



The University of Tehran Press

Designing a Comprehensive Green City Model in Fars Province Based on Sustainable Water, Energy and Smart Technologies Management

Samad Ranjbar Ardakani^{1*} | Ahmad Ansari² | Mostafa Taheri³

1. Corresponding author, Assistant Professor, Department of Management, Payam Noor University, Tehran, Iran. Email: samadrnbj@pnu.ac.ir

2. Assistant Professor, Department of Management, Payam Noor University, Tehran, Iran. Email: ahmadansari@pnu.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Management, Payam Noor University, Tehran, Iran. Email: mtaheri362@pnu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:

Received: 30 November 2025

Revised: 29 December 2025

Accepted: 25 February 2026

Published Online: 23 September 2026

Keywords:

Green City,
Water Resources Management,
Energy Management,
Content Analysis,
Urban Sustainability.

ABSTRACT

This study sets out to develop a comprehensive model for realizing the green city, with particular emphasis on the optimal management of water and energy resources in Fars Province. The research is applied in purpose and follows an exploratory mixed-methods design. In the first phase, qualitative data were gathered through semi-structured interviews with 20 urban experts and analyzed using Attride-Stirling's thematic network analysis. This phase yielded 187 initial codes, 48 basic themes, 14 organizing themes, and, ultimately, 6 global themes: water resources management, energy consumption management, sustainable green space, smart technologies, education and culture, and waste management. In the quantitative phase, the criteria were first prioritized through an Analytic Hierarchy Process (AHP) involving 40 experts; the results identified water resources management and energy consumption management as the two most important dimensions. Confirmatory factor analysis was then used to assess construct validity, and the fit indices confirmed that the measurement model fit the data well, with all constructs demonstrating acceptable convergent and discriminant validity as well as reliability. Finally, structural equation modeling was applied to explain the causal relationships among the components. The results showed that water resources management ($\beta = 0.41$) and energy management ($\beta = 0.33$) had the strongest direct effects on the green city index, while waste management ($\beta = 0.27$), sustainable green space ($\beta = 0.21$), smart technologies ($\beta = 0.18$), and education ($\beta = 0.14$) also exerted positive and significant effects. A coefficient of determination of 0.68 indicated that the six identified dimensions jointly explain 68 percent of the variance in the green city index. These findings underscore that achieving a green city in semi-arid regions such as Fars demands an integrated, multidimensional approach—in particular, a simultaneous focus on water management, energy, and smart technologies alongside ecological management and citizenship education.

Cite this article: Ranjbar Ardakani, S.; Ansari, A. & Taheri, M. (2026). Designing a Comprehensive Green City Model in Fars Province Based on Sustainable Water, Energy and Smart Technologies Management. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 5 (4), 691-715. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.407092.1204>



© Authors retain the copyright and full publishing rights.
DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.407092.1204>

Publisher: University of Tehran Press.

1. Introduction

The growth of urbanization and the mounting pressure on natural resources have made the green city model an urgent priority in urban planning. In Fars Province, limited water resources, high energy consumption, and pressing environmental problems intensify the need for a comprehensive model of sustainable urban development. The green city concept emphasizes the optimal management of resources, the protection of the environment, the improvement of quality of life, and the adoption of

modern technologies. Accordingly, this study aimed to design a comprehensive green city model for Fars Province grounded in the sustainable management of water, energy, and smart technologies. It seeks to identify and prioritize the principal dimensions of the green city and to provide a scientific and practical framework for sustainable urban policymaking and planning in the province.

2. Materials and Methods

This research is applied in purpose and follows an exploratory mixed-methods design. In the qualitative phase, data were collected through semi-structured interviews with 20 experts in urban planning, the environment, energy, and water resources in Fars Province. Purposive and snowball sampling continued until theoretical saturation was reached. The qualitative data were analyzed using Attride-Stirling's thematic network analysis, which produced the initial codes together with the basic, organizing, and global themes. In the quantitative phase, 40 managers and relevant experts were selected through purposive and judgmental sampling. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to prioritize the main dimensions of the green city; after the inconsistency ratio was examined, the experts' judgments were aggregated using the geometric mean. Confirmatory factor analysis was then employed to assess the validity and reliability of the constructs, and structural equation modeling was used to test the effects of the extracted dimensions on the green city model.

3. Results

The qualitative phase identified a total of 187 initial codes, 48 basic themes, 14 organizing themes, and 6 global themes. The six global themes—optimal water resources management, optimal energy consumption management, the design and management of sustainable green space, smart and modern technologies, environmental education and culture, and pollution and waste reduction—formed the core structure of the proposed green city model. The hierarchical analysis showed that optimal water resources management ranked first with a weight of 0.424, followed by optimal energy consumption management (0.203) in second place; sustainable green space and waste management/pollution reduction shared third and fourth place with weights of 0.108 each; smart technologies ranked fifth (0.089); and education and culture ranked sixth (0.068). The inconsistency ratio of the pairwise comparisons was 0.00, indicating a high degree of consistency in the experts' judgments. These results confirm that, under the conditions of Fars Province, water and energy are the most decisive factors shaping the green city model.

