



Presenting a Green Roof Pattern for Achieving an Ecological City: A case study the Najafabad, Isfahan Province

Mohammad Sharifi¹ , Mehdi Momeni² ✉, Hamid Saberi³ , Alireza Abbasi⁴

1. Department of Geography, Na.C, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Email: m.sharifi9302@iau.ac.ir

2. (Corresponding Author) Department of Geography, Na.C, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Email: momeni100@gmail.com

3. Department of Geography, Na.C, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Email: hamid.saberi@iau.ac.ir

4. Department of Geography, Na.C, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Email: alireza_abbasi@iau.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

30 December 2025

Received in revised form:

8 March 2026

Accepted:

31 March 2026

Available online:

14 May 2026

Keywords:

Pattern,
Bam Sabz,
Ecological City,
Modeling,
Najaf Abad.

ABSTRACT

Green roofs, as a pivotal strategy in sustainable urban development, play a crucial role in mitigating environmental challenges and strengthening ecological resilience in rapidly growing cities. This study aims to develop an indigenous model for green roof implementation as a pathway toward realizing an ecological city in Najafabad. The research adopts a descriptive-analytical method within a developmental-applied framework, combining library investigations with field-based surveys. In total, 96 items were identified across six indicators related to green roofs and five indicators representing ecological city dimensions. The statistical population included specialists in urban planning and architecture, from which 30 experts were selected through purposive sampling based on their experience and relevance to the subject. Data were analyzed using SPSS through exploratory factor analysis and one-way ANOVA to examine relationships and compare ecological indices across the city. In addition, spatial analysis of the indicators was conducted across the five districts of Najafabad using network analysis tools within the ArcGIS environment to identify spatial variation and prioritize suitable zones. Findings reveal that the environmental dimension, with a path coefficient of 0.980, and the social dimension, with a coefficient of 0.716, exert the greatest influence on the development of green roofs. Districts 3 and 2 demonstrate the highest potential for green roof expansion, with mean values of 3.54 and 3.52, respectively. Moreover, spatial analysis indicates that the structured development network shows strong alignment and consistency with scenarios designed to support Najafabad's transition toward an ecological city.

Citation: Sharifi, M., Momeni, M., Saberi, H., & Abbasi, A. (2026). Presenting a Green Roof Pattern for Achieving an Ecological City: A case study the Najafabad, Isfahan Province. *Geographical planning of space quarterly journal*, 16 (1), 173-194.

<http://doi.org/10.30488/gps.2026.468563.3767>



© The Author(s)

Publisher: Golestan University Press

Extended Abstract

Introduction

A “green roof” or “living roof” is a roofing system partially or completely covered with vegetation, growing media, and essential waterproofing membranes. In sustainable urban planning, green roofs are increasingly recognized as multifunctional ecological infrastructures that mitigate environmental, social, and physical challenges. Within sustainable architecture and ecological urbanism, transforming underutilized rooftops into productive green spaces is a highly effective strategy. These installations facilitate stormwater management, thermal regulation, air purification, and biodiversity conservation in dense urban environments. They also contribute to improving visual quality, strengthening urban resilience, and enhancing the environmental performance of buildings in both new developments and existing urban fabrics. Moreover, green roofs support urban sustainability by enhancing ecosystem services within densely built environments. They provide microhabitats for plants and insects, contribute to urban biodiversity, and improve the overall environmental balance of cities. By integrating vegetation into building envelopes, green roofs also strengthen climate adaptation strategies and encourage environmentally responsible urban design practices that respond to contemporary ecological challenges faced by rapidly growing cities.

The implementation of green roofs becomes vital in cities facing severe environmental pressures. Najafabad, an urban center in Isfahan Province, suffers from water scarcity, land subsidence, insufficient green spaces, and air pollution. Since horizontal green space expansion is constrained because of land availability and economic limitations, vertical greening offers a localized solution. However, realizing an ecological city through green roofs requires coordinating physical, environmental, socio-cultural, and managerial dimensions. A successful deployment depends on structural feasibility, economic viability, public awareness, and spatial prioritization. Therefore, this study aims to identify, evaluate, and prioritize the key dimensions of green roofs in Najafabad’s urban

planning to propose a model supporting ecological city development.

Methodology

This research is developmental-applied in terms of its objective and descriptive-analytical in terms of its nature and method. The study was designed to combine theoretical investigation, field data collection, statistical analysis, and spatial modeling in order to propose a green roof development model for Najafabad. Since the subject of green roofs involves both conceptual and practical dimensions, the research process was organized in two main phases: library-based studies and field-based investigations.

In the library study phase, the theoretical foundations, concepts, criteria, and indicators related to green roofs, ecological cities, sustainable urban planning, and urban environmental management were collected and reviewed. Scientific books, peer-reviewed articles, planning documents, environmental reports, and relevant national and international studies were used to establish the conceptual framework of the research. This phase helped identify the main dimensions of green roof development and clarify their relationship with ecological city principles. Particular attention was paid to environmental, social, physical, economic, and managerial indicators that could affect the feasibility and effectiveness of green roofs in an urban context such as Najafabad.

In the field study phase, data were collected through a structured questionnaire. The questionnaire was designed based on a five-point Likert scale in order to measure the importance and effectiveness of the selected variables and indicators. The statistical population consisted of senior managers, experts, and specialists associated with urban planning, environmental studies, municipal management, architecture, and related administrative sectors in Najafabad. The total population included 100 individuals, from whom 30 experts were selected purposively as the research sample. These experts were drawn from academic institutions, the Roads and Urban Development Department, Najafabad

Municipality, and other relevant organizations. The criteria for selecting the experts included theoretical knowledge, professional experience, familiarity with local urban and environmental conditions, willingness to participate in the research, and accessibility to the researcher.

The collected data were analyzed using statistical and spatial techniques. Structural equation modeling based on the partial least squares method was used to examine the relationships among the main indicators and to determine the relative importance of different dimensions. In addition, a one-way analysis of variance was applied to compare the potential of different urban zones for green roof development. To support spatial decision-making and develop a practical model, GIS-based analyses were performed in the ArcGIS environment. Tracking Analysis Tools and Network Analysis Tools were used to analyze spatial patterns and urban accessibility conditions related to the studied indicators. Furthermore, optimization procedures were incorporated into the modeling process. The study applied the Imperialist Competitive Algorithm and the Minimum Spanning Tree algorithm in MATLAB to design optimized scenarios for green roof development. This combination of statistical analysis, GIS-based spatial evaluation, and algorithmic optimization provided an integrated methodological framework for identifying priority areas and reducing the potential costs of implementation.

Results and Discussion

The findings of the study indicate that Najafabad has considerable potential for the development of green roofs as a strategic approach toward the realization of an ecological city. Nevertheless, the city also faces serious environmental and infrastructural challenges that must be carefully considered in any planning model. Among the most important challenges are water scarcity, land subsidence estimated at approximately 12 centimeters annually, insufficient per capita green space, and air pollution. The per capita green space in different parts of the city varies between

approximately 7 and 15 square meters per person, indicating an uneven distribution of green resources and a need for more balanced spatial planning. In this regard, green roofs can play a complementary role by adding new layers of urban greenery without requiring extensive horizontal land allocation.

The results of structural equation modeling revealed that environmental and social indicators have a decisive role in the acceptance and implementation of green roofs in Najafabad. The path coefficient for the environmental indicator was 0.980, showing that environmental conditions and ecological needs are the most influential factors in the development of green roofs. This means that issues such as air pollution, thermal comfort, green space shortage, water management, and climate adaptation are central to the justification and prioritization of green roof projects. The path coefficient for the social indicator was 0.716, indicating that citizens' socio-cultural motivations, environmental awareness, and willingness to accept green infrastructure are also highly significant. These results confirm that green roof planning should not be limited to technical and physical considerations; rather, it must also take into account public education, cultural acceptance, participation, and social motivation.

The findings are consistent with international studies, such as those by Jim and Hui(2022), which emphasize the importance of public education and social awareness in the success of urban greening projects. They also correspond with national studies, including those by Taheri Mirghaed and Saberi(2021), which highlight the role of citizen participation and environmental knowledge in promoting sustainable urban interventions. Therefore, any successful green roof strategy in Najafabad should comprise educational programs, incentive policies, awareness campaigns, and participatory planning mechanisms. Without social acceptance and institutional support, even technically suitable projects may face difficulties in implementation and long-term maintenance.

The results of the one-way ANOVA test also exhibited significant differences among the five urban zones of Najafabad in terms of their potential for green roof development. The statistical result was significant at the 0.05 level, with $F = 4.90$ and $P < 0.05$. Among the study zones, Zone 3, corresponding to Vilashahr, and Zone 2, located in the western part of the central city area, obtained the highest mean scores of 3.54 and 3.52, respectively. These zones therefore hold the greatest potential for the development of green roofs. Their higher scores may be related to more suitable physical conditions, better urban structure, greater environmental capacity, or stronger social and institutional readiness. In contrast, Zone 1, including the center and eastern parts of the central city area, and Zone 5, corresponding to the Amirabad area, obtained lower mean scores of 3.02 and 3.36, respectively. Such areas demand additional interventions, encompassing infrastructure upgrades, policy reinforcement, public awareness initiatives, and comprehensive feasibility assessments. These spatial differences demonstrate that green roof development should not be implemented uniformly across the city. Instead, it should be based on spatial prioritization and local characteristics. Areas with higher potential can be selected as pilot zones for early implementation, while areas with lower potential may require preparatory measures before large-scale development. This finding is consistent with national studies by Saberi and Barati(2022), which emphasized the importance of balanced green space distribution in semi-arid cities. In cities such as Najafabad, where environmental resources are limited and climatic conditions are sensitive, spatial justice in the distribution of green infrastructure is especially important.

The novelty of the research lies in its integrated approach. Unlike many previous studies that focus on the physical, environmental, or architectural aspects of green roofs, this study combines structural equation modeling, GIS-based spatial analysis, and algorithmic optimization. The integration of the Imperialist Competitive Algorithm with localized spatial data

distinguishes this study from earlier research, including studies such as that of Ömer Ekmekcioğlu(2023), which concentrated mainly on the management and identification of green roof types in high-precipitation regions such as Turkey. By contrast, this study addresses the conditions of a semi-arid city and attempts to propose a localized model suitable for Najafabad's environmental, social, and spatial characteristics.

Another chief contribution of the study is the design of four optimized scenarios using the Minimum Spanning Tree algorithm in MATLAB. These scenarios emphasize local search and jump phases and aim to reduce infrastructure costs while improving the efficiency of green roof development. Cost reduction is a crucial issue in the practical implementation of green roofs, especially in cities where municipal budgets are inadequate and private owners may hesitate to invest in unfamiliar technologies. By incorporating optimization methods, the study provides a more practical and decision-oriented framework for urban managers.

Despite these contributions, this study is subject to certain limitations—notably the unavailability of fully updated spatial boundary data for Najafabad's five urban zones. This may affect the precision of spatial analysis and the interpretation of zonal differences. Another limitation is the need for stronger collaboration with local stakeholders, particularly Najafabad Municipality and related executive organizations. The practical implementation of green roofs requires institutional coordination, financial mechanisms, technical guidelines, and public participation. Therefore, future studies should use more comprehensive and updated spatial data, include a larger group of stakeholders, and apply dynamic simulation tools such as SWMM models to evaluate water management performance. Such studies can further refine the proposed model and provide a more accurate assessment of the role of green roofs in mitigating climate change impacts, reducing runoff, and improving urban environmental quality.

Conclusion

The concept of an ecological city represents a comprehensive structural approach that integrates environmental, economic, physical, social, and managerial dimensions. It seeks to create urban environments that function in harmony with natural systems while improving human well-being and reducing ecological pressures. In Najafabad, the development of green roofs can be considered an effective strategy for moving toward such an ecological urban model. Given the city's challenges, including water scarcity, limited land availability, insufficient green space, air pollution, and environmental vulnerability, green roofs provide an opportunity to expand urban greenery vertically and make better use of existing built surfaces.

The results indicate that green roofs can contribute to increasing per capita green space, improving urban environmental quality, reducing pollution, enhancing urban aesthetics, moderating microclimatic conditions, and strengthening the ecological performance of buildings. They can also help reduce heating and cooling loads, purify air, decrease carbon dioxide levels, mitigate noise pollution, extend the lifespan of roof membranes, reduce the effects of urban heat islands, and create additional usable and pleasant spaces for residents. In this sense, green roofs are not only an architectural solution but also an urban planning strategy with environmental, social, and economic benefits.

