصفهان است دقت کرد. در این داده‌ها می‌توان ملاحضه کرد که از نظر شاخص آسایش در محیط باز شهر بهارستان در نزدیک به شش ماه سال نیاز به تابش مستقیم آفتاب در طول روز و همین‌طور در چهار ماه از سال به ایجاد سایه برای ایجاد آسایش در محیط باز برای کاربران شهری نیاز است (تصویر شمارهٔ ۶).

۵-۱- ارزیابی مساحت طبقات قابل ساخت در مدل‌سازی

برای دسته‌بندی فضاهای قابل ساخت در این روش نخست کل فضای قابل ساخت در هر ساختمان و در نهایت هر بلوک شهری محاسبه و سپس فضای سبز (حیاط) نیز اندازه‌گیری شده و در مرحلهٔ بعد فضاهایی که مساحتی بیشتر از ۱۵۰ مترمربع دارند فیلتر شده که تعداد واحدهای هر بلوک شهری به دست می‌آید، در ادامه، می‌توان فضاهایی که کمتر از ۱۵۰ مترمربع

جدول شمارهٔ (۱): میزان مساحت ایجادشده برای ساخت‌وساز در محدوده، (مأخذ نگارنده)

بلوک	مساحت بلوک شهری (مترمربع)	زیربنای قابل ساخت (مترمربع)	مساحت حیاط (متر مربع)	مساحت واحدهای بالا ۱۵۰ مترمربع (مترمربع)	تعداد واحدها	مساحت برای سایر کاربری‌ها (مترمربع)	تراکم قابل ساخت (درصد)	نسبت تعداد واحد به کل زمین شهری
B۱	۷۶,۶۱۱/۷۹	۱۲۲,۲۲۸/۹۹	۱۴,۱۹۲/۹۹	۱۱۸,۱۶۰/۹۹	۷۱۶	۴,۰۶۸	۱/۶۰	۱۰۷/۰۰
B۲	۷۷,۶۷۶/۴۹	۹۵,۵۰۷/۹۹	۱۴,۵۵۳/۰۰	۹۰,۴۸۵/۹۹	۵۴۸	۵,۰۲۲	۱/۲۳	۱۴۱/۷۵
B۳	۶۸,۸۱۹/۸۴	۸۸,۹۳۷/۹۹	۱۳,۱۹۴/۰۰	۸۴,۸۵۱/۹۹	۵۱۴	۴,۰۸۶	۱/۲۹	۱۳۳/۸۹
B۴	۸۲,۵۱۹/۸۶	۱۰۸,۲۹۶/۹۹	۱۵,۴۶۲/۰۰	۱۰۲,۵۰۹/۹۹	۶۲۱	۵,۷۸۷	۱/۳۱	۱۳۲/۸۸
B۵	۴۸,۳۵۷/۵۹	۸۰,۳۲۵/۰۰	۸,۴۴۱/۹۹	۷۷,۸۴۱/۰۰	۴۷۱	۲,۴۸۴	۱/۶۶	۱۰۲/۶۷
جمع	۳۵۳,۹۸۵/۵۷	۴۹۵,۲۹۶/۹۶	۶۵,۸۴۳/۹۸	۴۷۳,۸۴۹/۹۶	۲,۸۷۰	۲۱,۴۴۷	۱/۴۰	۱۲۳/۳۴

مساحت دارند را به دست آورد و به کاربری‌های عمومی مورد نیاز هر ساختمان اختصاص داد و یا آن قسمت‌ها را حذف کرد. مقدار ۱۵۰ مترمربع قابل تغییر بوده و می‌تواند به دلخواه طراحان برای طراحی واحدهای آپارتمانی تغییر کند. در جدول شمارهٔ (۱) مقدار مساحت ایجاد شده در این روش به‌طور کامل عنوان شده است.