Confirmatory factor analysis showed that all constructs possessed acceptable convergent validity, discriminant validity, and composite reliability: the standardized factor loadings were at satisfactory levels, the AVE values for all constructs exceeded 0.5, and the CR values exceeded 0.7. The fit indices of the measurement model were likewise satisfactory. In the structural equation model, the fit indices confirmed the adequacy of the model. The standardized path coefficients indicated that water management ($\beta = 0.41$) and energy management ($\beta = 0.33$) had the strongest effects on the green city index, followed by waste management and pollution reduction ($\beta = 0.27$), sustainable green space ($\beta = 0.21$), smart technologies ($\beta = 0.18$), and education and culture ($\beta = 0.14$). A coefficient of determination of 0.68 showed that 68 percent of the variance in the green city index is explained by these six main criteria, attesting to the model's strong explanatory power.

4. Discussion and Conclusion

The findings demonstrate that sustainable water and energy management are the most important pillars for realizing a green city in Fars Province, as they carried the greatest weight and exerted the strongest effects in both the experts' prioritization and the structural model. This suggests that planning for a green city in Fars should focus, above all, on optimizing water and energy consumption and improving the efficiency of urban infrastructure. Beyond these two components, sustainable green space, waste management, smart technologies, and environmental education also play a significant role in completing the green city model. Overall, the proposed model offers a practical foundation for sustainable urban policymaking and planning in Fars Province.



انتشارات دانشگاه تهران

فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: <https://ses.ut.ac.ir>

شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰

طراحی الگوی جامع شهر سبز در استان فارس بر پایه مدیریت پایدار آب، انرژی و فناوری‌های هوشمند

صمد رنجبر اردکانی^{۱*} | احمد انصاری^۲ | مصطفی طاهری^۳

۱. نویسنده مسئول، استادیار، گروه مدیریت، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: samadrnjb@pnu.ac.ir
۲. استادیار، گروه مدیریت، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: ahmadansari@pnu.ac.ir
۳. استادیار، گروه مدیریت، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: mtahehi362@pnu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

کلیدواژه:

شهر سبز،

مدیریت منابع آب،

مدیریت انرژی،

تحلیل مضمون،

پایداری شهری.

هدف این پژوهش، ارائه یک الگوی جامع برای تحقق شهر سبز با تأکید بر مدیریت بهینه منابع آب و انرژی در استان فارس است. پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش‌شناسی، آمیخته اکتشافی است. در گام نخست، داده‌های کیفی از طریق مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با ۲۰ نفر از خبرگان شهری گردآوری و با روش تحلیل مضمون شبکه‌ای آنالیز شد. استرلینگ تحلیل شد. حاصل این مرحله شناسایی ۱۸۷ کد اولیه، ۴۸ مضمون پایه، ۱۴ مضمون سازمان‌دهنده و درنهایت، ۶ مضمون فراگیر شامل مدیریت منابع آب، مدیریت مصرف انرژی، فضای سبز پایدار، فناوری‌های هوشمند، آموزش و فرهنگ‌سازی، و مدیریت پسماند بود. در مرحله کمی، ابتدا به منظور اولویت‌بندی معیارها، تحلیل سلسله‌مراتبی با مشارکت ۴۰ متخصص انجام شد. یافته‌ها نشان داد مدیریت منابع آب و مدیریت مصرف انرژی به ترتیب بیشترین اهمیت را دارند. سپس، برای ارزیابی روایی سازه‌ها، تحلیل عاملی تأییدی اجرا شد که شاخص‌های برازش مدل اندازه‌گیری بیانگر برازش مناسب مدل بودند. همچنین، تمامی سازه‌ها از روایی همگرا، واگرا و پایایی قابل قبول برخوردار بودند. در مرحله نهایی، مدل معادلات ساختاری برای تبیین روابط علی بین مؤلفه‌ها اجرا شد. نتایج نشان داد مدیریت منابع آب ($\beta=0.41$) و مدیریت انرژی ($\beta=0.33$) بیشترین اثر مستقیم را بر شاخص شهر سبز دارند. فضای سبز پایدار ($\beta=0.21$)، مدیریت پسماند ($\beta=0.27$)، فناوری‌های هوشمند ($\beta=0.18$) و آموزش ($\beta=0.14$) نیز اثر مثبت و معناداری دارند. مقدار ضریب تعیین برابر با ۰/۶۸ نشان داد ابعاد شش‌گانه شناسایی شده قادرند ۶۸ درصد از تغییرات شهر سبز را تبیین کنند. یافته‌ها تأکید می‌کنند که تحقق شهر سبز در مناطق نیمه‌خشک نظیر فارس مستلزم اتخاذ رویکردی ترکیبی و چندبعدی است؛ به‌ویژه تمرکز هم‌زمان بر مدیریت آب، انرژی و استفاده از فناوری‌های هوشمند در کنار مدیریت اکولوژیک و آموزش شهروندی.