For Najafabad, the successful development of green roofs requires a prioritized, localized, and participatory approach. Environmental indicators should be considered the most important basis for decision-making, while social acceptance and public awareness should be strengthened through education and incentive policies. Zones with higher potential, particularly Zones 2 and 3, should be used as pilot areas, while Zones 1 and 5 require supportive interventions before broader implementation. Overall, the implementation of green roof principles and dimensions can provide a foundation for environmental enhancement, reduction of pollution-related health impacts,

improvement of living standards, and progress toward transforming Najafabad into an ecological city.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

First author: Drafting the introduction, problem statement, parts of the methodology, statistical analyses and initial writing of the article, making refereeing corrections

Second author: Participation in the initial research design and general review of the article structure

Third author: Drafting the discussion section, conclusions, interpretation of findings and completing the writing of the article

Fourth author: Participation in data collection, final review of the text and minor corrections of the article.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

ارائه الگوی بام سبز در راستای تحقق شهر اکولوژیک، مطالعه موردی نجف آباد اصفهان

محمد شریفی^۱، مهدی مؤمنی^۲، حمید صابری^۳، علیرضا عباسی^۴۱- گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران. رایانامه: m.sharif9302@iau.ac.ir۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران. رایانامه: momeni100@gmail.com۳- گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران. رایانامه: hamid.saberi@iau.ac.ir۴- گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران. رایانامه: alireza_abbasi@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	بام‌های سبز به عنوان راهکاری کلیدی در توسعه پایدار شهری، نقشی حیاتی در مدیریت بحران‌های زیست‌محیطی و ارتقای تاب‌آوری اکولوژیک ایفا می‌کنند. این پژوهش با هدف ارائه الگویی بومی برای توسعه بام‌های سبز در راستای تحقق شهر اکولوژیک در شهر نجف‌آباد انجام شد. روش پژوهش، توصیفی-تحلیلی با رویکرد توسعه‌ای-کاربردی است که از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی اجرا شد. در این راستا، ۹۶ گویه در قالب شاخص‌های شش‌گانه بام سبز و پنج شاخص شهر اکولوژیک شناسایی گردید. جامعه آماری شامل متخصصان برنامه‌ریزی شهری و معماری بود که ۳۰ نفر از آنان به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. داده‌ها به وسیله پرسشنامه و نرم‌افزار SPSS تحلیل شد و از آزمون‌های تحلیل عاملی اکتشافی و تحلیل واریانس برای بررسی شاخص‌های شهر اکولوژیک استفاده گردید. همچنین، تحلیل فضایی شاخص‌ها در پنج منطقه شهری نجف‌آباد با ابزارهای تحلیل شبکه در نرم‌افزار ArcGIS انجام گرفت. نتایج نشان داد که بعد محیط‌زیستی با ضریب مسیر ۰/۹۸۰ و بعد اجتماعی با ضریب ۰/۷۱۶ بیشترین تأثیر را در توسعه بام سبز دارند. مناطق ۳ و ۲ نجف‌آباد به ترتیب با میانگین‌های ۳/۵۴ و ۳/۵۲ بالاترین پتانسیل را برای توسعه بام سبز نشان دادند. همچنین نتایج بخش تحلیل فضایی نشان داد، که طراحی ساختاری هدفمند از شبکه توسعه وضعیت بام سبز در شهر نجف‌آباد همپوشانی و انطباق بالایی در ارائه سناریو برای تحقق شهر اکولوژیک را دارا می‌باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۱۱ تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۲/۲۴	
واژگان کلیدی: الگو، بام سبز، شهر اکولوژیک، مدل‌سازی، نجف‌آباد	

استناد: شریفی، محمد؛ مؤمنی، مهدی؛ صابری، حمید و علیرضا عباسی. (۱۴۰۵). ارائه الگوی بام سبز در راستای تحقق شهر اکولوژیک، مطالعه موردی نجف‌آباد اصفهان. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۶ (۱)، ۱۹۴-۱۷۳.

<http://doi.org/10.30488/gps.2026.468563.3767>

مقدمه

رشد سریع شهرنشینی در جهان، به ویژه پس از انقلاب صنعتی، چالش‌های متعددی نظیر آلودگی زیست‌محیطی، کمبود فضای سبز، افزایش تراکم جمعیت، کاهش کیفیت زندگی شهری و تخریب اکوسیستم‌های طبیعی را به همراه داشته است (حسینی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۳۹). در ایران، توسعه شهری بدون توجه به شرایط بومی و اکولوژیکی، پایداری شهرها و اکوسیستم‌های اطراف آن‌ها را تهدید کرده است (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۲۱)؛ در این راستا، مفهوم شهر اکولوژیک به عنوان شهری که با ادغام فناوری و طبیعت، از منابع تجدیدپذیر بهره می‌گیرد و اثرات منفی بر محیط‌زیست را به حداقل می‌رساند، مورد توجه قرار گرفته است (Meng et al, 2021: 755). همچنین، بام سبز، به عنوان یکی از مصادیق معماری سبز، به فضای سبز ایجاد شده بر روی بام ساختمان‌ها با استفاده از پوشش گیاهی اشاره دارد، که با کاهش آلودگی هوا، بهبود کیفیت زندگی و افزایش تعاملات اجتماعی، به تحقق شهر اکولوژیک کمک می‌کند (Wang et al, 2022: 1773).

همچنین محدودیت‌های مالی و کمبود زمین برای ایجاد فضاهای سبز جدید، امکان توسعه فضاهای سبز سنتی را محدود کرده و ضرورت استفاده از بام سبز را به عنوان راهکاری نوین و کم‌هزینه برای بهبود کیفیت محیط شهری برجسته می‌کند. از این رو باید اذعان داشت، بام‌های سبز با افزایش سرانه فضاهای سبز، کاهش آلودگی هوا و بهبود سلامت جسمی و روانی ساکنان، نقش کلیدی در تقویت تاب‌آوری اکولوژیکی شهرها ایفا می‌کند (طاهری میرقائد و صابری، ۱۴۰۰: ۲۹۱).

در زمینه بام سبز و شهر اکولوژیک، تحقیقات متعددی انجام شده است. جیم و هوی^۱ (۲۰۲۲) در پژوهشی با عنوان «ارائه بام‌های سبز در یک شهر فشرده: مزایا و ترجیحات چشم‌انداز گروه‌های اجتماعی و جمعیتی» با استفاده از روش کیفی (مصاحبه و پرسشنامه) نشان دادند؛ که آموزش عمومی می‌تواند آگاهی شهروندان را درباره مزایای بام سبز افزایش داده و حمایت آن‌ها از طراحی بام سبز سازگار با محیط‌زیست را تقویت کند، به گونه‌ای که این رویکرد نابرابری دسترسی به فضای سبز را کاهش می‌دهد. عمر اکمچی اوغلو^۲ (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای با عنوان «شناسایی مناسب‌ترین انواع بام سبز برای شهرها با استفاده از تحلیل تصمیم چند لایه: مطالعه موردی استانبول، ترکیه» با روش تحلیل تصمیم چندمعیاره (AHP) دریافت که شاخص‌های سرزندگی مالی (۳۵/۰۱٪) و زیست‌محیطی (۳۴/۹۱٪) در انتخاب نوع بام سبز اولویت دارند و این یافته‌ها به پایداری و تاب‌آوری اکولوژیکی شهرها کمک کرده است. همچنین، مهاک شهزاد^۳ و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی با عنوان «چشم‌انداز فناوری بام سبز به عنوان راه‌حلی پایدار برای شاخص آلودگی شهری» با روش کمی (استفاده از حسگر نوری برای سنجش آلودگی هوا) در شهرهای لاهور و فیصل‌آباد نشان دادند، که بام‌های سبز با پوشش گیاهی متنوع، شامل درختان، بوته‌ها و پوشش‌های زمینی، در کاهش گرد و غبار و فلزات سنگین مؤثرتر از بام‌های بدون پوشش هستند. در ایران، طاهری میرقائد و صابری (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای با عنوان «امکان‌سنجی توسعه فضاهای سبز عمودی (بام سبز) به منظور دستیابی به شهر اکولوژیک: مورد مطالعاتی منطقه ۵ شهر اصفهان» با روش کمی (تحلیل آماری) نشان دادند که بین آگاهی شهروندان و مشارکت در توسعه بام سبز (۳۶۴/۰) و بین ضوابط تشویقی و تمایل به توسعه بام سبز (۲۳۲/۰) رابطه معنی‌دار وجود دارد. ابراهیم براتی و صابری (۱۴۰۱) در پژوهشی با عنوان «ضرورت ایجاد شهرهای اکولوژیک، چالش‌ها و موانع پیش‌روی آن در ایران» با روش کیفی (تحلیل محتوا) بیان کردند

1. Jim & Hui
2. Ömer Ekmekcioğlu
3. Mehak Shehzad

که اقتصاد متکی بر نفت، تراکم جمعیت و تخریب اکوسیستم‌های طبیعی از موانع اصلی تحقق شهرهای اکولوژیک در ایران هستند. همچنین، علی‌پور و گوهری (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای با عنوان «ارزیابی و اولویت‌بندی معیارهای توسعه بام سبز به روش بهترین-بدترین» با روش کمی (تحلیل بهترین-بدترین) دریافتند، که شاخص اقتصادی بر سایر شاخص‌ها مقدم است و زیرمعیارهای کلیدی شامل افزایش کیفیت هوا، افزایش عمر پوسته بام و ارتقای سلامت عمومی هستند.

باوجوداین مطالعات، بیشتر تحقیقات خارجی مانند جیم و هوی (۲۰۲۲) و اکمچی اوغلو (۲۰۲۳) بر شهرهای توسعه‌یافته با زیرساخت‌های پیشرفته متمرکز بوده و کمتر به شرایط شهرهای درحال توسعه با محدودیت‌های مالی و فرهنگی پرداخته‌اند. در ایران نیز، مطالعاتی مانند طاهری میرقائد و صابری (۱۴۰۰) و علی‌پور و گوهری (۱۴۰۲) عمدتاً بر کلان‌شهرهایی مانند اصفهان تمرکز داشته و به شهرهای متوسط مانند نجف‌آباد با ویژگی‌های بومی و مشکلات خاص مانند آلودگی صنعتی و کمبود زمین توجه کافی نداشته‌اند. همچنین، الگویی بومی‌سازی شده برای توسعه بام سبز با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی نجف‌آباد ارائه نشده است. لذا با توجه به فقدان الگوهای بومی‌سازی شده برای توسعه بام سبز در شهرهای میانی ایران مانند نجف‌آباد و مواجه بودن این شهر با چالش‌هایی نظیر آلودگی صنعتی (ناشی از شهرک‌های صنعتی نجف‌آباد ۱ و ۲)، سرانه پایین فضای سبز (۷-۱۵ مترمربع/نفر) و فرونشست زمین (۱۲ سانتی‌متر سالانه)؛ لزوم ارائه راهکارهای متناسب با شرایط بومی مشهود می‌باشد. لذا مطالعه حاضر با تلفیق تحلیل‌های آماری (PLS و SPSS) و تحلیل‌های مکانی در محیط نرم‌افزار GIS و استفاده از الگوریتم درخت هم‌پوشانی مینیمم، الگویی بومی‌سازی شده برای توسعه بام سبز در نجف‌آباد ارائه می‌دهد که به تحقق شهر اکولوژیک کمک می‌کند.

شهر نجف‌آباد، واقع در استان اصفهان، به عنوان یک باغ شهر تاریخی صفوی و نقطه مواصلاتی کلیدی بین اصفهان و شهرهای غربی استان، با مشکلات زیست‌محیطی و شهری متعددی مواجه است. بر اساس گزارش‌های رسمی، وجود شهرک‌های صنعتی نجف‌آباد ۱ با ۱۱۹ واحد صنعتی فعال در ۸۰ هکتار و نجف‌آباد ۲ با ۳۱۷ واحد صنعتی فعال در ۲۴۰ هکتار، همراه با ۶۶ کارگاه صنعتی با بیش از ۵۰ نفر کارگر، چاه‌های زغال‌سوزی و سایت دفن زباله در شمال شرق شهر، منجر به آلودگی شدید هوا و تخریب باغات اطراف شده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵؛ گزارش‌های زیست‌محیطی شهرداری نجف‌آباد، ۱۴۰۰). علاوه بر این، سرانه فضای سبز در مناطق مرکزی شهر، که تراکم بالای کاربری‌های مسکونی و تجاری را تجربه می‌کنند، به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر از استانداردهای شهری (۱۲ تا ۱۵ مترمربع به ازای هر نفر) است، که توزیع نابرابر فضاهای سبز شهر نجف‌آباد این مشکل را تشدید کرده است (طرح جامع شهری نجف‌آباد، ۱۳۹۵).

در نجف‌آباد، این رویکرد نه تنها به بازسازی اکولوژیکی شهر کمک می‌کند، بلکه با کاهش نابرابری دسترسی به فضاهای سبز، به ویژه برای اقشار کم‌درآمد، کیفیت زندگی ساکنان را ارتقاء می‌دهد. با این حال، فقدان الگوهای بومی‌سازی شده برای توسعه بام سبز در شهرهای متوسط ایران، به ویژه نجف‌آباد، ضرورت انجام پژوهشی برای ارائه راهکارهای متناسب با شرایط اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی این شهر را تقویت می‌کند. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف ارائه الگویی بومی‌سازی شده برای توسعه بام سبز در راستای تحقق شهر اکولوژیک در شهر نجف‌آباد انجام شد. این پژوهش به دنبال شناسایی ابعاد و شاخص‌های کلیدی بام سبز و اولویت‌بندی آن‌ها در برنامه‌ریزی شهری نجف‌آباد می‌باشد. همچنین سؤالات اصلی پژوهش حاضر این است، که کدام ابعاد و شاخص‌های بام سبز، باید در اولویت برنامه‌ریزی جهت دستیابی به شهر اکولوژیک نجف‌آباد قرار بگیرند؟ و وضعیت مناطق ۵ گانه شهر نجف‌آباد در خصوص پتانسیل توسعه بام‌های سبز به چه صورت است؟

لازم به ذکر است، با وجود تحقیقات گسترده در زمینه بام سبز در کلان‌شهرهای ایران و شهرهای توسعه‌یافته، فقدان الگوهای بومی‌سازی‌شده برای شهرهای میانی ایران مانند نجف‌آباد با ویژگی‌های خاص (نظیر اقلیم نیمه‌خشک، آلودگی صنعتی ناشی از شهرک‌های صنعتی، سرانه پایین فضای سبز و...) مشهود می‌باشد، مطالعه حاضر با ارائه الگویی بومی‌سازی‌شده برای توسعه بام سبز در نجف‌آباد و تلفیق تحلیل‌های آماری (PLS و SPSS) و تحلیل مکانی (GIS) و استفاده از الگوریتم درخت هم‌پوشانی مینیمم، راهکارهای عملی برای برنامه‌ریزی منطقه محور ارائه می‌کند. این رویکرد نه تنها به تحقق شهر اکولوژیک در نجف‌آباد کمک می‌کند، بلکه الگویی برای سایر شهرهای میانی ایران فراهم می‌آورد.