۵-۲- میزان انرژی دریافتی از خورشید در فضای باز

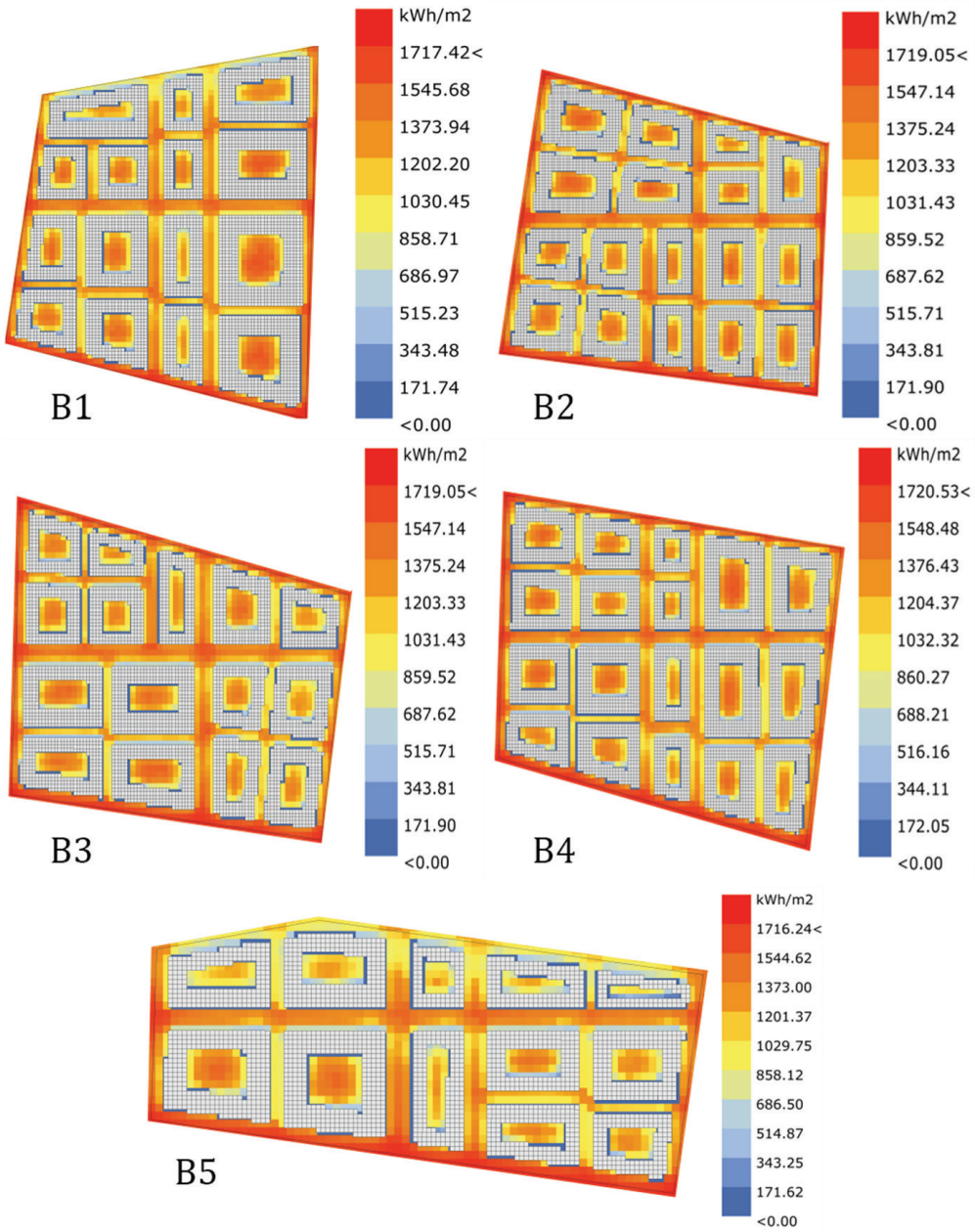
بلوک‌های شهری بعد از ایجاد حجم ساختمان‌ها از نظر فاکتور انرژی دریافتی از خورشید در محدودهٔ زمانی یک سال تحلیل شد که نشانگیر این مطلب است که در تمام پنج بلوک مورد بررسی می‌توان بالای ۹۵ درصد از مساحت فضای باز را مشاهده کرد که انرژی بیشتر از ۱۰۰۰ کیلوات ساعت بر متر مربع انرژی دریافتی دارند که می‌توان با تدابیری درست در مراحل نهایی طراحی در هر واحد مسکونی به تامین برق مناسبی دست یافت و به میزان زیادی به پایداری انرژی و آسایش در فضای باز در محدوده‌های شهری با توجه به کاستی‌های اخیر نزدیک شد (تصویر شمارهٔ ۷).