استناد: رنجبر اردکانی، صمد؛ انصاری، احمد و طاهری، مصطفی (۱۴۰۵). طراحی الگوی جامع شهر سبز در استان فارس بر پایه مدیریت پایدار آب، انرژی و فناوری‌های هوشمند. فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار، ۵ (۴) ۶۹۱-۷۱۵.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.407092.1204>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.407092.1204>



۱. مقدمه

شهرنشینی روندی است که برای چندین دهه رو به رشد بوده و انتظار می‌رود در سال‌های آینده نیز ادامه یابد. در حال حاضر، بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند و طبق گزارش سازمان ملل متحد، پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰، تقریباً دو سوم جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی کنند. روند مداوم شهرنشینی سریع، فرصت‌ها و چالش‌هایی را برای شهرها و مردمی که در آن‌ها زندگی می‌کنند، به همراه دارد. در حالی که شهرها تنها تقریباً ۲ درصد از زمین را اشغال می‌کنند و به عنوان شهرهایی با پتانسیل ارائه کارایی، تنوع و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی مورد ستایش قرار می‌گیرند، از قضا در حال حاضر تقریباً ۶۰ تا ۸۰ درصد از انرژی جهانی را مصرف می‌کنند [۱].

افزون بر این، بررسی‌های اخیر بیانگر آن است که سیاست‌گذاری زیست‌محیطی در شهرهای نوین باید بر اساس مفهوم «طراحی هماهنگ منابع» انجام شود، که شامل همگرایی مدیریت انرژی، منابع آب و کاهش آلاینده‌ها در قالب راهبردهای پایدار شهری است [۲]. این رویکرد در بسیاری از شهرهای نوظهور برای مقابله هم‌زمان با چالش‌های انرژی و کمبود آب مورد استفاده قرار گرفته است.

چالش‌های شهرنشینی شامل افزایش تقاضا برای مسکن، حمل‌ونقل و سایر زیرساخت‌های باکیفیت و به‌صرفه و همچنین، مسائل زیست‌محیطی مانند آلودگی هوا، کمبود آب و اثرات تغییرات اقلیمی (به عنوان مثال، افزایش وقوع و شدت موج گرما، سیل و توفان) است. رشد سریع مناطق شهری همچنین می‌تواند به نابرابری اجتماعی و اقتصادی منجر شود، زیرا همه ساکنان ممکن است به طور مساوی به مزایای زندگی شهری دسترسی نداشته باشند [۳]. برای رسیدگی به این چالش‌ها، اتخاذ استراتژی‌های توسعه شهری پایدار و فراگیر برای شهرها مهم است. این می‌تواند شامل اقداماتی مانند بهبود حمل‌ونقل عمومی، ترویج فضاهای سبز و ساختمان‌های با بهره‌وری انرژی بالا و سرمایه‌گذاری در مسکن به‌صرفه و خدمات اجتماعی باشد. همچنین، مشارکت دادن ساکنان و جوامع در فرایند برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری برای اطمینان از در نظر گرفتن نیازها و اولویت‌های همه ساکنان مهم است [۱].

فعالیت‌های انسانی در سال‌های اخیر تأثیر زیادی بر تغییر سریع عملکردها و ظاهر مناطق شهری داشته‌اند. در چند دهه گذشته، شهرنشینی سریع به افزایش محیط‌های طبیعی و همچنین، کاهش و آلودگی منابع طبیعی منجر شده و مسائل پیچیده زیست‌محیطی را ایجاد کرده است. تمایل روزافزون جامعه به پذیرش زندگی شهری، فشار زیادی بر منابع محدود موجود در مناطق شهری وارد کرده، در حالی که آب پرفشارترین منبع طبیعی در سطح جهان است. افزایش فضاهای نفوذناپذیر، تخریب زمین، کاهش تالاب‌های طبیعی و تغییر شرایط خاک به افزایش رواناب ناشی از توفان و آلودگی بالای منابع غیرنقطه‌ای مخازن طبیعی منجر شده است. سیلاب شهری به دلیل افزایش حجم رواناب و غلظت بالای سطوح نفوذناپذیر، به طور فزاینده‌ای رایج شده است. گذشته از تهدیدهای سیل، وخامت کیفیت آب در رودخانه‌های شهری و ذخایر آب زیرزمینی، تهدیدی جدی برای منابع آب طبیعی ایجاد کرده است. کاهش منابع آب به دلیل تهدید بالای کمبود جهانی آب، یک نگرانی عمده در سراسر جهان است [۴].