مبانی نظری

بین هزاره چهارم تا سال ۶۰۰ پیش از میلاد، نمونه اولین باغ بام‌های سبز گذشته، در زیگورات‌های بین‌النهرین به وجود آمد، باغ بام‌ها در دوره‌ها و تمدن‌های مختلف و با انگیزه‌های متفاوتی به وجود آمده‌اند (کرمی راد و وکیلی نژاد، ۱۴۰۱: ۷). تا پیش از اواخر قرن هجده میلادی عمده این انگیزه‌ها زیباشناسانه بود، و از علاقه ذاتی بشر به سرسبزی و طبیعت نشأت می‌گرفتند. اگرچه در مواردی از آن‌ها برای ایجاد معماری همساز با اقلیم نیز استفاده‌شده است. تا پیش از دوران مدرن در ایران و سایر تمدن‌ها، باغ بام‌ها معمولاً در بناهای ارزشمند و خاص ایجاد می‌شد. در اروپای قرون وسطی و رنسانس باغ بام‌ها عموماً متعلق به افراد خاص و ثروتمند بودند. بین سال‌های ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ میلادی نروژی‌ها بام ساختمان‌ها را برای عایق کردن آن در مقابل سرما با خاک می‌پوشاندن و بعدها برای تثبیت این خاک، اقدام به کاشت گیاهان علفی بر روی آن نمودند. این تکنیک اواخر سال‌های ۱۸۰۰ میلادی در بخش‌هایی از آمریکا نیز به کار می‌رفت (جباری، ۱۳۹۸: ۲-۶). پس‌از آن در غرب مدرن، استفاده از فضای مرده بام‌ها به عنوان فضای عمومی در بافت‌های شهری متراکم، ابعاد کاربردی و اجتماعی باغ بام را پررنگ‌تر کرد. همچنین باعث رواج ساخت آن شد. ولی پس از جنبش زیست-محیطی دهه ۶۰ میلادی، بام سبز به معنایی متفاوت موردتوجه قرار گرفت، و در کشورهای اروپایی گسترش و استقبال زیادی یافت. کشور آلمان، به عنوان منشأ بام سبز امروزی شناخته می‌شود. در دهه ۷۰ میلادی در کشورهای شمال اروپا تحقیقات زیادی روی بام‌های سبز انجام شد. در این سال‌ها مزایای زیست‌محیطی بام سبز، مانند تعدیل اثرات جزایر گرمایی در شهرها، کاهش بار سیستم‌های مجاری فاضلاب، کاهش آلودگی هوا و ممانعت از آلودگی آب، که تا پیش از این ناشناخته بود؛ موردتوجه قرار گرفت. طی دو دهه بعد مطالعه هم‌زمان بر روی تأثیر بام سبز در توسعه پایدار و بهینه‌سازی تکنولوژی ساخت آن، به گسترش سریع بام سبز در این کشورها منجر شد. سیاست‌های تشویقی دولت و شهرداری‌ها از یک‌سو، و رشد بازار تولید زیرساخت‌های بام سبز، از سوی دیگر به توسعه آن کمک کردند. به‌طوری که تا سال ۲۰۰۶ حدود ۱۴ درصد از کل بام‌های مسطح در آلمان سبز شدند (شاکر هدایت‌آباد و همکاران، ۱۳۹۵: ۴). از جمله رویکردها و نظریات مرتبط با موضوع پژوهش حاضر می‌توان به نظریه اکولوژی شهری^۱، اشاره داشت، که بر تعادل بین اکوسیستم‌های شهری و طبیعی تمرکز دارد، در این نظریه شهر به عنوان سیستمی پویا، می‌بایست با محیط‌زیست هم‌افزایی داشته باشد. همچنین، نظریه پایداری شهری^۲، با تأکید بر سه رکن زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی؛ از بام‌های سبز به عنوان راهکاری برای کاهش اثرات منفی شهرنشینی بهره می‌برد. رویکرد معماری سبز^۳، نیز بر طراحی‌هایی تمرکز دارد، که با بهره‌گیری از فناوری‌های کم‌مصرف و سازگار با محیط‌زیست، پایداری را در مقیاس خرد

1. Register, 2006

2. Wheeler, 2013

3. Edwards, 2001

(ساختمان‌ها) و کلان (شهرها) تقویت می‌کنند. بام سبز، به عنوان بخشی از این رویکرد، از طریق کاهش جزایر گرمایی شهری، مدیریت آب‌های سطحی و افزایش تنوع زیستی، به پایداری اکولوژیکی کمک می‌کند (طاهری میرقائد و صابری، ۱۴۰۰: ۲۸۷). با این اوصاف رویکرد منتخب در پژوهش حاضر، رویکرد اکولوژیک-کاربردی با تأکید بر بام سبز می‌باشد، که با تلفیق مفاهیم شهر اکولوژیک و معماری سبز، به دنبال ارائه راهکارهایی عملی برای شهر نجف‌آباد می‌باشد. این رویکرد، بام سبز را به عنوان ابزاری چندبعدی برای پاسخگویی به چالش‌های زیست‌محیطی (آلودگی هوا، کمبود فضای سبز)، اقتصادی (کاهش هزینه‌های انرژی) و اجتماعی (بهبود سلامت روانی و تعاملات اجتماعی) در نظر می‌گیرد.

الف) بام سبز

بام سبز، به عنوان یکی از مصادیق معماری سبز، به فضای سبز ایجادشده بر روی بام ساختمان‌ها با استفاده از پوشش گیاهی اشاره دارد، که با کاهش آلودگی هوا، بهبود عایق حرارتی، افزایش سرانه فضای سبز و تقویت تعاملات اجتماعی، به تحقق اهداف شهر اکولوژیک کمک می‌کند (Wooster et al, 2022: 3).

«بام سبز» یا «بام زنده»^۱ بامی است، که تمام یا قسمتی از آن با لایه‌ای از گیاهان پوشانده شده است (Mihalakakou et al, 2023: 180)، و از آنجاکه امروزه اهداف اکولوژیک در ایجاد بام‌های سبز اهمیت زیادی یافته‌اند، می‌توان از آن‌ها به عنوان «بام‌های اکولوژیک»^۲ نیز یاد کرد (طاهری میرقائد و صابری، ۱۴۰۰: ۲۹۶). بام‌های سبز در چهار نوع قابل تقسیم هستند: ۱. بام سبز گسترده^۳، که با ضخامت کمتر ساخته می‌شود و نگهداری آن هزینه کمتری دارد. ۲. بام سبز متمرکز^۴، که دارای ضخامت و هزینه نگهداری بیشتر است. این نوع از بام سبز را که در حقیقت باغی در ارتفاع است و کاربرد فضا در ایجاد آن نقش مهمی دارد، می‌توان باغ بام^۵ نامید. ۳. سیستم مدولار یا جعبه گیاه^۶؛ که پوشش گیاهی بدون تماس با سطح و در بسترهای پیش‌ساخته^۷، کاشته می‌شود و از نظر زمان و هزینه مقرون به صرفه است. ۴. سیستم ترکیبی^۸؛ که از ترکیب دو سیستم گسترده و متمرکز می‌باشد، ولی دارای ظرفیت بار بیشتری است (Zhang et al, 2022: 7). تنوع گیاهی در بام‌های سبز یا روف گاردن می‌تواند از چمن مصنوعی، یک یا چند گل‌دان، تا باغ بام، درختان و تجهیزات پیشرفته روی پشت‌بام تغییر کند (Xie et al, 2018: 1019; Calheiros & Stefanakis, 2021: 397-399). بام سبز در کشورهای اروپایی و آمریکایی، اغلب به صورت گسترده؛ و در کشور ما به صورت متمرکز اجرا می‌شود (Hekrlle et al, 2023: 1).

از جمله مزایایی که بام‌های سبز می‌توانند با خود به همراه آورند موارد زیر می‌باشند:

- ❖ تصفیه هوا و کاهش CO₂ هوا
- ❖ افزایش ارزش ملک
- ❖ کاهش و تعدیل شدت صداهایی که تا db18 وارد ساختمان می‌شود و به میزان db3 یا بیشتر خارج می‌شود.
- ❖ فضایی سازگار و مطبوع برای شهروندان
- ❖ ایجاد محیطی سبز، زیبا و نیمه عمومی (مشاعی) برای شهروندان و بالا بردن کیفیت زندگی
- ❖ ایجاد منظر شهری سبز و کاهش آلودگی

1. Living roof
2. Eco-roofs
3. Extensive
4. Intensive
5. Roof garden
6. planter box
7. Flower Box
8. synthetic

- ❖ کاهش بار گرمایش (با افزودن توده و لایه عایق حرارتی) و سرمایش بنا (از طریق سرمایش تبخیری)
 - ❖ افزایش محدوده زندگی
 - ❖ بهبود مناظر شهر با فراهم کردن یک فضای سبز زیبا
 - ❖ کاهش سیلاب
 - ❖ بهبود مناظر اطراف ساختمان با فراهم کردن یک فضای سبز زیبا
 - ❖ بالا بردن طول عمر غشای بام (دو یا سه بار بیشتر) با محافظت از آن در برابر اشعه UV مضر و صدمات آب و هوایی
 - ❖ کاهش هزینه نگهداری از سقف
 - ❖ کاهش اثرات گرمایش و تغییرات آب و هوایی شهری (Torres et al, 2023: 41; Perivoliotis et al, 2023)؛
- عبدی زاده و احمد نژاد، ۱۴۰۲).

ب) شهر اکولوژیک

شهر اکولوژیک، شهری است که با ادغام فناوری و طبیعت، از منابع تجدیدپذیر بهره می‌گیرد (دانه‌کار و سبحانی، ۱۴۰۳: ۳۸)، اثرات منفی بر محیط‌زیست را به حداقل می‌رساند و کیفیت زندگی ساکنان را از طریق تعادل بین ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی ارتقاء می‌دهد (امیری فهلیانی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۸۵). این مفهوم، ریشه در نظریه‌های توسعه پایدار و اکولوژی شهری دارد، که بر هماهنگی بین سیستم‌های انسانی و طبیعی تأکید دارند (شریفی و همکاران، ۱۴۰۳: ۱۳۴).

شهر اکولوژیک شهری پایدار، می‌باشد، که ساختارهای کالبدی، و اقتصادی آن با رعایت ملاحظات محیط‌زیستی، و یا به عبارتی سازگار با شرایط محیط طبیعی شکل یافته‌اند (طاهری میرقائد، صابری، ۱۴۰۰: ۲۸۶). در مفهوم شهر اکولوژیک، رعایت ملاحظات محیط‌زیستی در توسعه و ادامه حیات شهر اهمیت دارد (Huang et al, 2023: 1)، آن گونه که هری هس^۱ اذعان دارد، شهر اکولوژیک در تعامل با طبیعت می‌باشد، مکانی که در آن زیستگاه انسانی، با محیط‌زیست طبیعی ارتباط و تعاملی دوسویه و در راستای زندگی سیستم‌های شهری شکل می‌یابد (Hes & Bush, 2018). با توجه به مفاهیم مرتبط با شهر اکولوژیک، می‌توان؛ شهر اکولوژیک را به عنوان پارادایمی جدید از حکمروایی خوب شهری و هماهنگ با طبیعت دانست (Deng, 2021: 30). نظریه‌پردازان و اندیشمندان، تعاریف مختلفی در خصوص شهر اکولوژیک ارائه داده‌اند؛ در جدول شماره ۱ مهم‌ترین شاخص‌ها و مؤلفه‌های شهر اکولوژیک از دید نظریه‌پردازان این رویکرد بررسی شده است. با توجه به بررسی نظریات و مفاهیم مرتبط با شهر اکولوژیک؛ به‌طور کلی شهر اکولوژیک دارای ۵ بعد اصلی شامل: محیط‌زیستی، کالبدی، اجتماعی، اقتصادی، مدیریتی می‌باشد (براتی و همکاران، ۱۴۰۱: ۴۰۷).