۵-۳- دسترسی به گنبد آسمان

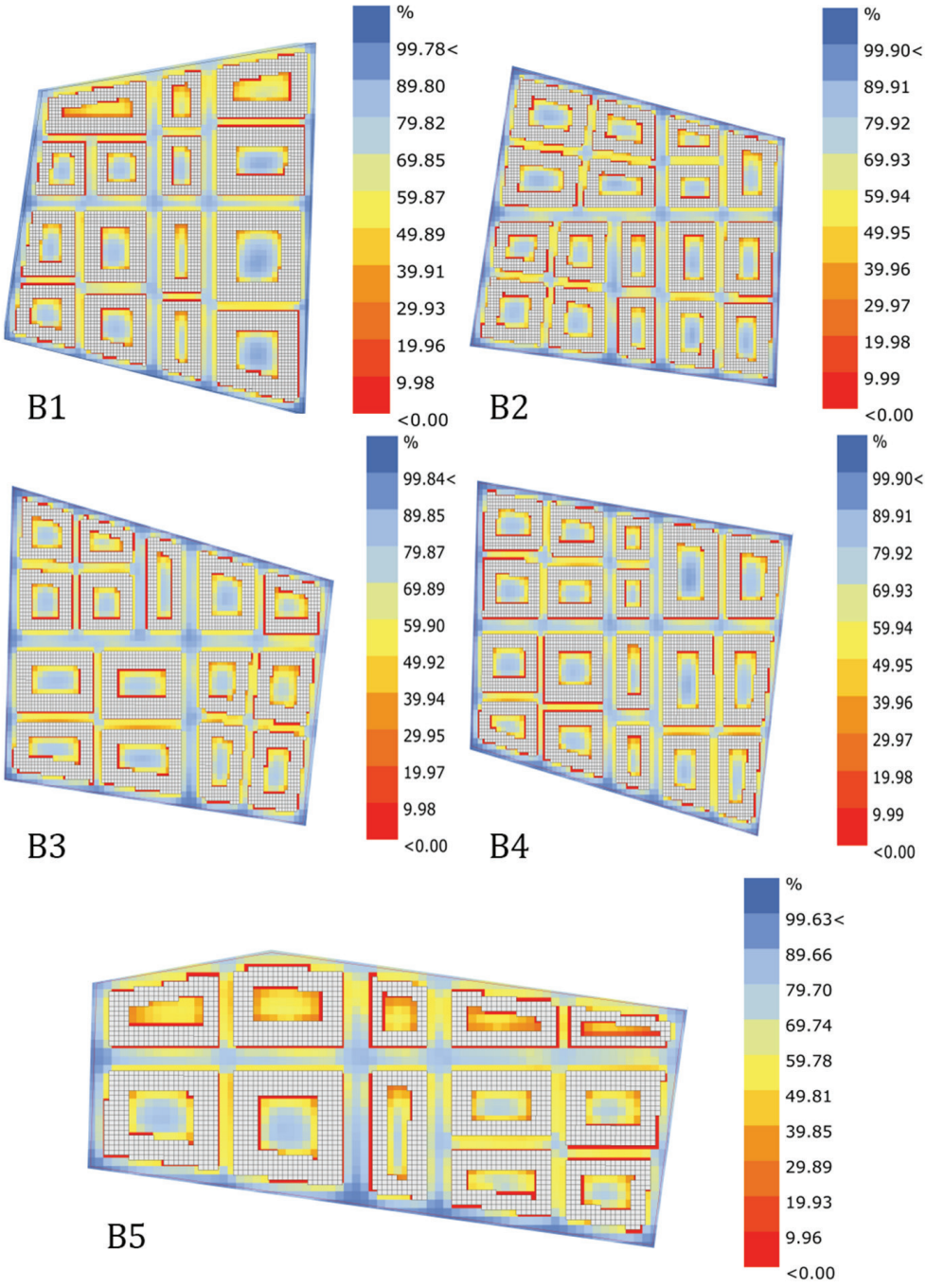
دسترسی به گنبد آسمان پارامتری است که به میزان زیادی در طراحی پلان هر واحد مسکونی در مراحل نهایی طراحی مؤثر است، به شکلی که می‌توان نقاطی را که در طول سال به گنبد آسمان دسترسی دارند محاسبه کرد و همین امر باعث کمک بیشتر به طراح برای جانمایی اتاق‌ها و در نهایت بهره‌گیری بیشتر از نور طبیعی در طراحی می‌شود. همین‌طور که در نمودارها مشاهده می‌شود در این روش طراحی، می‌توان با متوسط بالا ۷۰ درصد از گنبد آسمان در فضای باز و طراحی پلان در طول کل سال استفاده کرد (تصویر شمارهٔ ۸).