در پاسخ به فشارهای ناشی از افزایش مصرف منابع در شهرها، مدل‌های جدیدی مانند «پایداری حلقوی»^۱ پیشنهاد شده‌اند که به جای تمرکز بر کاهش صرف، بر بازچرخانی منابع در مقیاس شهری تأکید دارند [۵]. بر همین اساس، راهکارهایی نظیر بازیافت آب باران، طراحی مجتمع‌های چندمنظوره کم‌مصرف و استفاده از تکنولوژی‌های کنترل هوشمند مصرف انرژی، به سرعت در حال تبدیل به استانداردهای نوین شهری هستند.

مفهوم شهرهای سبز حول ادغام هماهنگ عناصر طبیعی و فرایندهای زیست‌محیطی در محیط‌های شهری برای ترویج پایداری شکل گرفته است. زیرساخت سبز که یکی از اصول این رویکرد است، بر حفظ پایدار منابع طبیعی تأکید دارد و عناصری مانند فضای سبز شهری، طراحی حساس به آب و سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر را شامل می‌شود. زیرساخت سبز نه تنها تأثیرات منفی شهرنشینی بر منابع آب را کاهش می‌دهد، بلکه اقلیم شهری، کیفیت هوا و تنوع زیستی را بهبود می‌بخشد و به رفاه کلی ساکنان شهر کمک می‌کند [۶].

با توجه به کاهش منابع آب شیرین در سطح جهان و افزایش فراوانی بحران‌های مرتبط با آب در مناطق شهری، مدیریت منابع آب نیز به همان اندازه حیاتی است. طراحی زیرساخت‌های صرفه‌جو در مصرف آب که اصول زیرساخت سبز را در بر می‌گیرد، می‌تواند به طور قابل توجهی کیفیت و دسترسی آب شهری را بهبود بخشد. استراتژی‌هایی مانند مدیریت روان‌آب‌های سطحی، بازیافت فاضلاب و استفاده از سیستم‌های طبیعی نگهداری آب به طور کلی به مدیریت پایدار آب شهری کمک می‌کنند و آسیب‌پذیری شهرها در برابر کمبود آب را کاهش می‌دهند [۴].

با افزایش جمعیت شهری و گسترش شهرنشینی، فشار بر منابع انرژی و آب به طور چشمگیری افزایش یافته است. این موضوع باعث بروز مشکلات زیست‌محیطی نظیر آلودگی هوا، کمبود منابع آب و افزایش مصرف انرژی شده که تهدیدی جدی برای پایداری شهرها و کیفیت زندگی ساکنان به شمار می‌رود. در این میان، طراحی الگوی جامع شهر سبز با رویکرد مدیریت بهینه انرژی و منابع آب به عنوان راهکاری مؤثر برای کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی و ارتقای کیفیت زندگی مطرح می‌شود. این الگو باید بتواند با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، اصول معماری و شهرسازی پایدار، و مدیریت هوشمند منابع، شهرهایی سالم، کم‌مصرف و دوستدار محیط زیست خلق کند.

افزون بر آن، برخی پژوهشگران بر ضرورت استفاده از داده‌های کلان، تحلیل‌های فضایی و فناوری‌های دیجیتال مانند اینترنت اشیا^۱ در ساخت شهرهای سبز تأکید دارند. این رویکردها به ایجاد شهرهای هوشمند و سازگار با محیط زیست کمک کرده‌اند که نمونه‌های موفق آن را می‌توان در شهرهایی مانند آمستردام و سئول مشاهده کرد [۷ و ۸]. چنین تحولاتی مؤید آن است که «شهر سبز» دیگر یک مدل آرمانی نیست، بلکه به یکی از مؤلفه‌های ضروری توسعه پایدار در سده ۲۱ تبدیل شده است.

با وجود گسترش ادبیات مربوط به شهرهای سبز، در بسیاری از مطالعات، ارتباط نظام‌مند میان مدیریت منابع آب، مدیریت مصرف انرژی و فناوری‌های هوشمند، به‌ویژه در بستر مناطق نیمه‌خشک، به صورت یکپارچه مورد بررسی قرار نگرفته است. استان فارس به عنوان یکی از مناطق دارای تنش آبی و مصرف بالای انرژی، نیازمند الگویی بومی و جامع برای توسعه شهر سبز است. از این‌رو، مسئله اصلی این پژوهش پاسخ به این پرسش است که عوامل کلیدی مؤثر در طراحی الگوی جامع شهر سبز با رویکرد مدیریت بهینه انرژی و منابع آب کدام‌اند و اولویت‌بندی این عوامل چگونه است؟