جدول ۱. مفهوم یابی معیارها و شاخص‌های مرتبط با بام‌های سبز شهری و شهر اکولوژیک

ابعاد	زیر شاخص شهر اکولوژیک بر اساس دیدگاه نظریه‌پردازان	منبع شاخص
کاهش آلودگی هوا، کاهش مصرف انرژی و مواد، احیای محیط‌زیست تخریب‌شده، افزایش بازیافت و تفکیک زباله، نزدیکی طبیعت با زیستگاه انسانی	کاهش آلودگی هوا، کاهش مصرف انرژی و مواد، احیای محیط‌زیست تخریب‌شده، افزایش بازیافت و تفکیک زباله، نزدیکی طبیعت با زیستگاه انسانی	(Downton, 2009); (Bookchin, 1982); (Yu, 2021); (Register, 2006); (Crombi, 1989); (Gunawansa, 2011); (Zhou & Williams, 2013); (Bibri & Krogstie, 2020); (Steinberg & Lindfield, 2012); (Deng, 2021); (Steinberg, 2018); (et al, 2021); (Chen et al, 2020); (طیبیان و همکاران، ۱۳۹۴)، (مرصوصی و همکاران، ۱۳۹۴)

تنوع و اختلاط کاربری، شبکه حمل و نقل پیاده و دوچرخه، کاهش وابستگی به اتومبیل و استفاده از حمل و نقل عمومی، تهیه مسکن شایسته و ارزان قیمت، حفظ زمین های کشاورزی شهر	(Kibert,2016), (White,2002), (white & Devuyt,2001), (lin,2016), (Jabareen,2006), (Joss,2015), (Ma,2018), (Kenworthy,2006), (صابری و میرقائد،۱۳۹۸)، (سجاذاده و معتقد،۱۳۹۹)
ایجاد مشاغل سبز، اقتصاد محلی و خودکفا محور، وجود بازارهای محلی برای تولیدات محلی و کشاورزان، پایداری گردشگری	(Bibri&Krogstie,2020) (Register,1987); (Joss,2015); (liu et al,2014); (Zhou & Williams,2013); (Yang,2012); (فنی و همکاران،۱۳۹۷)
تهیه و تدوین قوانین و مقررات اکولوژیک، ایجاد و تقویت فضای سبز و باغات شهری، توجه به تصفیه فاضلاب، هوشمند سازی با IT	(Sarkar,2016), (Yang,2012), (White,2002), (Eryildiz&Xhexhe,2012), (Premalatha et al,2013), (Wang et al,2020), (Register,2006) (نظم فر و همکاران،۱۳۹۷) (کریمی،۱۳۹۳)
حس تعلق مکانی به محل سکونت، حداکثر دسترسی همگانی به امکانات شهری، ارزشمند شمردن احترام به طبیعت، ایجاد عدالت و سرمایه اجتماعی، آموزش و توسعه فرهنگ در جهت تولید کمتر زباله و صرفه جویی در مصرف	(Gaffron et al,2005), (Devuyt et al,2001) (Rosland,2012)

روش پژوهش

پژوهش حاضر به لحاظ هدف توسعه ای - کاربردی و از لحاظ روش شناسی توصیفی - تحلیلی مبتنی بر مطالعات کتابخانه ای و بررسی های میدانی است. در پژوهش حاضر با هدف ارائه الگوی بام سبز برای تحقق شهر اکولوژیک در شهر نجف آباد، از ترکیبی از روش های کتابخانه ای و میدانی با رویکرد تحلیل آماری و مکانی استفاده شد. در بخش مطالعات کتابخانه ای، داده های نظری و پایه با استفاده از منابع معتبر علمی و اسنادی جمع آوری شد. این داده ها برای شناسایی متغیرهای کلیدی پژوهش در جدول شماره ۲ مورداستفاده قرار گرفت. در بخش مطالعات میدانی، ابزار اصلی پرسشنامه ای با مقیاس لیکرت ۵ گزینه ای بود، که برای سنجش متغیرهای ذکر شده طراحی شد. جامعه آماری تحقیق حاضر شامل کلیه مدیران و کارشناسان ارشد شهر نجف آباد (۱۰۰ نفر) می باشد، که به صورت هدفمند ۳۰ نفر به عنوان حجم نمونه از متخصصین حوزه برنامه ریزی شهری و محیط زیست در شهر نجف آباد، جامعه دانشگاهی و کارشناسی راه و شهرسازی، شهرداری و... انتخاب شدند. ملاک اصلی در انتخاب متخصصین و خبرگان تسلط نظری، تجربه عملی و تمایل به مشارکت در پژوهش و همچنین دسترسی پژوهشگر به آن ها بود. پرسشنامه پژوهش با مقیاس طیف لیکرت ۵ گزینه ای طراحی شد و پایایی آن با آلفای کرونباخ (۰/۸۲) تأیید شد (جدول ۳). برای تحلیل داده ها، از روش های آماری و مکانی استفاده شد. در بخش آماری، تحلیل عاملی اکتشافی (EFA) در نرم افزار SPSS برای شناسایی ابعاد متغیرها انجام شد، که مقدار KMO نشان دهنده کفایت نمونه بود. سپس، معادلات ساختاری PLS در نرم افزار SmartPLS برای بررسی روابط بین متغیرها به کار رفت. برای ارائه سناریوهای توسعه بام سبز، از الگوریتم درخت هم پوشانی مینیمم (Minimum Spanning Tree) در نرم افزار MATLAB 2016 استفاده شد، تا سناریوهای بهینه طراحی شوند؛ در بخش مکانی، داده های MATLAB (مانند وزن دهی شاخص ها) به محیط ArcGIS منتقل شد و با ابزارهای Tracking Analyst و Make Tracking Layer، توزیع فضایی شاخص ها برای ارائه الگوی بام سبز در راستای تحقق شهر اکولوژیک در سطح مناطق شهر نجف آباد از طریق فضایی سازی شاخص های مورد مطالعه (Tracking Analyst Tools) در فرآیند تحلیل شبکه (Network Analyst Tools) در محیط نرم افزار ArcGIS استفاده شد. همچنین آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) در SPSS برای مقایسه وضعیت پتانسیل بام سبز بین مناطق پنج گانه (با $F=11/168$ و

($p < 0.05$) استفاده شد، تا تفاوت‌های معنادار مشخص گردد. این تحلیل‌ها امکان ارائه الگویی مکان‌محور و داده‌محور برای توسعه بام‌های سبز در راستای شهر اکولوژیک را فراهم کردند. همچنین پایایی ترکیبی (CR) و میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE) نیز برای اطمینان از اعتبار ابزار محاسبه شد (جدول ۳). مقادیر CR برای شاخص‌های بام سبز (0.701 تا 0.851) و شهر اکولوژیک (0.625 تا 0.905) بالاتر از آستانه 0.7 هستند، که نشان‌دهنده پایایی مناسب متغیرهای پژوهش می‌باشد. مقادیر AVE نیز برای شاخص‌های بام سبز (0.630 تا 0.629) و شهر اکولوژیک (0.568 تا 0.680) بالاتر از آستانه 0.5 بودند، که روایی همگرا را تأیید می‌کند. برای روایی واگرا، معیار Fornell-Larcker بررسی شد و همبستگی بین متغیرها کمتر از ریشه دوم AVE بود، که تمایز بین متغیرها را تأیید کرد.

جدول ۲. شاخص‌ها و مؤلفه‌های تأثیرگذار در بام‌های سبز و شهر اکولوژیک

شاخص	گویه	شناسه	شاخص	گویه	شناسه
بام سبز	ایجاد فضاهای خوانایی بخش	Var1	شهر اکولوژیک	عملکردها و فعالیت‌های گوناگون شهر اکولوژیک	Var51
	جهت‌یابی خیابان‌ها	Var2		محوطه‌سازی و بهبود زیرساخت‌های کلی	Var52
	تعاملات شهروندان	Var3		حضور و انجام فعالیت‌های شاد و سرزنده	Var53
	حضورپذیری مردم	Var4		عملکرد و فعالیت‌های گوناگون	Var54
	تنوع‌بخشی فضاهای عمومی	Var5		کاهش وابستگی به اتومبیل	Var55
	استفاده متنوع از فضا	Var6	کالبدی	حفظ زمین‌های کشاورزی	Var56
	رونق بخشی به فضاهای عمومی	Var7		شبکه‌های دوچرخه‌سواری و پیاده‌روهای مناسب	Var57
	پاسخگویی به گروه سنی ۱ تا ۱۴ سال	Var8		تمایل به پیاده‌روی بیشتر	Var58
کالبدی	پاسخگویی به گروه سنی ۱۵ تا ۲۹ سال	Var9		ساخت مسکن مناسب و هماهنگ با اقلیم و محیط‌زیست	Var59
	پاسخگویی به گروه سنی ۳۰ تا ۶۰ سال	Var10		مشارکت سرمایه‌گذاران خصوصی	Var60
	پاسخگویی به گروه سنی بیش از ۶۰ سال	Var11		توجه به سطح درآمدی شهروندان	Var61
	کارکردهای جدید و فراغتی	Var12		به‌کارگیری مشاغل سبز	Var62
	تاب‌آوری فضاهای عمومی	Var13	اقتصادی	بازارهای مناسب برای عرضه تولیدات محلی و کشاورزی	Var63
	ضریب استفاده	Var14		وجود مراکز بوم‌گردی و گردشگری	Var64
	رونق بخشی کاربری‌های تجاری	Var15		جذب سرمایه‌گذار	Var65
	فرصت‌های اقتصادی	Var16		مشوق توسعه محلی	Var66
اقتصادی	خلاقیت و کارآفرینی	Var17		ایده‌پردازی و تولید محتوا	Var67
	اقتصاد محلی	Var18		مشارکت افراد بومی و محلی	Var68
	امنیت شبانه	Var19		قابلیت تطبیق و هماهنگی با شرایط جدید	Var69
	نظارت‌های اجتماعی	Var20		تعامل شهروندان	Var70
	آسایش صوتی	Var21		تمایل به برقراری ارتباط با دیگران	Var71
	استفاده از انرژی‌های پاک	Var22		توزیع امکانات و خدمات	Var72
	علاقه برای سکونت	Var23	اجتماعی	امکان زیست‌پذیری شهری	Var73
	افزایش خاطره‌انگیزی	Var24		ارزشمند شمردن احترام به طبیعت و حفظ آن	Var74
	وابستگی به مکان	Var25		بارگذاری رویدادهای بومی و محلی	Var75
	هویت بخشی محلی	Var26		خواسته‌های فرهنگی شهروندان	Var76
	قرارگاه رفتاری	Var27		مقبولیت اجتماعی	Var77
	اقلیم محلی	Var28		نقش شهروندان در اجرای پروژه‌های بام سبز	Var78
محیط‌زیستی	کاهش آلودگی	Var29			

Var79	مصرف کمتر و تولید کمتر پسماند	Var30	سازگاری با اقلیم
Var80	همبستگی با نیازهای آینده شهروندان	Var31	استفاده از انرژی پاک
Var81	درخت کاری و استفاده از گیاهان رونده	Var32	باز یافت آب خاکستری
Var82	حفظ و نگهداری باغات	Var33	نزدیکی انسان و طبیعت
Var83	طراحی خلایقانه فضاهای بام سبز	Var34	پوشش گیاهی سازگار با محیط زیست
Var84	تاب آوری گیاهان بومی در تنش های آبی	Var35	تعداد بام های سبز موجود
Var85	باز یافت و تفکیک زباله	Var36	تعداد جداره های سبز اجرا شده
Var86	کشت گیاهان بومی و مقاوم نسبت به بی آبی	Var37	احساس رضایت ایجاد کنندگان بام سبز
Var87	کاهش آلودگی هوا و کیفیت زندگی شهروندان	Var38	کارگاه های آموزشی و تمایل به ایجاد بام سبز
Var88	صرفه جویی در مصرف آب و انرژی	Var39	سخنرانی نخبگان
Var89	ضوابط تشویقی و تحقق پذیری شهر اکولوژیک	Var40	تبلیغات در فضای مجازی
Var90	مدیریت بهینه و تخصیص منابع مالی و ...	Var41	وام های بلاعوض و کم بهره
Var91	به کارگیری ابزارهای قانونی نظارتی و قواعد کنترلی رسمی	Var42	حمایت های مالی (تخفیف در عوارض تفکیک و ...)
Var92	شناسایی بازیگران کلیدی در فرایند تدوین و اجرای برنامه ریزی	Var43	اعطای تراکم در ارتفاع و در سطح
Var93	سیاست های تشویقی برای تصفیه آب خاکستری	Var44	تخصیص سطح اشتغال طبقه همکف به کاربری های انتفاعی
Var94	تمایل به حفظ باغات و توسعه فضاهای شهری	Var45	تسهیل در ضوابط معماری مانند نحوه توده گذاری
Var95	تشویق ایده بام سبز توسط مدیریت شهری	Var46	عدم احتساب سطح بالکن و تراس سبز
Var96	استفاده از فناوری های هوشمند	Var47	احداث واحدهای مسکونی با زیربنای کمتر از حد نصاب
		Var48	طراحی رایگان
		Var49	مشاوره رایگان
		Var50	تأمین خاک مناسب

فرهنگی و آگاهی

ضوابط تشویقی

جدول ۳. نتایج شاخص های اعتبارسنجی ابزار پژوهش

نام متغیر	شاخص	کد تحلیلی	آلفای کرونباخ	AVE	CR	تعداد نمونه
بام سبز	کالبدی	A1	۰/۸۹	۰/۶۳۰	۰/۷۸۸	۳۰
	اقتصادی	A2	۰/۸۳	۰/۵۶۸	۰/۸۵۱	۳۰
	اجتماعی	A3	۰/۷۹	۰/۵۸۱	۰/۷۹۸	۳۰
	محیط زیستی	A4	۰/۸۰	۰/۶۹۲	۰/۷۰۱	۳۰
	فرهنگی و آگاهی	A5	۰/۷۰	۰/۶۸۰	۰/۷۵۸	۳۰
	ضوابط تشویقی	A6	۰/۷۵	۰/۶۷۵	۰/۷۵۸	۳۰
شهر اکولوژیک	کالبدی	A7	۰/۸۱	۰/۶۳۰	۰/۶۷۱	۳۰
	اقتصادی	A8	۰/۹۰	۰/۵۶۸	۰/۷۱۰	۳۰
	اجتماعی	A9	۰/۸۴	۰/۵۸۱	۰/۹۰۵	۳۰
	محیط زیستی	A10	۰/۸۴	۰/۶۹۲	۰/۷۱۳	۳۰
	مدیریتی	A11	۰/۹۱	۰/۶۷۵	۰/۶۲۵	۳۰

محدوده مورد مطالعه

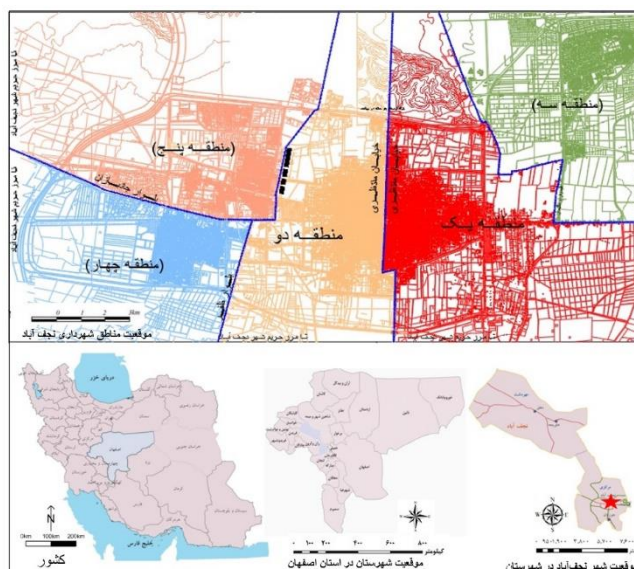
شهر نجف آباد در فاصله ۲۶ کیلومتری غرب اصفهان، به عنوان مرکز شهرستان نجف آباد و با جمعیت ۲۳۵،۲۸۱ نفر (سرشماری ۱۳۹۵) و برآورد جمعیتی در سال ۱۴۰۴ برابر با ۱۳۶۰۰۰ نفر (طرح توسعه و عمران (جامع) شهر