۵-۴- ساعات برخورداری از نور خورشید

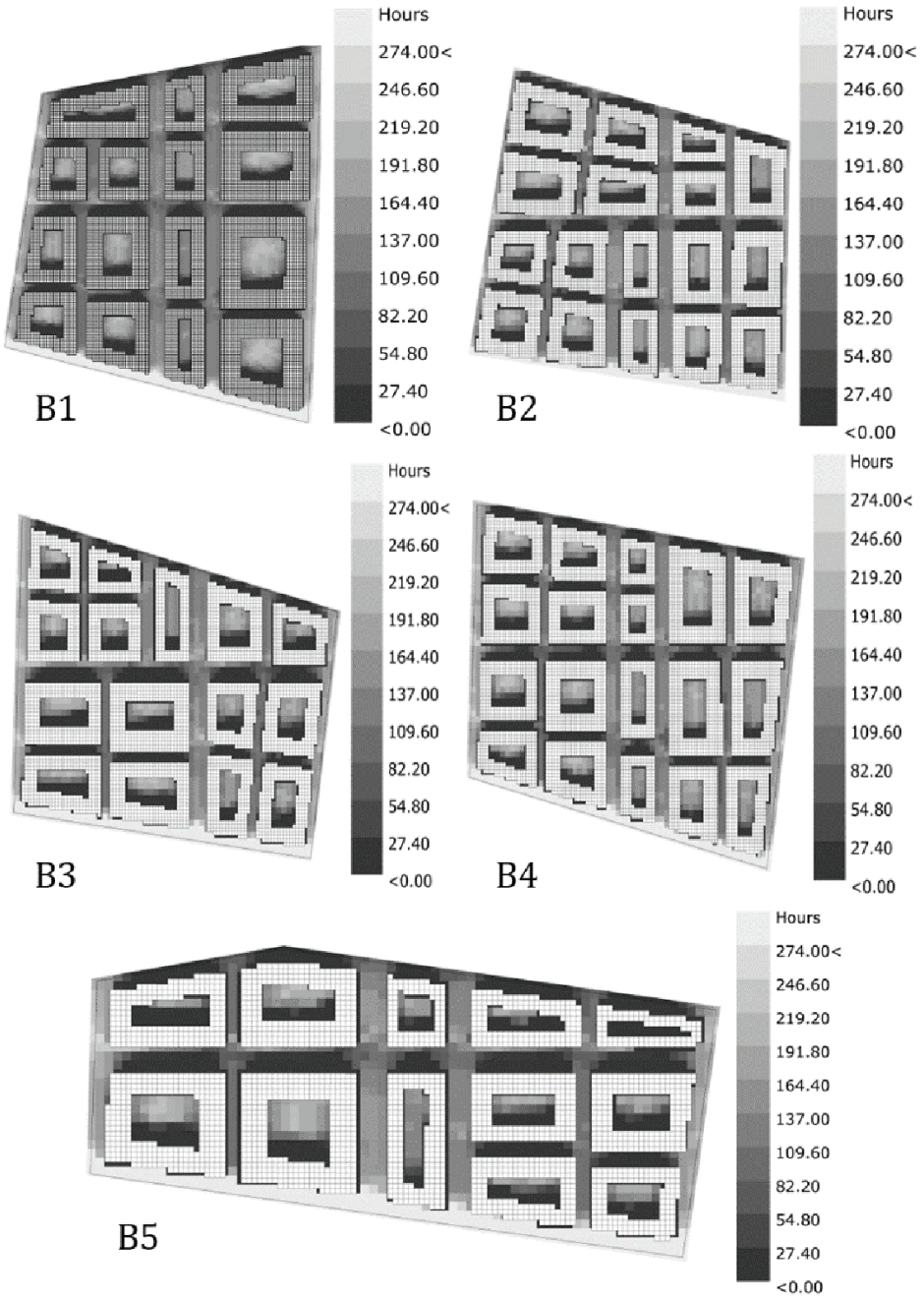
ساعات برخورداری از نور خورشید عبارت است از میزان ساعاتی در طول دورهٔ زمانی که محدودهٔ مورد بررسی از دسترسی به نور خورشید برخوردار است. در تحلیل‌های انجام‌گرفته در دورهٔ زمانی ماه دسامبر که کمترین طول روز را شاهد هستیم، می‌توان مشاهده کرد که در این روش تقریباً تمام نقاط محیط شهری در طول این ماه که بحرانی‌ترین دوره زمانی در سال است،



تصویر شمارهٔ (۷): نمودار میزان انرژی دریافتی از خورشید در فضای باز شهری در بلوک‌های شماره ۱-۵، (مأخذ نگارنده)



تصویر شمارهٔ (۸): نمودار پوشش گنبد آسمان در طراحی بلوک‌های شماره ۱-۵، (مأخذ نگارنده)



تصویر شمارهٔ (۹): نمودار ساعات برخورداری از نور مستقیم خورشید بلوک‌های شمارهٔ ۱-۵، (مأخذ نگارنده)

بیش از ۳۵ ساعت از نور مستقیم خورشید برخوردارند و این یک نکتهٔ بسیار مثبت در این روش عنوان می‌شود (تصویر شمارهٔ ۹).

۶- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، با بهره‌گیری از فنون طراحی پارامتریک و الگوریتم‌های چندمعیاره، به ارائهٔ یک چهارچوب جامع برای بهینه‌سازی فرم شهری پایدار در شهر بهارستان اصفهان پرداخت. استفاده از نرم‌افزار گرس‌هاپر و الگوریتم ژنتیک والاسی، امکان تولید و ارزیابی ۵۰۰۰ مدل مختلف را فراهم کرد که در نهایت به شناسایی الگوهای بهینهٔ چیدمان شهری منجر شد.

مقایسه با ادبیات موجود و نوآوری پژوهش:

نتایج این پژوهش با یافته‌های مطالعات پیشین در زمینهٔ تأثیر فرم شهری بر پایداری محیطی، به‌ویژه دسترسی به نور خورشید و آسایش حرارتی، همخوانی زیادی دارد. مطالعاتی نظیر مرگانتی و همکاران (۲۰۱۷) و زو و همکاران (۲۰۲۰) نیز بر اهمیت شاخص‌های ریخت‌شناسی شهری بر ظرفیت خورشیدی تأکید کرده‌اند. این پژوهش با ارائهٔ یک رویکرد جامع، توانست به‌طور همزمان چندین هدف متعارض شامل حداکثرسازی زیربنا، مساحت حیاط، و بهینه‌سازی دسترسی به نور خورشید را در فرآیند طراحی شهری محقق کند. این دستاورد در مقایسه با مطالعاتی که تنها بر یک یا دو معیار تمرکز دارند، یک نوآوری محسوب می‌شود.