۲. مروری بر ادبیات پژوهش

۲-۱. شهر سبز

توجه به رویکرد شهر سبز، به‌ویژه در سال‌های اخیر که پیامدهای مخرب الگوها و رویکردهای سنتی و متفاوت توسعه بر محیط زیست شهرها روشن شده، به منظور ایجاد امنیت زیست‌محیطی در شهرها و حفظ شهرها حداقل با شرایط زیست‌محیطی موجود برای نسل‌های آتی حائز اهمیت خاصی شده است. به طوری که می‌توان گفت که در صورت ادامه بی‌توجهی به مسائل زیست‌محیطی در شهرها و استفاده از رویکردهای سنتی در مسائل شهری که پیامدی جز نابودی تخریب و فروپاشی عناصر طبیعی محیط‌های شهری ندارد، در آینده‌ای نه چندان دور باید منتظر تهدیدهایی در عرصه امنیت زیست‌محیطی در سطوح محلی، شهری منطقه‌ای ملی و حتی جهانی بود. از این‌رو، ضمن بهره‌گیری از رویکردهای توسعه شهری سازگار با مسائل زیست‌محیطی همچون رویکرد شهر سبز، برای توسعه شهرها در آینده، باید با مبنا قرار دادن برنامه‌ریزی‌هایی مبتنی بر آینده‌پژوهی و سناریونگاری در راستای پایداری محیط زیست شهرها قدم برداشت تا از این طریق بتوان به توسعه‌ای پایدار و همه‌جانبه در شهرها دست یافت [۹]. با توجه به رشد سریع جمعیت شهری و بحران‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه انرژی و آب، مفهوم «شهر سبز» به عنوان یک راهکار جامع برای توسعه پایدار مطرح شده است. این مفهوم بر طراحی شهری منطبق با محیط زیست، بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر و کاهش ردپای کربن تأکید دارد. شهرهای سبز نه تنها به کاهش آلودگی و مدیریت هوشمند منابع کمک می‌کنند، بلکه کیفیت زندگی شهروندان را نیز ارتقا می‌دهند [۱۰].

با توجه به فقدان یک تعریف جهانی پذیرفته‌شده از شهر سبز، مرتبط‌ترین تعاریف در جدول ۱ خلاصه شده‌اند. تجزیه و تحلیل کامل این تعاریف، تنوع زیادی را در چگونگی تصور محققان و مؤسسه‌های مختلف از یک شهر سبز برجسته می‌کند. این تعاریف مختلف، طیف وسیعی از رویکردها، از عناصر طبیعی گرفته تا نگرانی‌های گسترده‌تر در مورد پایداری شهری را روشن می‌کند. ابتدا، تعاریف شهر سبز اغلب بر عناصر مرتبط با طبیعت متمرکز بودند. با این حال، با گذشت زمان، آن‌ها تکامل یافته‌اند تا ملاحظات جامع‌تر و پایداری را در بر گیرند. این گذار نشان‌دهنده تغییر در گفتمان است که از تمرکز اصلی بر حفظ طبیعت به بررسی صریح‌تر مسائل پایداری شهری حرکت می‌کند.

جدول ۱. تعریف شهر سبز برگرفته از بررسی ادبیات

منبع	تعریف
[۱۱]	مفهوم «شهر سبز» یا «توسعه سبز» چیز جدیدی نیست. این مفهوم که پیش از این در قالب اصطلاح «توسعه پایدار» مطرح می‌شد، به دنبال ادغام ملاحظات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در فرایندهای توسعه شهر است. شهر سبز یا توسعه سبز، امتدادی از این مفهوم است، اما در چارچوب اقدامات یک شهر و چگونگی مشارکت این اقدامات در پیشبرد یک شهر یا منطقه شهری به عنوان شهری سبز و پایدار، درک می‌شود. توسعه سبز، چگونگی بهبود و مدیریت کیفیت و سلامت کلی آب، هوا و زمین در فضاهای شهری، ارتباط آن با مناطق داخلی و سیستم‌های گسترده‌تر و مزایای حاصل از آن برای محیط زیست و ساکنان را در نظر می‌گیرد.
[۱۲]	شهر سبز شهری است که در آن همه شکل‌های طبیعت - موجودات زنده، زیست‌بوم‌ها و زیستگاه‌های آن‌ها - اجزای بسیار مهمی از زیرساخت‌های سبز هستند. در یک شهر سبز، این شکل‌های طبیعت به نفع ساکنان شهر حفظ، نگهداری و گسترش می‌یابند. طبیعت شهری ارائه‌دهنده ایده‌آل خدمات و مفهومی کلیدی برای توسعه شهر است.
[۱۳]	هشت ویژگی اصلی یک شهر سبز: برنامه‌ریزی و طراحی سبز، اجرای ساختمان‌های سبز، زباله‌های سبز، سیستم حمل‌ونقل سبز، بهره‌وری در استفاده از آب و انرژی سبز، محیط زیست سبز و جامعه سبز
[۱۴]	حداقل دو عامل اصلی زیربنای مفهوم‌سازی یک شهر سبز هستند. اول، از دیدگاه مصرف، دغدغه کاهش تقاضا برای منابع طبیعی و خدمات و همچنین، تولید زباله و انتشار گازهای گلخانه‌ای است. دوم، از دیدگاه تولید، توجه اصلی به سرمایه‌گذاری در بهبود طبیعت و محیط زیست برای پشتیبانی از کیفیت بهتر زندگی است.