نجف‌آباد، ۱۳۹۵: ۲۵) و مساحت حدود ۸۷۱۲/۷ کیلومترمربع در اقلیم نیمه‌خشک واقع شده است، که با چالش‌های زیست‌محیطی مانند فرونشست زمین (۱۲ سانتی‌متر سالانه)، سرانه پایین فضای سبز (۷-۱۵ مترمربع/نفر در مقابل استاندارد جهانی ۲۰-۲۵ مترمربع)، و آلودگی هوا (به ویژه در مناطق مرکزی شهر ۱ و ۲) مواجه می‌باشد، که ضرورت توسعه بام‌های سبز را برای تحقق شهر اکولوژیک برجسته می‌کند (وارثی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۵-۵۶). وجود باغات حاشیه‌ای (مانند انارستان جلال‌آباد، باغات آبخان، شاه‌آباد، محمودآباد، قلعه سفید و...) و قنات‌های تاریخی (خارون، شیربچه، کروند و آب‌کهریز و...) امکان استفاده از گیاهان بومی مقاوم مانند انار، انگور، بادام را در بام‌های سبز فراهم می‌کند، که می‌توانند جزایر حرارتی را تا ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد کاهش داده و روان‌آب‌ها را مدیریت کنند. شهر نجف‌آباد دارای پنج منطقه شهری (منطقه ۱: مرکز و شرق نجف‌آباد، منطقه ۲: مرکز و غرب شهر نجف‌آباد، منطقه ۳: محدوده ویلاشهر، منطقه ۴: محدوده یزدانشهر، منطقه ۵: محدوده امیرآباد) می‌باشد، که در جدول شماره ۲ جمعیت و دیگر اطلاعات این مناطق مشخص می‌باشد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵؛ طرح جامع نجف‌آباد، ۱۳۹۴). در شکل ۱ موقعیت و محدوده مناطق ۵ گانه شهر مشخص می‌باشد.

جدول ۴. تراکم ناخالص در واحدهای فضایی شهر نجف‌آباد سال ۱۳۹۵

واحدهای فضایی	محدوده	جمعیت	مساحت (هکتار)	تراکم (نفر در هکتار)
منطقه ۱	مرکز و شرق نجف‌آباد	۵۰۲۱۹	۲۰۸۸/۱۸۵	۲۴
منطقه ۲	مرکز و غرب شهر نجف‌آباد	۴۴۳۶۱	۲۲۵۴/۲۲۷	۲۰
منطقه ۳	محدوده ویلاشهر	۳۳۹۵۷	۱۳۸۷/۸۵۳	۲۴
منطقه ۴	محدوده یزدانشهر	۳۵۸۴۳	۱۷۴۵/۵۵	۲۱
منطقه ۵	محدوده امیرآباد	۴۲۰۴۴	۱۲۴۸/۳۰۲	۳۴

مأخذ: مهندسین مشاور نقش جهان پارس، ۱۳۹۵



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

یافته‌ها

وضعیت فراوانی پاسخگویان از نظر جنسیت نشان داد که تعداد؛ ۷ نفر معادل ۲۳/۳ درصد زن و ۲۳ نفر معادل ۷۶/۷ درصد را مرد تشکیل داده‌اند، بیشترین گروه سنی مربوط به رده ۴۰ تا ۵۰ سال با ۵۶/۷ درصد فراوانی است. ۹۰/۰ درصد

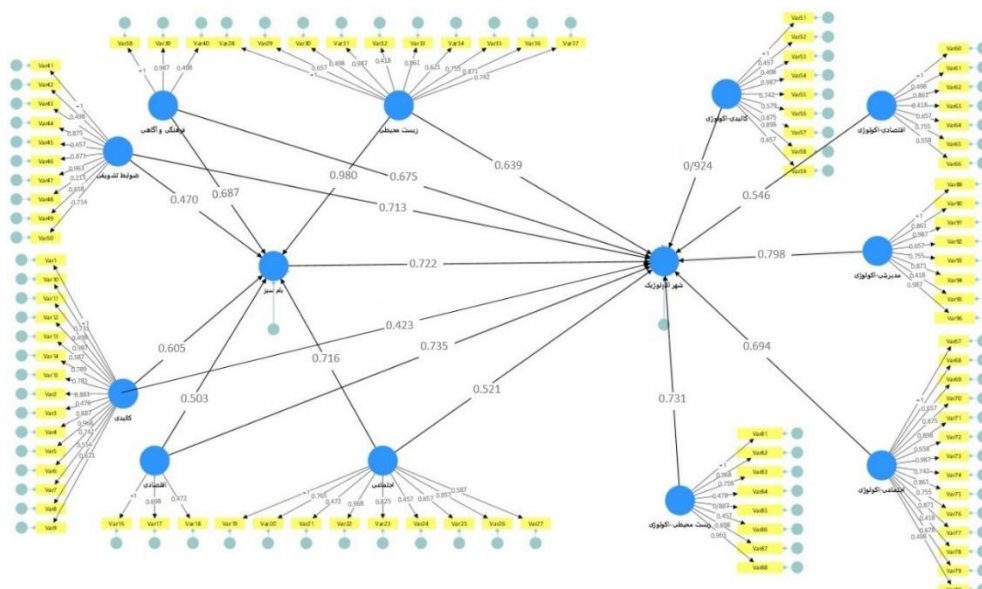
پاسخگویان را متأهلین تشکیل داده‌اند. تحصیلات اکثریت پاسخگویان با ۵۰/۳۰ درصد دارای مدرک کارشناسی ارشد و ۳۶/۷ درصد دارای مدرک دکتری و ۱۳/۳ درصد مدرک کارشناسی بودند. محل اشتغال ۴۳/۳ درصد از پاسخگویان در شهرداری مشغول با سابقه شغلی بیش از ۲۰ سال (۵۶/۷ درصد) می‌باشند. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از کشیدگی و چولگی سؤالات متغیرهای تحقیق استفاده شد. نتایج مربوط به چولگی و کشیدگی نشان‌دهنده (بین -۲ تا +۲) توزیع نرمال داده‌ها می‌باشد.

تبیین مدل پژوهشی از طریق مدل معادلات ساختاری

مقدار R^2 محاسبه‌شده برای عامل بام سبز (۰/۴۵۹) و برای عامل شهر اکولوژیک (۰/۷۵۵) در سطح مطلوب و مناسبی می‌باشد. در تحلیل ضریب تعیین مکان سوم بر کیفیت محیطی در شهر اهواز، می‌توان این‌گونه اذعان داشت؛ مکان سوم (متغیر مستقل یا پیش‌بین) ۴۵/۹ درصد از واریانس متغیر کیفیت محیط (متغیر وابسته یا ملاک) را دارا است؛ و در سطح مطلوبی می‌باشد (جدول ۵).

جدول ۵. مقدار ضریب تعیین، ضریب رگرسیون، ضریب قابلیت اعتماد ترکیبی در عامل‌ها و معرف‌ها

معرف	ضریب قابلیت اعتماد ترکیبی	ضریب مسیر یا ضریب رگرسیون	عامل	R^2 ضریب تعیین
کالبدی	۰/۷۸۸	۰/۶۰۵	بام سبز	۰/۴۵۹
اقتصادی	۰/۸۵۱	۰/۵۰۳		
اجتماعی	۰/۷۹۸	۰/۷۱۶		
محیط‌زیستی	۰/۷۰۱	۰/۹۸۰		
فرهنگی و آگاهی	۰/۷۵۸	۰/۶۸۷		
ضوابط تشویقی	۰/۷۲۸	۰/۴۷۰		
بام سبز	***	۰/۷۲۲		
کالبدی	۰/۶۷۱	۰/۹۲۴	شهر اکولوژیک	۰/۷۵۵
اقتصادی	۰/۷۱۰	۰/۵۴۶		
اجتماعی	۰/۹۰۵	۰/۶۹۴		
محیط‌زیستی	۰/۷۱۳	۰/۷۳۱		
مدیریتی	۰/۶۲۵	۰/۹۳۵		
شهر اکولوژیک	***	***		



شکل ۲. بررسی ضریب رگرسیون، ضریب تعیین و ضریب مسیر در سطح عامل‌ها، معرف‌ها و گونه‌های پژوهش

مدل آزمون شده در حالت استاندارد یا الگوریتم PLS و ضریب رگرسیون در شکل شماره ۲ قابل مشاهده است، اعداد مشخص شده بر روی مسیرها بیانگر بنای استاندارد شده در رگرسیون یا ضریب همبستگی دو شاخص و گویه هستند؛ که جهت بررسی میزان تأثیر مستقیم یک متغیر بر متغیر دیگر بررسی و تحلیل می‌شوند. تفاوت معنادار این ضرایب با صفر دارای اهمیت است؛ بررسی معناداری ضرایب (ضریب رگرسیون و ضریب تعیین)، از طریق خودگردان سازی (دستور BootVartrapping)، محاسبه شد. با توجه به مقدار P Value در متغیر مستقل یا پیش‌بین (بام سبز) بر متغیر وابسته یا ملاک (شهر اکولوژیک) $0/001$ با اطمینان ۹۵ درصد، می‌توان گفت در جامعه آماری هم ضریب رگرسیونی و ضریب تعیین برابر با صفر نمی‌باشد. بنابراین تفاوت $0/722$ با صفر معنادار می‌باشد، و اثر بام سبز بر شهر اکولوژیک در نمونه آماری یک اثر معنادار می‌باشد، لذا انتظار داریم؛ در جامعه آماری، نیز چنین اثر قوی و مثبتی وجود داشته باشد (جدول شماره ۶). نتایج تفاوت مقدار ضریب در جامعه آماری با فواصل اطمینان در حالت اُریب^۱ تصحیح شده بیانگر این است؛ که با فاصله اطمینان ۹۵ درصد در جامعه آماری برای عامل بام سبز (متغیر پیش‌بین) عددی بین $0/623$ تا $-0/986$ می‌باشد، و فقط ۵ درصد احتمال این که ضریب از عدد $-0/986$ کوچک‌تر و یا از عدد $0/623$ بزرگ‌تر باشد، وجود دارد. در خصوص رابطه برخی معرف‌ها همچون رابطه کالبدی- $<$ شهر اکولوژیک؛ این ضریب با توجه به مقدار سطح معناداری و آماره T (کوچک‌تر از $1/96$) قابل اعتنا نمی‌باشد، در مجموع با توجه به معنادار بودن ضرایب رگرسیون و ضریب تعیین می‌توان نتیجه گرفت؛ ۶ بعد (کالبدی، اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی، فرهنگی و آگاهی، ضوابط تشویقی) بر بام‌های سبز شهر نجف‌آباد تأثیرگذار می‌باشند. در خصوص شهر اکولوژیک در پنج بعد کالبدی، اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و مدیریتی این امر تنها در چهار بعد؛ اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی، مدیریتی صادق است، و در بعد کالبدی رابطه مورد تأیید قرار نگرفت.

۱. منظور از اُرب، تفاوت، است که از خودگردانی سازی، نیست به مقدار ضرب واقعی، اولیه به دست آمده است. VARsample mean.