نوآوری اصلی این پژوهش در ارائهٔ الگوریتمی یکپارچه و بهینه با اقلیم محلی برای ساماندهی شکل شهری است که به‌طور همزمان به چندین هدف متعارض در طراحی شهری پایدار، ازجمله افزایش حجم ساختمان، بهینه‌سازی دسترسی به نور مستقیم خورشید، تأمین آسایش حرارتی در محیط باز، و کاهش مصرف انرژی می‌پردازد. این رویکرد، قابلیت‌های الگوریتم‌های چندمعیاره را در مواجهه با پیچیدگی‌های طراحی شهری در مناطق با اقلیم خاص، به‌صورت عملیاتی نشان می‌دهد. همچنین، توانایی این روش در ایجاد فضاهای شهری با بهره‌مندی بسیار بالا از شاخص‌های انرژی تابشی خورشید (بیش از ۱۰۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع برای ۹۵ درصد مناطق) و دسترسی به گنبد آسمان (بیش از ۷۰ درصد در فضاهای باز و داخلی)، و همچنین ساعات برخورداری از نور خورشید (بیش از ۳۵ ساعت در کوتاه‌ترین ماه سال)، نشان‌دهندهٔ کارایی بالای مدل پیشنهادی است که به‌عنوان ابزاری قدرتمند در اختیار کارشناسان حوزهٔ شهری قرار می‌گیرد. این نتایج به‌طور مستقیم به چالش‌های مطرح‌شده در خصوص مصرف انرژی و آلودگی هوا در شهرهایی نظیر اصفهان (Shoshtari et al, 2018 ؛ Mehdizadeh Seraj, et al, 2019) پاسخ می‌دهد.

روش ارائه‌شده نشان داد که هم می‌تواند امکان ایجاد فضای سبز شهری در طبقات ارتفاعی ساختمان را تأمین کند و هم به‌صورت بسیار بالایی نیاز به نور طبیعی روز را در فضای باز شهری و همچنین ساختمان‌های شهری برطرف کند. در طرح ارائه‌شده، شاخص دسترسی به گنبد آسمان با متوسط بالای ۷۰ درصد تأمین می‌شود. همچنین، در طول سال ۹۵ درصد فضای باز شهری بیش از ۱۰۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع انرژی خورشیدی دریافت می‌کند. علاوه بر این، در بحرانی‌ترین ماه سال، یعنی دسامبر (کوتاه‌ترین ماه سال از نظر طول روز)، در اکثر مناطق طرح حداقل بالای ۳۵ ساعت دسترسی به نور خورشید وجود دارد که میزان زیادی است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که با تغییر پارامترهای طراحی، می‌توان به مدل‌های متفاوتی دست یافت و با بهینه‌سازی، طراحان را در انتخاب گزینهٔ مناسب از میان چندین گزینهٔ بهینه معرفی شده، یاری کرد.

مشارکت علمی و کاربردهای عملی:

این پژوهش با ارائهٔ الگوریتمی کارآمد برای بهینه‌سازی فرم شهری پایدار، نه‌تنها به غنای دانش در حوزهٔ طراحی پارامتریک و الگوریتم‌های چندمعیاره می‌افزاید، بلکه یک ابزار عملی برای برنامه‌ریزان و طراحان شهری فراهم می‌آورد. این رویکرد می‌تواند به کاهش مصرف انرژی، بهبود آسایش حرارتی، و ارتقای کیفیت فضاهای شهری در شهرهای در حال توسعه کمک کند و زمینه را برای ایجاد شهرهای پایدارتر و انعطاف‌پذیرتر برای نسل‌های آینده فراهم آورد.

۷- پیشنهادها

می‌توان برای هرچه کامل‌تر شدن طرح ارائه‌شده و تسهیل استفاده در دیگر مناطق جغرافیایی پیشنهادهایی مطرح کرد که عبارت‌اند از:

- ایجاد واحدهای آپارتمانی با مساحت بالای ۱۵۰ متر مربع؛
- ایجام بام‌های سبز برای جبران نبود حیاط مستقل در واحدهای آپارتمانی؛
- امکان متغیر بودن مساحت واحدهای مسکونی با توجه به مکان قرارگیری در جبهۀ شمالی، جنوبی، شرقی یا غربی بودن آن‌ها و افزایش مساحت واحدهایی که به نور مستقیم جنوب دسترسی کامل ندارند؛
- طراحی برای به حداکثر رساندن مساحت ساختمان و مساحت حیاط در ساختمان‌ها؛
- طراحی و جای‌گذاری سایر کاربری‌های مورد نیاز در بلوک‌های ساختمانی با توجه به محاسبات اولیۀ طراحی؛
- طراحی حیاط بلوک‌های ساختمانی بر اساس نیاز واقعی ساکنان و در نتیجه راندمان بالاتر در فضای سبز هر منطقه؛
- کاهش هزینه‌های ساخت با به حداقل رساندن مشاعات و خدمات و در نتیجه کاهش قیمت تمام‌شدۀ مسکن؛
- ایجاد تغییر در خط سایۀ ساختمان‌های مجاور برای تأمین بیشتر نور روز در آن‌ها برای کاربری‌های خاص؛
- ایجاد فضای سبز با فاصله نسبت به ساختمان برای به حداکثر رساندن بهره‌وری از نور خورشید در واحدهای شرقی، غربی و شمالی؛
- کاهش هزینۀ ایجاد زیرساخت‌های شهری ازجمله فضای سبز با تبدیل شدن فضاهای سبز به حیاط واحدهای مسکونی؛
- بالا بردن سطح کیفیت سیمای شهری با ایجاد فضای سبز در طبقات؛
- ایجاد الگوی مناسب با فرهنگ هر منطقه برای طرح‌های کلان انبوه‌سازی مسکن؛
- نصب پنل‌های خورشیدی در سطح نمای ساختمان‌ها برای تأمین میزان زیادی از انرژی مصرفی با توجه به دریافت بالای نور خورشید در طراحی.

در پایان می‌توان ذکر کرد که امروزه برنامه‌نویسی در نرم‌افزارهای طراحی امکاناتی همچون طراحی در محیطی برپایۀ گرافیک روان رایانه‌ای را ارائه می‌دهد. همین امکانات باعث می‌شود طراحان در محیطی ساده برای رسیدن به گزینه‌های بهینه برای مسائل مختلف شهری بتوانند پارامترهای فراوان را در همان مراحل اول طراحی دخیل کنند تا رسیدن به شکل پایدار شهر از گذشته بسیار سریع‌تر و مناسب‌تر شود و همین موضوع لزوم وارد شدن طراحان شهری به‌خصوص طراحان ایرانی را در این زمینه بیش از پیش یادآور می‌شود.

منابع

1. Ahmadpour, N., Pourjafar, M., Mahdavinejad, M., & Yousefian, S. (2017). The Role and Impact of Design Elements on the Quality of Thermal Comfort in Urban Open Spaces Case Study: Design of Pedestrian Way in Tamghachiha Pathway in the City of Kashan. *Journal of Architecture and Urban Planning*, *9*(18), 59-80. https://doi.org/10.30480/aup.2017.512 [in persian]

2. Adulkongkaew, T., Satapanajaru, T., Charoenhirunyingyos, S., & Singhirunnusorn, W. (2020). Effect of land cover composition and building configuration on land surface temperature in an urban-sprawl city, case study in Bangkok Metropolitan Area, Thailand. *Heliyon*, *6*(8), e04485. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04485

3. Apreda, C., Reder, A., & Mercogliano, P. (2020). Urban morphology parameterization for assessing the effects of housing blocks layouts on air temperature in the Euro-Mediterranean context. *Energy and Buildings*, *223*, 110171. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110171

hed, N.A., & Eleinen, O.M.A. (2020). Urban morphology as a passive strategy in promoting outdoor air quality. *Journal of Building Engineering*, *29*, 101204. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101204

11. He, B., Ding, L., & Prasad, D. (2020). Relationships among local-scale urban orphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence. *Sustainable Cities and Society, 60*, 102289. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102289

12. Hou, K., & Chen, S. (2023). Linking energy crises and solar energy in China: a roadmap towards environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(57), 119925–119934. https://doi.org/10.1007/s11356-023-30657-8

13. Islam, M.A., Mamun, A.A., Ali, M.N., Ashique, R.H., Hasan, A., Hoque, M.M., Maruf, M.H., Mansur, M.A.A., & Shihavuddin, A. (2024). Integrating PV-based energy production utilizing the existing infrastructure of MRT-6 at Dhaka, *Bangladesh. Heliyon, 10*(2), e24078. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24078

14. Jamali, Siroos.(2012), A Study on the Impact of Housing Typology on Urban Morphology , Case Study: Tabriz Metropolis, Ph.D. Thesis, University of Tabriz.

15. Jamali, S. (2015). Evaluating the Place of Typomorphological Approaches in Urban Development Plans in Iran , Case of Tabriz Metropolis. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, *6*(19), 85-102.

16. Karamirad, S., aliabadi, M., & Habibi, A.

4. Bazán, J., Rieradevall, J., Gabarrell, X., & Vázquez-Rowe, I. (2017). Low-carbon electricity production through the implementation of photovoltaic panels in rooftops in urban environments: A case study for three cities in Peru. *The Science of the Total Environment*, *622–623*, 1448–1462. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.003

5. Behzadfar M., Rezvani B. (2015). A Comparative Study of Morphological Norms of Islamic Urbanism in Historical Texture (Case Study: Neighborhood Sarcheshmeh of Gorgan City). *JRIA*. *3*(1), 1-19. http://jria.iust.ac.ir/article-1-177-en.html [in persian]

6. Butti, K., & John, P. (1980). A Golden Thread, 2500 Years of Solar Architecture and Technology. Palo Alto, CA: Cheshire Books.