برخی محققان استدلال کرده‌اند که مفهوم شهر سبز با مفهوم شهر پایدار ارتباط نزدیکی دارد، زیرا پایداری زیست‌محیطی ذاتاً در مفهوم یک شهر پایدار گنجانده شده است. به گفته اینگرید ناپی، استاد و محقق جغرافیا، یک شهر سبز نشان‌دهنده رویکردی خاص به شهرهای پایدار است. به بیان دیگر، شهر سبز به عنوان وجهی از شهرهای پایدار در نظر گرفته می‌شود. تعاریف دیگر از اصطلاح «سبز» فقط به ستون زیست‌محیطی پایداری اشاره دارند. رنگ سبز اغلب با طبیعت و محیط زیست مرتبط است. یک شهر سبز با ادغام بخش‌هایی از یک شهر با فضاهای سبز طبیعی برای ایجاد تعادل بین طبیعت و محیط زیست، پایداری زیست‌محیطی را در اولویت قرار می‌دهد [۱۲]. این نمادگرایی، ایده گنجانیدن عناصر طبیعی در فضاهای شهری را برای ارتقای یک محیط سالم‌تر و پایداری بیشتر منتقل می‌کند. این شامل ایجاد پارک‌ها، باغ‌ها، راهروهای سبز و حتی سقف‌های سبز است که با هدف افزایش تنوع زیستی، بهبود کیفیت هوا، کاهش جزایر گرمایی شهری و جلوگیری از سیل انجام می‌شود. با این حال، در تحقیقات دیگر، سبز در مفهوم شهر سبز فراتر از جنبه مرتبط با طبیعت آن است. همچنین، تعهد به اتخاذ سیاست‌ها و شیوه‌هایی را نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های سازگار با محیط زیست را ترویج می‌دهند. این شامل ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت کارآمد پسماند و ترویج حمل‌ونقل پایدار است [۱۳]. هشت ویژگی اصلی یک شهر سبز را تعریف می‌کنند: برنامه‌ریزی و طراحی سبز، اجرای ساختمان‌های سبز، زباله‌های سبز، سیستم حمل‌ونقل سبز، کارایی در استفاده از آب و انرژی سبز، محیط زیست سبز و جامعه سبز. Utami Azis و همکاران (۲۰۱۹) طی مطالعه‌ای شش ویژگی یک شهر سبز را مفهوم‌سازی می‌کنند [۱۵] که عبارت‌اند از: فضای باز سبز، حمل‌ونقل سبز، ساختمان‌های سبز، انرژی سبز، آب سبز و زباله‌های سبز. در شرایط تغییرات اقلیمی، شهرهای سبز به عنوان سازوکارهای افزایش تاب‌آوری شناخته می‌شوند. با استفاده از راهکارهایی مانند بام‌های سبز، سیستم‌های ذخیره آب باران، و برنامه‌ریزی انرژی‌محور، این شهرها توان مقابله با گرمایش جهانی و کم‌آبی را دارند [۱۶]. بنابراین، طراحی این شهرها باید رویکردهای اقلیم‌پایه را در نظر بگیرد.