جدول ۶. مقدار آماره T، P Value، و فواصل اطمینان در سطح عامل‌ها و معرف‌ها

نتیجه	Confidence Interval		سطح معناداری	آماره t	ضریب مسیر	رابطه‌ها
	حد بالا	حد پایین				
کالبدی-< بام سبز	۰/۶۸۳	-۰/۶۱۴	۰/۰۱۸	۳/۳۶۴	۰/۶۰۵	تأیید
اقتصادی-< بام سبز	۱/۰۱۶	-۰/۶۱۷	۰/۰۳۲	۲/۱۴۵	۰/۵۰۳	تأیید
اجتماعی-< بام سبز	۰/۵۴۱	-۰/۲۰۴	۰/۰۱۳	۸/۰۰۹	۰/۷۱۶	تأیید
محیط‌زیستی-< بام سبز	۱/۰۲۳	-۰/۲۷۱	۰/۰۴۹	۳/۴۴۴	۰/۹۸۰	تأیید
فرهنگی و آگاهی-< بام سبز	۰/۴۱۳	-۱/۲۱۷	۰/۰۱۵	۲/۵۷۹	۰/۶۸۷	تأیید
ضوابط تشویقی-< بام سبز	۰/۱۳۱	-۰/۷۲۷	۰/۰۰	۳/۵۶۷	۰/۴۷۰	تأیید
کالبدی-< شهر اکولوژیک	۱/۱۱۴	-۰/۱۳۲	۰/۰۵۸	۱/۴۱۳	۰/۹۲۴	رد
اقتصادی-< شهر اکولوژیک	۰/۹۰۴	-۰/۸۳۴	۰/۰۰۰	۹/۳۰۸	۰/۵۴۶	تأیید
اجتماعی-< شهر اکولوژیک	۰/۶۸۴	-۱/۳۷۵	۰/۰۰۲	۳/۰۴۹	۰/۶۹۴	تأیید
محیط‌زیستی-< شهر اکولوژیک	۰/۶۷۰	-۱/۲۰۷	۰/۰۰۰	۱۵/۲۵۶	۰/۷۳۱	تأیید
مدیریتی-< شهر اکولوژیک	۱/۰۴۹	-۰/۸۹۵	۰/۰۰۰	۱۶/۵۳۸	۰/۷۹۸	تأیید
کالبدی-< شهر اکولوژیک	۱/۰۴۹	-۰/۸۷۱	۰/۰۱۲	۵/۲۳۸	۰/۴۲۳	تأیید
اقتصادی-< شهر اکولوژیک	۱/۰۳۷	-۰/۷۲۹	۰/۰۰۵	۱۴/۴۲۳	۰/۷۳۵	تأیید
اجتماعی-< شهر اکولوژیک	۰/۹۷۲	-۰/۴۹۹	۰/۰۱۴	۱۳/۲۳۶	۰/۵۲۱	تأیید
محیط‌زیستی-< شهر اکولوژیک	۱/۰۸۰	-۱/۰۷۷	۰/۰۸۰	۰/۴۱۳	۰/۶۳۹	رد
فرهنگی و آگاهی-< شهر اکولوژیک	۱/۵۷۰	-۱/۰۴۳	۰/۰۰۷	۳/۸۷۹	۰/۶۷۵	تأیید
ضوابط تشویقی-< شهر اکولوژیک	۰/۷۵۷	-۰/۸۱۲	۰/۱۹۲	۱/۳۰۷	۰/۷۱۳	رد
بام سبز-< شهر اکولوژیک	۰/۶۲۳	-۰/۹۸۶	۰/۰۰۱	۸/۲۵۲	۰/۷۲۲	تأیید

با توجه به سطح معناداری در جدول شماره ۶ رابطه اصلی پژوهش (بام سبز-< شهر اکولوژیک) وضعیت قابل قبولی را دارد، که در خصوص مقادیر T، که قابل مقایسه با مقدار ثابت ۱/۹۶ می‌باشند؛ با توجه به بزرگ‌تر بودن این رابطه از ۱/۹۶ می‌توان نتیجه گرفت؛ که دارای تفاوت معنادار با صفر هستند؛ بزرگ‌تر بودن آماره T از عدد ثابت ۱/۹۶ یعنی با اطمینان حداقل ۹۵ درصد ضریب رگرسیون با صفر، دارای تفاوت معنادار است. نتایج این بخش به گونه‌ای که در تمام شاخص‌ها با اثرات مستقیم دارای ضریب مشخص هستند، در بین ابعاد بام سبز معرف محیط‌زیستی بیشترین ضریب و تأثیر آن در بام‌های سبز شهر نجف‌آباد را دارد؛ و ابعاد کالبدی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و آگاهی، و ضوابط تشویقی نیز به عنوان عامل محرک و میانجی در رده‌های بعدی اثرگذاری قرار دارند. در عامل شهر اکولوژیک، شاخص محیط‌زیستی با ۱۵/۲۵۶ بیشترین تأثیر (از لحاظ آماره T)، و معرف‌های اقتصادی، اجتماعی، مدیریتی به عنوان میانجی در رده بعدی قرار دارند. معرف کالبدی نیز با سطح آماره T ۱/۴۱۳ نیز تأثیر قابل‌اعتنایی بر عامل شهر اکولوژیک ندارد.

به‌طورکلی نتایج حاصل از تحلیل معادلات ساختاری (PLS) نشان‌دهنده تأیید اثر قوی و معنی‌دار بام سبز با ضریب مسیر ۰/۰۷۲۲ ($P < 0.001$ ، $T = 8.252$) بر تحقق‌پذیری شهر اکولوژیک در نجف‌آباد بود. این ضریب، که با فاصله اطمینان ۹۵٪ (۰/۶۲۳ تا ۰/۹۸۶) محاسبه شد، نشان‌دهنده شدت بالای تأثیر بام‌های سبز است. در این بین شاخص محیط‌زیستی با ضریب ۰/۹۸۰ ($T = 3.444$) و شاخص اجتماعی با ضریب ۰/۷۱۶ ($T = 8.009$) بیشترین تأثیر را داشتند، که با چالش‌های شهر نجف‌آباد نظیر آلودگی صنعتی و نیاز به فضاهای عمومی هم‌خوانی دارد.

تحلیل عاملی اکتشافی برای تعیین ابعاد

در مرحله دوم، جهت استخراج ابعاد شاخص شهر اکولوژیک در ۶ منطقه شهر نجف‌آباد ۱۱ مؤلفه استخراج شده در تحلیل عاملی اکتشافی مرتبه اول در معرض تحلیل مؤلفه اصلی قرار گرفتند. اندازه‌های KMO و نتایج آزمون کرویت بارتلت برای ابعاد شهر اکولوژیک در مناطق شهر نجف‌آباد در جدول شماره (۷) نمایش داده شده است. چنانکه در این جدول دیده می‌شود، مقدار KMO برابر با ۰/۸۷۰ است که نزدیک ۱ است. همچنین سطح معنادار بودن مشخصه آزمون کرویت بارتلت نیز صفر است که کوچک‌تر است ۰/۰۵ است و نشان می‌دهد از لحاظ آماری معنادار است. بنابراین، بر پایه هر دو ملاک می‌توان نتیجه گرفت که اجرای تحلیل عاملی بر اساس ماتریس همبستگی حاصل در گروه نمونه مورد مطالعه، قابل توجیه خواهد بود (جدول ۷).

جدول ۷. اندازه‌های KMO و نتایج آزمون کرویت بارتلت

شاخص KMO	۰/۸۷۰
مجذور خی	۲۸۵۶/۶۰۲
درجه آزادی	۹۱
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰

خروجی دوم تحلیل عاملی اکتشافی است. هرچه مقادیر اشتراک استخراجی بزرگ‌تر باشد، عامل‌های استخراج شده، متغیرها را بهتر نشان می‌دهند. با توجه به جدول شماره ۸، مقادیر اشتراکات استخراجی حاصل از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌ها بالاتر از مقدار ۰/۴ قرار داشته که تأییدی بر مناسب بودن داده‌ها و تحلیل عاملی می‌باشد.

جدول ۸. اشتراکات برای استخراج ابعاد شهر اکولوژیک

مؤلفه‌ها-ابعاد	اشتراکات اولیه	اشتراکات استخراجی
کالبدی	۱	۰/۶۳۰
اقتصادی	۱	۰/۵۶۸
اجتماعی	۱	۰/۵۸۱
محیط‌زیستی	۱	۰/۶۹۲
فرهنگی و آگاهی	۱	۰/۶۸۰
ضوابط تشویقی	۱	۰/۶۷۵

ارائه سناریوهای توسعه بام سبز در شهر اکولوژیک

برای ارائه سناریوهای توسعه بام سبز در شهر اکولوژیک از طریق درخت پوشای مینیمم وضعیت طبق گام‌های تحلیل انجام گرفت و ماتریس مقایسات ۱۱*۱۱ تهیه و الگوی آن ارائه گردید (جدول ۹).

جدول ۹. ماتریس مقایسات درخت مدنظر

	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	
A1	۳	۱۱	۷	۸	۹	۲	۱	۴	۵	۶	۰	
A2	۳	۸	۹	۱۲	۳	۴	۱	۶	۷	۰	۴	
A3	۸	۹	۴	۳	۲	۴	۳	۳	۰	۳	۷	
A4	۱	۶	۵	۴	۸	۹	۴	۰	۲	۴	۱۱	
A5	۷	۸	۹	۲	۳	۶	۰	۲	۳	۵	۳	
A6	۲	۱	۸	۵	۳	۰	۳	۳	۵	۲	۱۲	
A7	۷	۴	۴	۳	۰	۱	۲	۴	۱	۱	۲۲	
A8	۷	۹	۲	۰	۳	۴	۵	۱	۶	۳	۱۷	

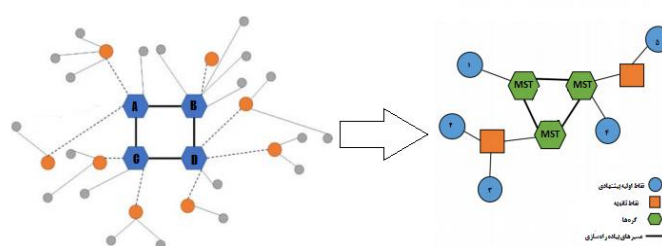
A9	۲	۱	۱	۴	۷	۶	۴	۲	۰	۹	۷
A10	۵	۶	۴	۶	۹	۷	۲	۳	۲	۰	
A11	۶	۷	۱۵	۷	۴	۳	۸	۳	۱	۴	۰

همچنین چگونگی استخراج فواصل در قالب شکل و اعداد متناظر با آن نیز با توجه به شاخص‌های اقتصادی، اکولوژیک، اجتماعی و علمی در قالب جدول و شکل ارائه گردید. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با توجه به دریافت اطلاعات ورودی شبکه واقعی و جهت‌دار در سطح ۵ منطقه شهر نجف‌آباد برای شناسایی بایدها و نبایدهای توسعه بام سبز در رویکرد شهر اکولوژیک با توجه به شاخص‌های ۱۱ گانه ارائه گردید (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. سناریوهای توسعه بام سبز در شهر اکولوژیک

سناریو	تئوری توابع ریاضی	میزان اثر هر سناریو
سناریو (اکولوژیک)	$p_i(n+1) = (1-a)p_i(n) + a$	فاصله‌گیری از نقاط با امنیت پایین و تحلیل میانگین و واریانس اثر شاخص‌ها
سناریو (اجتماعی)	$p_j(n+1) = (1-a)p_j(n) \quad \forall j \neq i$	دسترسی به شاخص‌های اجتماعی و شناسایی درخت پوشایی اولیه برای آن
سناریو (اقتصادی)	$p_i(n+1) = (1-b)p_i(n)$	دسترسی‌های اقتصادی و برآورد زنجیره میزان عاملیت اقتصاد در تصمیم‌گیری
سناریو (علمی)	$p_j(n+1) = (1-b)p_j(n) + \frac{b}{r-1} \quad \forall j$	شناسایی و تأمین ابزار آموزشی برای شاخص‌های علمی

خروجی متناظر بهینه‌ترین سناریوهای اجراشده در محیط MATLAB ۲۰۱۶، در قالب شکل ۳ ارائه گردید، لازم به ذکر است تمامی مراحل بعد از کد نویسی و RUN کردن نرم‌افزار اتفاق افتاده است.



شکل ۳. سناریوهای توسعه بام سبز در شهر اکولوژیک

جدول ۱۱. محاسبات عددی توسعه امنیت اجتماعی

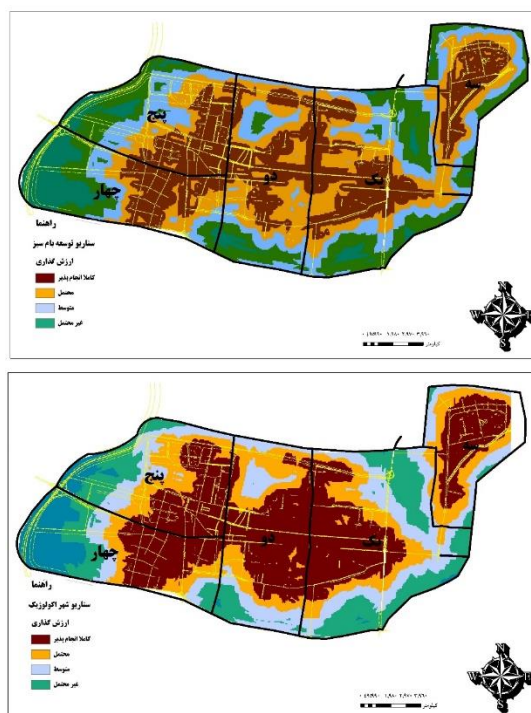
سناریو	MST	Nodes	sig
سناریو ۱	۷۸/۱۲	۱/۰۰۱	۰/۰۰۱
سناریو ۲	۶۹/۳۱	۱/۰۰۱	۰/۰۰۱
سناریو ۳	۸۱/۴۹	۱/۰۰۱	۰/۰۰۱
سناریو ۴	۷۵/۱۷	۱/۰۰۱	۰/۰۰۱

در جدول ۱۱ بر حل مسئله در حالت سناریوهای پیش‌فرض حل‌کننده ستون nodes اضافه گردید. که مربوط به حل مسئله آزادسازی خطی به کمک الگوریتم است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که بر اساس اولویت‌های موجود ۴ سناریو بهینه در سطح ۵ منطقه شهر نجف‌آباد برای توسعه بام سبز در شهر اکولوژیک وجود دارد، که با انتقال این داده‌ها و اطلاعات به محیط نرم‌افزار Arc Gis به فضایی سازی این شاخص‌های می‌پردازیم. همچنین ساختار سناریوهای اول در فاز جستجوی محلی و دو ساختار بعدی در فاز پرش به کار می‌روند. در هر ساختار بعد از تعیین مکان‌ها و تخصیص

مسیرها به این مراکز، مسیرهای بهینه از طریق تحلیل شبکه مرکزی (Network Analyst Tools) در محیط ArcGis به ازای هر جفت گره مبدأ/ مقصد بروز خواهد شد. در هر جواب سناریو در صورتی که مسیر بین جفت گره مبدأ/ مقصد شامل دو سناریو باشد آنگاه با توجه به هزینه‌ها و محدودیت‌های زمانی، یکی از این مسیرها انتخاب خواهد شد.

گام دوم: فضایی سازی توسعه بام سبز در شهر اکولوژیک

به منظور بررسی فضایی سازی سناریوهای موجود در جهت بررسی و وضعیت توسعه بام سبز در شهر اکولوژیک ابتدا تمام اطلاعات محیط نرم‌افزار matlab با خوانش و تصحیح اطلاعات به محیط GIS انتقال داده شد و در نهایت از طریق ابزار Tracking Analyst Tools و ابزار Make Tracking Layer به ساخت سناریوها و کدهای موجود پرداخته شد (شکل ۴).