7. Chen, H., Han, Q., & De Vries, B. (2019). Urban morphology indicator analyzes for urban energy modeling. *Sustainable Cities and Society*, *52*, 101863. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101863

8. Changalvaiee, Y., Behzadfar, M., Mohhamadi, M. & Saeideh Zarabadid, Z. S. (2018). A practical approach to analysis of the generic flows of sustainable urban form with a focus on Eco-Efficient Urban Form (EEUF) model (The case of Isfahan morphological types). *Motaleate Shahri*, *7*(28), 55-64. doi: 10.34785/J011.2018.016 [in persian]

9. Davtalab, J., Hafezi, M., R. & Adib, M. (2016). Vegetation and Thermal Comfort in Open Spaces: The Case of Sistan Province. *Soffeh*, *26*(4), 19-42. https://soffeh.sbu.ac.ir/article_100325.html?lang=en [in persian]

10. Hassan, A.M., ELMokadem, A.A., Mega-

R., Mofidi Shemirani S.M. (2019). Solar Radiation Absorbed on the Neighborhood Scale regarding the Rural Fabric in Cold Climate Regions. *JHRE*. *38*(167), 19-34. https://doi.org/10.22034/38.167.19 [in Persian]

24. Morganti, M., Salvati, A., Coch, H., & Cecere, C. (2017). Urban morphology indicators for solar energy analysis. *Energy Procedia, 134*, 807–814. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.533

25. Mosey, G., & Deal, B. (2020b). Multivariate Optimization in Large-Scale Building Problems: An architectural and urban design approach for balancing social, environmental, and economic sustainability. *Sustainability*, *12*(23), 10052. https://doi.org/10.3390/su122310052

26. Mosey, G., & Deal, B. (2020). Multivariate Optimization in Large-Scale Building Problems: An Architectural and Urban Design Approach for Balancing Social, Environmental, and Economic Sustainability. *Sustainability*, *12*(23), 10052. https://doi.org/10.3390/su122310052

27. Mathern, A., Steinholtz, O.S., Sjöberg, A., Önnheim, M., Ek, K., Rempling, R., Gustavsson, E., & Jirstrand, M. (2020). Multi-objective constrained Bayesian optimization for structural design. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, *63*(2), 689–701. https://doi.org/10.1007/s00158-020-02720-2

28. Mosey, G., & Deal, B. (2020). Multivariate Optimization in Large-Scale Building Problems: An architectural and urban design approach for balancing social, environmen-

(2018). Assessing the Impact of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort in Microclimate Scale: A Case Study of the Open Space of Goldasht Residential Complex in Shiraz. *Regional Planning*, *8*(29), 161-172.

17. Karimi, S., Eghbali, S.R. (2017). Troubleshooting form-rise buildings using parametric design process and compare the output optimized form in terms of radiation exposure, Intenational *Journal of Urban and Rural Management.15*(45), 225-238. http://ijurm.imo.org.ir/article-1-1426-fa.html [in persian]

18. Kettles, C.M.C. (2008). A Comprehensive Review of Solar Access Law in the United States (Report). Solar America Board for Codes and Standards.

19. Knowles, R. (1974). Energy and form: an ecological approach to urban growth. Cambridge, Massachusetts., United States: MIT Press.

20. Knowles, R.L., Berry, R.D. (1980). "Solar envelope concepts: Moderate density building applications. Final report". doi:10.2172/6736314.

21. Leng, H., Chen, X., Ma, Y., Wong, N. H., & Ming, T. (2020). Urban morphology and building heating energy consumption: Evidence from Harbin, a severe cold region city. Energy and Buildings, 224, 110143. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110143

22. Mahmoudi M, N.S. (2011). Improving of Climatic Technology According to Sustainable Development. *Naqshejahan, 1* (1), 35-52. http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-8373-fa.html [in Persian]

23. Mehdizadeh Seraj, F., Mirzaee, F., Fayaz,

Environmental Effects Of Urban Geometry Changes On Air Temperature And Outdoor Thermal Comfort In Arid Climate Of Mashhad (Case Study Of Pachenar And Shahed). *Journal of Environmental Studies*, *43*(4), 561-578. https://doi.org/10.22059/jes.2018.247624.1007570 [in Persian]

35. Shoshtari, S., Ghalehnoee, M., Ezzatian, V., Maleki, A., Paknejad, M. & rahpou, R. (2018). Studying the combined method in identifying Urban Heat Islands and their Mitigation via Urban Green Spaces (case study: Isfahan City). *Motaleate Shahri*, *7*(28), 41-54. https://doi.org/10.34785/J011.2018.015 [in Persian]