علاوه بر این، تعاریف دیگر تأکید می‌کنند که طراحی یک شهر سبز بر دو عامل اساسی استوار است: نخست، کاهش مصرف وجود دارد که بر لزوم کاهش تقاضا برای منابع طبیعی و همچنین، تولید زباله و انتشار گازهای گلخانه‌ای تأکید دارد. این امر مستلزم اجرای استراتژی‌هایی برای به حداقل رساندن مصرف منابع و تولید زباله، مانند ارتقای بهره‌وری انرژی، اتخاذ سیستم‌های حمل‌ونقل پایدار و حمایت از بازیافت و کمپوست است. دوم، بهبود تولید وجود دارد که شامل سرمایه‌گذاری در بهبود طبیعت و محیط زیست برای ایجاد کیفیت زندگی بهتر برای ساکنان شهر است. این شامل ابتکارهایی برای بهبود فضاهای سبز، گسترش جنگل‌ها و پارک‌های شهری، افزایش کیفیت هوا و آب و حفاظت از تنوع زیستی در داخل شهر است [۱۴]. تحول شهرها به شهرهای هوشمند سبز با استفاده از سیستم‌های دیجیتال مانند حسگرهای هوشمند آب و انرژی، امکان پایش بلادرنگ منابع و واکنش سریع به چالش‌ها را فراهم می‌سازد. این امر نقش مهمی در بهینه‌سازی مصرف انرژی و حفاظت از منابع دارد [۱۷]. یکی از محورهای مهم شهر سبز، تقویت پیوندهای سه‌گانه آب، انرژی و غذا است. این تعاملات چندبعدی، پایه‌گذار توسعه تاب‌آور و پایدار هستند و به‌ویژه در مناطق تحت تنش آبی نقش کلیدی دارند [۱۸]. شهر سبز با ادغام سیاست‌ها و شیوه‌های زیست‌محیطی مانند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت کارآمد زباله و ترویج حمل‌ونقل پایدار، فراتر از ارتباط خود با طبیعت می‌رود. این دو جنبه اساسی شهر سبز، یعنی کاهش مصرف و بهبود تولید، نقش مهمی در ایجاد محیط‌های شهری پایدارتر و لذت‌بخش‌تر برای ساکنان دارند و در عین حال به تلاش‌های جهانی برای مبارزه با تغییرات اقلیمی و حفظ منابع طبیعی کمک می‌کنند [۱۹]. برای تحقق انتقال به شهرهای سبز، استفاده از راهکارهایی همچون طبیعت‌پایه، معماری اکولوژیک و انرژی‌های تجدیدپذیر اهمیت زیادی دارد. این راهکارها با کمک به بهبود کیفیت هوا و کاهش دمای شهری، ابزارهایی کارآمد در خدمت سیاست‌گذاران شهری به شمار می‌روند [۲۰].

۲-۲. مدیریت منابع آب و تأثیرات بحران آب در زندگی مردم

مدیریت منابع آب به عنوان مجموعه‌ای از سازمان‌ها و روش‌ها برای برنامه‌ریزی، توسعه، تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در خصوص کمیت و کیفیت آب و نحوه بهره‌برداری جوامع در سراسر جهان تعریف می‌شود. امروزه، فرایندهای مدیریت منابع آب با چالش‌های جدی به‌ویژه در زمینه کمبود آب مواجه است؛ پدیده‌ای که به صورت دسترسی ناکافی به منابع آب پاک و بهداشتی توصیف می‌شود. یکی از نمونه‌های بارز بحران آب، بحران کیپ‌تاون در آفریقای جنوبی است که در آن کاهش شدید بارندگی به خشکسالی بی‌سابقه‌ای منجر شد. این کمبود بارندگی تأثیر منفی عمیقی بر زندگی مردم داشت، چرا که شهروندان به دلیل جیره‌بندی مجبور بودند روزانه تنها سیزده گالن آب مصرف کنند. این کمبود شدید آب با اعمال نظارت‌های سخت‌گیرانه و قطع موقت جریان آب شهری، ساکنان را به مصرف مقادیر بسیار کم و ناکافی آب ناگزیر ساخت و از این طریق، پیامدهای اجتماعی نامطلوبی بر زندگی آن‌ها به جا گذاشت. به طور کلی، بحران کمبود آب چالش بزرگی است که به پیامدهای مختلف بهداشتی، اقتصادی، هیدرولوژیکی و کشاورزی منجر می‌شود. از جنبه بهداشتی، کاهش حجم آب باعث عدم جریان مناسب فاضلاب و ایجاد آب‌های راکد و آلوده می‌شود که بستر مناسبی را برای تکثیر پشه‌ها و حشرات ناقل فراهم کرده و زمینه شیوع بیماری‌هایی نظیر اسهال و مالاریا را ایجاد می‌کند. از نظر اقتصادی نیز کمبود آب موجب می‌شود برخی کارگران بخش کشاورزی و صنایع وابسته شغل خود را از دست بدهند که این امر با کاهش تعداد مؤدیان مالیاتی، اقتصاد جامعه را با رکود مواجه می‌سازد. از سوی دیگر، تأثیر هیدرولوژیکی این پدیده به صورت اختلال در شبکه تأمین آب و اعمال محدودیت‌های شدید در دسترسی شهروندان نمایان می‌شود. در نهایت، بخش کشاورزی به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب، بیشترین آسیب را می‌بیند؛ چرا که کمبود آب به افت شدید تولید محصولات کشاورزی منجر شده و کشورها را ناگزیر به افزایش واردات در برابر کاهش صادرات می‌کند که این روند تراز تجاری و بدنه اقتصادی جامعه را به شدت تحت تأثیر منفی قرار می‌دهد [۲۱].