شکل ۴. وضعیت ساخت و طراحی ساختار شبکه هدفمند برای تحقق شهر اکولوژیک

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد ابتدا تمامی سناریوهای چهارگانه موجود در پژوهش ضمن تلفیق شدن و همپوشانی به خروجی نقشه انجامید که در چهار سطح مراکز توسعه وضعیت بام سبز در سطح شهر نجف‌آباد تحلیل گردید که این تحلیل مبتنی بر اطلاعات شاخص‌های کالبدی، اقتصادی اجتماعی و به ویژه محیط‌زیستی در این شهر بود در ادامه و برای انطباق وضعیت توسعه بام سبز بر شهر اکولوژیک ضمن ارائه مدل‌های مختلف در سناریوها با استفاده از شاخص‌های موجود در شهر اکولوژیک وضعیت ساختار شهر ارائه گردید که تمامی اطلاعات موجود نشان از انطباق بیش از ۷۰ درصد مناطق شهر حکایت دارد. اطلاعات این بخش حاکی از آن بود که ساخت و طراحی ساختار شبکه هدفمند از توسعه وضعیت بام سبز در شهر نجف‌آباد همپوشانی و انطباق بالایی در ارائه سناریو برای تحقق شهر اکولوژیک را دارا می‌باشد.

مقایسه وضعیت توسعه بام سبز در شهر نجف‌آباد در سطح مناطق ۵ گانه

جهت مقایسه توسعه بام سبز در سطح مناطق ۵ گانه شهر نجف‌آباد از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شده و نتایج موردنظر در جدول ۱۲ آورده شده است. به‌طور کلی هرگاه برابری بیش از دو میانگین مورد آزمون قرار گیرد، از آزمون تحلیل واریانس استفاده می‌شود. در مواردی که یک متغیر مستقل مقوله‌ای وجود داشته و آزمودنی‌ها به‌طور تصادفی به بیش از دو گروه تقسیم شده باشند، تحلیل یک عاملی واریانس بکار برده می‌شود. در تحلیل واریانس یک عاملی فرض صفر مبنی بر برابری تمام میانگین‌ها است.

جدول ۱۲. مقایسه وضعیت توسعه بام سبز سطح در مناطق مورد مطالعه

نام منطقه	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار
منطقه ۱	۸	۳/۰۲	۰/۸۹۲
منطقه ۲	۶	۳/۵۲	۰/۹۶۳
منطقه ۳	۵	۳/۵۴	۰/۸۸۹
منطقه ۴	۵	۳/۵۰	۰/۹۵۸
منطقه ۵	۶	۳/۳۶	۱/۰۲۴

نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفه نشان داد، که مقایسه وضعیت توسعه بام سبز در سطح مناطق ۵ گانه شهر نجف‌آباد در سطح ۹۵ درصد اطمینان معنادار بوده است ($P < 0/05$) و ($F = 11/168$). به این معنا که میزان توسعه بام سبز در میان مناطق مختلف شهری، مقادیر متفاوتی بوده است. مقایسه میانگین امکان توسعه بام‌های سبز در بین مناطق مختلف شهر نجف‌آباد نیز نشان داد، که بالاترین میزان پتانسیل برای توسعه بام سبز مربوط به منطقه ۳ (محدوده ویلاشهر) با میانگین ۳/۵۴ می‌باشد و پایین‌ترین میزان پتانسیل توسعه بام سبز نیز مربوط به منطقه ۱ (مرکز و شرق محدوده مرکزی نجف‌آباد) با میانگین ۳/۰۲ است.

به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از تحلیل GIS نشان‌دهنده پتانسیل بالاتر مناطق ۳ و ۲ با میانگین‌های ۳/۵۴ و ۳/۵۲ بود. می‌توان اذعان داشت، این نتایج با شاخص‌های محیط‌زیستی و کالبدی مدل مفهومی مرتبط می‌باشند، زیرا این مناطق به دلیل تراکم کمتر (۲۴ و ۲۰ نفر در هکتار) و دسترسی به باغات حاشیه‌ای، ظرفیت بالاتری برای کاهش آلودگی و توسعه بام‌های سبز دارند.

بحث

بررسی‌ها نشان‌دهنده ظرفیت بالای توسعه بام‌های سبز در شهر نجف‌آباد برای تحقق شهر اکولوژیک می‌باشد، در این راستا توجه به چالش‌هایی نظیر کمبود منابع آبی، فرونشست زمین (۱۲ سانتی‌متر سالانه)، و سرانه پایین فضای سبز (۷-۱۵ مترمربع/نفر)، آلودگی هوا و... می‌بایست مدنظر قرار گیرد. نتایج تحلیل معادلات ساختاری (PLS) با ضرایب مسیر ۰/۹۸۰ برای شاخص محیط‌زیستی و ۰/۷۱۶ برای شاخص اجتماعی، تأکید می‌کند، که ساختار محیط‌زیستی شهر و انگیزه‌های اجتماعی و فرهنگی شهروندان نجف‌آبادی، نقشی محوری در پذیرش و اجرای بام‌های سبز در این شهر دارند، و این ابعاد و شاخص‌های بام سبز، باید در اولویت برنامه‌ریزی جهت دستیابی به شهر اکولوژیک نجف‌آباد قرار بگیرند.

نتایج بررسی‌ها نشان داد که با مطالعات جهانی مانند جیم و هوی (2022) و مطالعات محلی همچون طاهری میرقائد و صابری (۱۴۰۰) مبنی بر تأثیر آموزش عمومی بر موفقیت پروژه‌های سبز شهری هم‌خوانی دارد. همچنین، اولویت‌بندی مناطق با تحلیل واریانس یک‌طرفه ($P < 0.05, F = 4.90$)، نشان داد؛ که مناطق ۳ (ویلاشهر) و ۲ (غرب محدوده مرکزی

شهر) با میانگین‌های ۳/۵۴ و ۳/۵۲ بالاترین پتانسیل را دارند، درحالی‌که مناطق ۱ (مرکز و شرق محدوده مرکزی شهر) و ۵ (محدوده امیرآباد) به ترتیب با میانگین‌های ۳/۰۲، ۳/۳۶ نیازمند مداخلات بیشتری هستند. این یافته‌ها با تحقیقات محلی صابری و براتی (۱۴۰۱) که بر اهمیت توزیع متعادل فضای سبز در شهرهای نیمه‌خشک تأکید دارند، سازگار است. نوآوری این پژوهش در تلفیق الگوریتم رقابت استعماری و تحلیل مکانی GIS با داده‌های بومی می‌باشد، که از مطالعات پیشین مانند عمر اکمکجی اوغلو (2023) که بر مدیریت و شناسایی انواع بام سبز در مناطق پرباران نظیر ترکیه متمرکز بود، متمایز می‌کند. طراحی چهار سناریوی بهینه با الگوریتم درخت هم‌پوشانی مینیمم در MATLAB، با تأکید بر فازهای جستجوی محلی و پرش، راهکاری نوین برای کاهش هزینه‌های زیرساختی ارائه کرد، که در تحقیقات مشابه کمتر دیده شده است. با این حال، محدودیت‌هایی مانند عدم دسترسی به داده‌های به‌روز مرزی مناطق پنج‌گانه و نیاز به همکاری بیشتر با ذی‌نفعان محلی (مانند شهرداری نجف‌آباد) می‌تواند، بر اجرای عملی این الگو اثر بگذارد. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده با استفاده از داده‌های تفصیلی و شبیه‌سازی‌های پویا (مانند مدل‌های SWMM برای مدیریت آب) این نتایج را تکمیل کنند، تا اثربخشی بام‌های سبز در کاهش اثرات تغییرات اقلیمی در نجف‌آباد به‌طور دقیق‌تر ارزیابی شود.

نتیجه‌گیری

مفهوم شهر اکولوژیک به عنوان یک رویکرد ساختاری و جامع با تأکید بر پایداری در ابعاد مختلف اقتصادی، کالبدی، اجتماعی، مدیریتی و با رعایت ملاحظات محیط‌زیستی، می‌تواند در بازسازی بافت‌های شهری همسو با طبیعت تأثیر بسزایی داشته باشد. از طرفی در شهر نجف‌آباد با توجه به مسائلی نظیر افزایش آلودگی‌ها، کمبود منابع آبی و زمین شهری؛ توسعه بام‌های سبز، به عنوان گونه‌ای از فضاهای سبز شهری، می‌تواند در جهت ارتقاء سرانه فضاهای سبز، کیفیت محیط‌زیست شهری، کاهش آلودگی‌ها، زیباسازی منظر شهری، مطلوب سازی شرایط آب و هوایی، و در نهایت تحقق شهر اکولوژیک موردتوجه قرار گیرد. بام‌های سبز، به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی معماری سبز، با ایجاد فضاهای سبز عمودی، نه تنها به بهبود کیفیت محیط‌زیست شهری کمک می‌کنند، بلکه با کاهش اثرات جزایر گرمایی، بهبود کیفیت هوا، و کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها، به تحقق اهداف شهر اکولوژیک در نجف‌آباد یاری می‌رسانند. در این راستا پژوهش حاضر، با تحلیل شاخص‌های کلان مرتبط با بام‌های سبز و شهر اکولوژیک، نشان داد؛ که این فناوری می‌تواند نقشی محوری در بازسازی بافت شهری نجف‌آباد در هماهنگی با طبیعت ایفا کند.

تحلیل‌های انجام‌شده، نشان‌دهنده پتانسیل متفاوت مناطق مختلف نجف‌آباد برای توسعه بام‌های سبز است، که این امر نیازمند برنامه‌ریزی منطقه محور و توجه به ویژگی‌های خاص هر منطقه می‌باشد. مناطق با پتانسیل بالاتر، مانند مناطق مسکونی یا تجاری با زیرساخت‌های مناسب به ویژه منطقه ۱ و ۲ در قسمت مرکزی شهر نجف‌آباد، می‌توانند به عنوان نقاط شروع برای اجرای پروژه‌های بام سبز مورد استفاده قرار گیرند. در مقابل، مناطق با محدودیت‌های زیرساختی یا کمبود منابع، نیازمند اقدامات اولیه مانند بهبود سیستم‌های آبیاری یا ارائه مشوق‌های مالی هستند. استفاده از فناوری‌های نوین، مانند سیستم‌های بازیافت آب و مصالح سبک برای بام‌های سبز، می‌تواند محدودیت‌های موجود در نجف‌آباد را به فرصت‌هایی برای توسعه پایدار تبدیل کند. این رویکرد نه تنها به افزایش سرانه فضای سبز و بهبود منظر شهری منجر می‌شود، بلکه با ایجاد فضاهای زیست‌پذیرتر، کیفیت زندگی ساکنان را ارتقاء می‌دهد.

از این رو برای محله‌های با تراکم بالای مسکونی و تجاری (مانند مناطق مرکزی یا نزدیک به مراکز شهری)، پیشنهاد می‌شود، پروژه‌های بام سبز ابتدا بر روی ساختمان‌های عمومی مانند مدارس، بیمارستان‌ها (همچون بیمارستان شهید محمد منتظری)، و ادارات اجرا شود، تا آگاهی عمومی افزایش یابد و الگویی برای بخش خصوصی ایجاد شود. در مناطق حومه‌ای همچون منطقه ۳ (ویلاشهر) با پتانسیل بالا، ارائه مشوق‌های مالی مانند یارانه یا وام‌های کم‌بهره برای مالکان ساختمان‌ها می‌تواند مشارکت را تقویت کند. برای مناطق دیگر (مانند مناطق ۴ (یزدانشهر و فیروزآباد) و منطقه ۵ (امیرآباد و آزادگان) با زیرساخت‌های ضعیف‌تر)، تمرکز بر بهبود زیرساخت‌های آبیاری و استفاده از گیاهان بومی مقاوم به کم‌آبی توصیه می‌شود. در تمام مناطق، تدوین سیاست‌های محلی برای اجباری کردن نصب بام سبز در ساختمان‌های اداری و دولتی و همکاری بین شهرداری، سازمان‌های زیست‌محیطی، و بخش خصوصی برای تأمین منابع مالی و فنی ضروری می‌باشد. همچنین، برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای ساکنان و مدیران شهری در هر پنج منطقه می‌تواند، به افزایش پذیرش اجتماعی و اجرای موفق بام‌های سبز در راستای تحقق شهر اکولوژیک در نجف‌آباد کمک کند.

الگوی بومی‌سازی شده برای باغ شهر نجف‌آباد به عنوان رویکردی که بر توسعه بام سبز به عنوان راهکاری پایدار برای بازسازی اکولوژیکی و تقویت هویت باغ‌شهری نجف‌آباد تأکید دارد، می‌تواند با استفاده از گیاهان بومی مقاوم به کم‌آبی (مانند انار، انگور و زیتون) و بهره‌گیری از تحلیل‌های فضایی برای شناسایی مناطق با پتانسیل بالا (مانند مناطق کم‌تراکم با دسترسی به زیرساخت‌های مناسب)، به تحقق‌پذیری اصول شهر اکولوژیک منجر شود. این الگو به کاهش آلودگی هوا، مدیریت روان‌آب‌ها و افزایش تعاملات اجتماعی کمک می‌کند. همچنین، با اولویت‌بندی شاخص‌های محیط‌زیستی و اجتماعی، نه تنها به احیاء اکوسیستم نجف‌آباد کمک می‌کند، بلکه الگویی قابل‌اجرا برای سایر شهرهای میانی ایران با شرایط مشابه فراهم می‌آورد.