36. Taghvaei, M., Warsi, H., & Narimani, M. (2016). Physical development strategy and sustainable form of Isfahan city with approach of smart growth and compact city . Intenational Journal of Urban and Rural Management. 14 (41), 339-358. http://ijurm.imo.org.ir/article-1-723-fa.html [in Persian]

37. Tahbaz, M.(2017). *Climatic knowledge of architectural design*, Tehran, Shahid Beheshti Pub.

38. Wei, R., Song, D., Wong, N. H., & Martin, M. (2016). Impact of urban morphology parameters on microclimate. *Procedia Engineering*, *169*, 142–149. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.017

39. Vengosh, A., & Weinthal, E. (2022). The water consumption reductions from home solar installation in the United States. *The Science of the Total Environment*, *854*, 158738. https://doi.org/10.1016/j.scitotal, and economic sustainability. *Sustainability*, *12*(23), 10052. https://doi.org/10.3390/su122310052

29. Murphy, M., Badland, H., Jordan, H., Koohsari, M. J., & Giles-Corti, B. (2018). Local Food Environments, Suburban Development, and BMI: A Mixed Methods study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(7), 1392. https://doi.org/10.3390/ijerph15071392

30. Othman, H.A.S., & Alshboul, A.A. (2020). The role of urban morphology on outdoor thermal comfort: The case of Al-Sharq City – Az Zarqa. *Urban Climate*, *34*, 100706. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100706

31. Perera, A., 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

32. Parekh, N.R., Smith, N.C., & Brown, N.N. (2024). Deep reinforcement learning for multi-criteria optimization in BIM-supported sustainable building design. *International Journal of Science and Research Archive*, *13*(1), 1030–1048. https://doi.org/10.30574/ijsra.2024.13.1.1775

33. Prieto-Curiel, R., Patino, J.E., & Anderson, B. (2023). Scaling of the morphology of African cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *120*(9), e2214254120. https://doi.org/10.1073/pnas.2214254120

34. Sanagar Darbani, E., Rafiyan, M., Hanaee, T. & Monsefi Parapari, D. (2018).

M., Deng, J., He, Y., & Hii, D.J.C. (2020). Dependence between urban morphology and outdoor air temperature: A tropical campus study using random forests algorithm. *Sustainable Cities and Society*, *61*, 102200. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102200

45. Zhang, H., Yu, Z., Zhu, C., Yang, R., Yan, B., & Jiang, G. (2023). Green or not? Environmental challenges from photovoltaic technology. *Environmental Pollution*, *320*, 121066. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121066

46. Zhang, L., Qiao, G., Huang, H., Chen, Y., & Luo, J. (2021). Evaluating Spatiotemporal Distribution of Residential Sprawl and Influencing Factors Based on Multi-Dimensional Measurement and GeoDetector Modelling. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(16), 8619. https://doi.org/10.3390/ijerph18168619

47. Zhu, R., Wong, M.S., You, L., Santi, P., Nichol, J., Ho, H.C., Lu, L., & Ratti, C. (2020). The effect of urban morphology on the solar capacity of three-dimensional cities. *Renewable Energy*, *153*, 1111–1126. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.050

tenv.2022.158738

40. Wicki, S., Schwaab, J., Perhac, J., & Grêt-Regamey, A. (2021). Participatory multi-objective optimization for planning dense and green cities. *Journal of Environmental Planning and Management*, *64*(14), 2532–2551. https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1875999

41. Xu, H., Chen, H., Zhou, X., Wu, Y., & Liu, Y. (2020). Research on the relationship between urban morphology and air temperature based on mobile measurement: A case study in Wuhan, China. *Urban Climate*, *34*, 100671. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100671

42. Xu, X., AzariJafari, H., Gregory, J., Norford, L., & Kirchain, R. (2020). An integrated model for quantifying the impacts of pavement albedo and urban morphology on building energy demand. *Energy and Buildings*, *211*, 109759. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109759

43. Yao, J., Murray, A. T., Wang, J., & Zhang, X. (2019). Evaluation and development of sustainable urban land use plans through spatial optimization. *Transactions in GIS*, *23*(4), 705–725. https://doi.org/10.1111/tgis.12531

44. Yu, Z., Chen, S., Wong, N.H., Ignatius,

نحوه ارجاع به این مقاله:
نجفی، احمد، مرتهب، رامتین، رفیعی، کیوان و تدین، بهاره. (۱۴۰۴). بهینه‌سازی فرم شهری پایدار با استفاده از الگوریتم‌های چندمعیاره (مورد مطالعه: شهر بهارستان). پژوهشهای فضا و مکان در شهر، ۹(۳۴)، ۴۵-۶۹. https://doi.org/10.22034/jspr.2025.2056446.1126

DOI: https://doi.org/10.22034/jspr.2025.2056446.1126
URL: https://jspr.jdisf.ac.ir/article_725931.html

Copyrights:
©2023 by the authors. Published by Journal of Urban Studies on Space and Place.
This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).