با توجه به مطالب ارائه‌شده، می‌توان اذعان داشت، مطالعه حاضر با پر کردن خلأ پژوهشی در زمینه الگوهای بومی‌سازی شده برای توسعه بام‌های سبز در شهرهای میانی ایران، به ویژه نجف‌آباد، گامی نوین برداشته است. و برخلاف مطالعات پیشین همچون طاهری میرقائد و صابری (۱۴۰۰)، که عمدتاً بر کلان‌شهرها یا شهرهای توسعه‌یافته متمرکز بودند، این مطالعه با تلفیق تحلیل‌های آماری (PLS و SPSS) با تحلیل‌های مکانی (GIS) و استفاده از الگوریتم درخت هم‌پوشانی مینیمم، الگویی مکان‌محور و داده‌محور برای نجف‌آباد ارائه داد. لذا، با توجه به شرایط و مشکلات این شهر (نظیر آلودگی صنعتی، کمبود زمین و اقلیم نیمه‌خشک)، راهکارهایی عملی ارائه‌شده در پژوهش حاضر می‌تواند به عنوان الگویی برای سایر شهرهای مشابه ایران مورد استفاده قرار گیرد. به گونه‌ای که نتایج این پژوهش، به ویژه الگوی بومی‌سازی شده برای توسعه بام‌های سبز، قابلیت تعمیم به سایر شهرهای میانی ایران با ویژگی‌های مشابه (نظیر اقلیم نیمه‌خشک، آلودگی صنعتی و سرانه پایین فضای سبز) مانند شهرهای کاشان، یزد و اراک را دارد. همچنین استفاده از گیاهان بومی مقاوم (مانند زیتون، انار و انگور و...) و تحلیل‌های مکان‌محور GIS، که در این پژوهش به کار رفت، می‌تواند با تنظیمات جزئی (مانند انتخاب گیاهان متناسب با اقلیم محلی) در این شهرها پیاده‌سازی شود. با این حال، تعمیم کامل نتایج نیازمند مطالعات تکمیلی با داده‌های محلی این شهرها می‌باشد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسنده اول: تدوین مقدمه، بیان مسئله، بخش‌هایی از روش‌شناسی، تحلیل‌های آماری و نگارش اولیه مقاله، انجام اصلاحات داوری

نویسنده دوم: مشارکت در طراحی اولیه پژوهش و بازبینی کلی ساختار مقاله
نویسنده سوم: تدوین بخش بحث، نتیجه‌گیری، تفسیر یافته‌ها و تکمیل نگارش مقاله
نویسنده چهارم: مشارکت در گردآوری داده‌ها، مرور نهایی متن و اصلاحات جزئی مقاله

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

از افراد حقیقی و همچنین اساتید و مسئولین دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد که در فرآیند انجام پژوهش همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنیم.

منابع

- امیری فهلیانی، محمدرضا؛ صفایی پور، مسعود و سجادیان، ناهید. (۱۳۹۹). تحلیل تأثیر جهانی‌شدن در تدوین اکولوژی اجتماعی شهرهای ایران مورد مطالعه: کلان‌شهر اهواز. *مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی*، ۱۰(۳۶)، ۲۸۲-۳۰۵. DOI: 10.22059/JSSPP.2020.109549
- براتی، ابراهیم؛ صابر، حمید؛ خادم الحسینی، احمد و اذانی، مهری. (۱۴۰۱). تعیین عوامل بومی مؤثر در دستیابی به شهر اکولوژیک (مطالعه موردی: شهر درچه). *آمایش سرزمین پردیس فارابی*، ۱۴(۲)، ۴۰۱-۴۲۶. DOI: 10.22059/jtcp.2022.339211.670307
- پوراحمد، احمد؛ ابادزی، نسرين؛ حیدری، اصغر و غنی زاده قاسم‌آبادی، هادی. (۱۳۹۷). تحلیل اکولوژی شهر تهران با تأکید بر شاخص‌های اکولوژی امنیتی. *کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۱۶(۱)، ۱۱۹-۱۴۸.
- جباری، امید. (۱۳۹۸). شناسایی، تاریخچه، تعریف و مزایای بام سبز در توسعه پایدار شهری. *ششمین کنگره ملی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران*.
- حسینی، سید مصطفی؛ رهنما، محمدرحیم؛ شکوهی، محمد اجزاء و خوارزمی، امیدعلی. (۱۴۰۲). ارزیابی شاخص‌های عینی شهر سبز در کلان‌شهر مشهد. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۳(۴)، ۱۳۵-۱۵۰. DOI: 10.30488/gps.2023.381265.3610
- دانه‌کار، افشین و سبحانی، پروانه. (۱۴۰۳). ارزیابی توان اکولوژیک و تعادل سنجی توسعه کلان‌کاری‌ها در مجموعه شهری تهران-البرز. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۴(۴)، ۳۷-۵۷. DOI: 10.30488/gps.2024.466071.3759
- درگاه شهرداری نجف‌آباد، پورتال شهرداری نجف‌آباد Municipality of Najafabad | دسترسی تیرماه ۱۴۰۳.
- سرشماری عمومی نفوس و مسکن، ۱۳۹۵، مرکز ملی آمار ایران
- شریفی، پریا؛ منوچهری، ایوب؛ جوان، خدیجه و رضانی‌مهریان، مجید. (۱۴۰۳). تأثیر توسعه اراضی شهری بر الگوی سیمای سرزمین و ریسک اکولوژیکی. *نشریه علمی انجمن جغرافیایی ایران (جغرافیا)*، ۲۲(۸۲)، ۱۲۹-۱۴۸. DOI: 10.22034/jgeog.22.82.129
- شاکر هدایت‌آباد، اکرم، کاظمی، سید مرتضی و مجتهدی، حمیدرضا. (۱۳۹۵). بام سبز. *کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت، اقتصاد و علوم انسانی*. ۱۳۹۵.
- طاهری میرقائد، الهه و صابری، حمید. (۱۴۰۰). امکان‌سنجی توسعه فضاهای سبز عمودی (بام سبز) به منظور دستیابی به شهر اکولوژیک، مورد مطالعاتی: منطقه ۵ شهر اصفهان. *معماری و شهرسازی آرمان‌شهر*، ۱۴(۳۵)، ۲۸۵-۲۹۸. DOI: 10.22034/aaud.2020.218993.2120
- طرح جامع شهر نجف‌آباد، ۱۳۹۵
- عبدی زاده، سهیلا و احمدنژاد، فرهاد. (۱۴۰۲). بررسی نماها و دیوارهای سبز به عنوان راهکاری غیرفعال در جهت کاهش بارهای سرمایشی ساختمان. *سومین کنفرانس بین‌المللی معماری، عمران، شهرسازی، محیط‌زیست و اقل‌های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب، تبریز*.

کرمی راد، سینا و کیلی نژاد، رزا. (۱۴۰۱). ارزیابی تأثیر بام سبز بر خرد اقلیم شهری؛ نمونه موردی: بافت کوتاه مرتبه اقلیم گرم و خشک شیراز. *نشریه معماری و شهرسازی/ایران*، ۱۳(۲)، ۵-۱۹. Doi: 10.30475/isau.2022.237674.1453

وارثی، حمیدرضا؛ تقوایی مسعود و شریفی، نسرين. (۱۳۹۴). تحلیل فضایی و مکان‌یابی بهینه فضاهای سبز شهری (نمونه موردی: شهر نجف‌آباد). *مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، ۶(۲۱)، ۵۱-۷۲. Doi: 20.1001.1.22285229.1394.6.21.4.8.72

References

- Abdizad, S., & Ahmadnejad, F. (2013). A review of the benefits and challenges of green roofs as a passive solution in buildings. [In Persian].
- Amiri fahlyiani, M. R., Safaeipour, M., & Sajadian, N. (2020). Analysis of the Globalization Impact on Social Ecology Formation of Iranian Cities: A Case Study on Ahvaz Metropolis. *Journal Strategic Studies of Public Policy*, 10(36), 282-305. DOI: 10.22059/JSSPP.2020.109549 [In Persian].
- Barati, E., Saberi, H., Khademalhosseini, A., & Azani, M. (2022). Determining the Local Factors Effective on the Achievement of Ecological City: The Case Study of Darcheh City. *Journal of Territorial Planning (Pardis Farabi)*, 14(2), 401-426. Doi: 10.22059/JTCP.2022.339211.670307 [In Persian].
- Calheiros, C. S., & Stefanakis, A. I. (2021). Green roofs towards circular and resilient cities. *Circular Economy and Sustainability*, 1(1), 395-411. Doi: 10.3390/circuleco10030022
- Danehkar, A., & Sobhani, P. (2024). Ecological potential evaluation and balance measurement of macro-land use in the urban set of Tehran-Alborz. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 14(4), 37-57. Doi: 10.30488/GPS.2024.466071.3759 [In Persian].
- Deng, S. (2021). Exploring the relationship between new-type urbanization and sustainable urban land use: Evidence from prefecture-level cities in China. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 30, 100446. Doi: 10.1016/j.suscom.2021.100446
- Fleck, R., Gill, R. L., Saadeh, S., Pettit, T., Wooster, E., Torpy, F., & Irga, P. (2022). Urban green roofs to manage rooftop microclimates: A case study from Sydney, Australia. *Building and Environment*, 209, 108673. Doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108673
- Hekrlé, M., Liberalesso, T., Macháč, J., & Silva, C. M. (2023). The economic value of green roofs: A case study using different cost-benefit analysis approaches. *Journal of Cleaner Production*, 413, 137531. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137531>
- Hes, D., & Bush, J. (2018). Enabling Eco-Cities. Defining, Planning, and Creating a Thriving Future. Springer, SC. (Book)
- Hosseini, S. M., Rahnama, M.R., Shokouhi, M.A., & Khaarazmi, O.A. (2024). Evaluation of Objective Indicators of the Green City in Mashhad. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 13(4), 135-150. Doi: 10.30488/gps.2023.381265.3610 [In Persian].
- Huang, Y., Chen, T., Hu, D., Lin, T., Zhu, W., Zhang, G., & Xue, X. (2023). Spatiotemporal patterns and influencing factors of urban ecological space availability in coastal cities of China during rapid urbanization. *Ecological Indicators*, 154, 110757. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110757>
- Jabbari, O. (2019). Identification, history, definition and benefits of green roofs in sustainable urban development. *Sixth National Congress of Civil Engineering, Architecture and Urban Development*, Tehran. [In Persian].
- Karamirad, S., & Vakilinezhad, R. (2022). Assessing the Effect of Green Roofs on Urban Microclimate, Case study: the Low-Rise Context in Hot-Dry Climate of Shiraz. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU)*, 13(2), 5-19. <https://doi.org/10.30475/isau.2022.237674.1453> [In Persian].
- Meng, F., Guo, J., Guo, Z., Lee, J. C., Liu, G., & Wang, N. (2021). Urban ecological transition: The practice of ecological civilization construction in China. *Science of the Total Environment*, 755, 142633. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142633>
- Mihalakakou, G., Souliotis, M., Papadaki, M., Menounou, P., Dimopoulos, P., Kolokotsa, D., ... & Papaefthimiou, S. (2023). Green roofs as a nature-based solution for improving urban

- sustainability: Progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 180, 113306. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113306>
- Perivoliotis, D., Arvanitis, I., Tzavali, A., Papakostas, V., Kappou, S., Andreacos, G., ... & Mihalakakou, G. (2023). Sustainable urban environment through green roofs: a literature review with case studies. *Sustainability*, 15(22), 15976. Doi: 10.3390/su152215976
- Pourahmad, A., Abazari, N., Heidari, A., & Ghanizadeh Ghasemabadi, H. (2018). Analysis of Tehran ecology with an emphasis on security ecology indicators. *Geographical Research on Desert Areas*, 6(1), 119-148. Doi: 10.29252/GRD.2018.1245 [In Persian].
- Sharifi, P., Manouchehri miandoab, A., Javan, Kh., & Ramezani Mehrian, M. (2025). The impact of urban land development on landscape pattern and ecological risk. *Geography*, 22(82): 129-148. Doi: 10.22034/jgeog.22.82.129 [In Persian].
- Taheri Mirghaed, E., & Saberi, H. (2021). Feasibility Study of Development of Vertical Green Spaces (Green Roof) to Achieve an Ecological City; Case Study: District 5 of Isfahan. *ARMANSHAH Architecture & Urban Development*, 14(35), 285-298. Doi: 10.22034/aaud.2020.218993.2120 [In Persian].
- Torres, F. C., Almenar, J. B., & Rugani, B. (2023). Photovoltaic-green roof energy communities can uphold the European Green Deal: Probabilistic cost-benefit analyses help discern economically convenient scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 414, 137428. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137428>
- Varesi, H.R., Taghvaeyev, M., & Sharifi, N. (2015). Spatial analysis and optimal location of urban green spaces (case study: Najafabad city). *Journal of Research and Urban Planning*, 6(21), 51-72. Doi: 20.1001.1.22285229.1394.6.21.4.8 [In Persian].
- Wang, L., Wang, H., Wang, Y., Che, Y., Ge, Z., & Mao, L. (2022). The relationship between green roofs and urban biodiversity: a systematic review. *Biodiversity and Conservation*, 31(7), 1771-1796. Doi: 10.1007/s10531-022-02404-y
- Wooster, E. I. F., Fleck, R., Torpy, F., Ramp, D., & Irga, P. J. (2022). Urban green roofs promote metropolitan biodiversity: A comparative case study. *Building and Environment*, 207, 108458. Doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108458
- Xie, G., Lundholm, J. T., & MacIvor, J. S. (2018). Phylogenetic diversity and plant trait composition predict multiple ecosystem functions in green roofs. *Science of the Total Environment*, 628, 1017-1026. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.093>.
- Zhang, K., Garg, A., Mei, G., Jiang, M., Wang, H., Huang, S., & Gan, L. (2022). Thermal performance and energy consumption analysis of eight types of extensive green roofs in a subtropical monsoon climate. *Building and Environment*, 216, 108982. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108982>