امروزه، برنامه‌ریزی منابع آب در شهرهای مدرن تنها محدود به تأمین آب شرب نیست، بلکه تعاملات پیچیده‌تری را شامل می‌شود که شامل بازچرخانی آب، نفوذپذیری خاک‌های شهری، و حفاظت از اکوسیستم‌های آبی درون شهری است. به عنوان مثال، تحقیق جدیدی درباره سیستم‌های آبی در ونیز نشان می‌دهد چگونگی تعامل انسان با آب در چارچوب «چشم‌اندازهای آبی آنتروپوسن» در حال دگرگونی است، به گونه‌ای که شهر به عنوان موجودی زنده و در تعامل با جریان‌های طبیعی در نظر گرفته

می‌شود [۲۲]. در این راستا، پژوهش‌هایی در نیوزیلند نشان داده‌اند کاهش سطوح نفوذناپذیر و استفاده از تکنیک‌های کنترل در مبدأ، باعث بهبود کیفیت رواناب‌ها و کاهش فشار بر زیرساخت‌های فاضلاب شهری شده است [۲۳]. این اقدامات در عین حال، افزایش انعطاف‌پذیری شهرها در مواجهه با بحران‌های آبی را نیز تسهیل کرده‌اند. به علاوه، مطالعه‌ای در هند بر نقش تالاب‌های حاشیه شهری تأکید دارد که چگونه این فضاها را طبیعی با جذب آب‌های سطحی، کاهش دمای موضعی و تنظیم چرخه آب در مناطق شهری می‌توانند به عنوان سامانه‌های ذخیره‌سازی طبیعی عمل کرده و نقش مهمی در امنیت آبی ایفا کنند [۲۴]. از منظر سیاست‌گذاری، پژوهشگران به نقش دولت‌های محلی در ترویج استفاده پایدار از منابع آب و طراحی سامانه‌های هوشمند مدیریت مصرف اشاره کرده‌اند که می‌تواند به مدیریت بحران‌های احتمالی آینده کمک کند [۲۵]. این رویکرد در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران نیز اهمیت دارد، جایی که بهره‌برداری ناپایدار از منابع و تغییرات اقلیمی، فشار مضاعفی بر منابع آبی وارد کرده است [۲۶].

۲-۳. مدیریت انرژی در شهرهای هوشمند پایدار

فناوری‌های صرفه‌جویی در انرژی زیادی در اختیار ما هستند که قادر به کاهش مؤثر مصرف انرژی و در عین حال به حداکثر رساندن استفاده مؤثر از منابع هستند. جهت‌گیری‌های تحقیقاتی برجسته در حوزه شهرهای هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا با بهره‌وری انرژی شامل تنظیم دقیق فرایندهای برنامه‌ریزی، ادغام فرستنده - گیرنده‌های کم‌مصرف با بهره‌وری انرژی، توسعه چارچوب‌های شناختی و استفاده از فناوری‌های محاسبات ابری است. این عناصر در مجموع پایه و اساس مهمی برای دستیابی به بهره‌وری انرژی در محیط‌های شهر هوشمند هستند [۲۷].

در یک شهر هوشمند که از بهینه‌سازی زمان‌بندی مبتنی بر اینترنت اشیا استفاده می‌کند، هدف اصلی کاهش مصرف کلی انرژی و مصرف برق با مدیریت مؤثر منابع موجود است. شایان یادآوری است که مدیریت سمت تقاضا جنبه‌ای حیاتی از این فرایند است. مدیریت سمت تقاضا شامل کنترل مصرف برق مسکونی برای کاهش هزینه‌ها با تغییر مشخصات بار سیستم است. مدیریت سمت تقاضا شامل دو عنصر کلیدی است: جابه‌جایی بار و صرفه‌جویی در مصرف انرژی. جابه‌جایی بار شامل عمل جابه‌جایی مصرف برق مشتری از دوره‌های اوج تقاضا به ساعت‌های غیر اوج است. از سوی دیگر، صرفه‌جویی در مصرف انرژی بر کاهش مصرف کلی انرژی از طریق اتخاذ فناوری‌های کارآمد، ترویج رفتارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و تشویق به تغییر در عادات مردم تمرکز دارد. این اجزا در صورت ترکیب، نقش محوری در دستیابی به بهره‌وری انرژی بهبود می‌یابند و مدیریت پایدار منابع ایفا می‌کنند [۲۸].

از آنجا که دستگاه‌های اینترنت اشیا به شکل‌های مختلفی عرضه می‌شوند و خدمات متنوعی ارائه می‌دهند، پیش‌بینی رفتار آن‌ها می‌تواند چالش برانگیز باشد. در نتیجه، برای شهرهای هوشمند بسیار مهم است که روش‌های هوش و شناختی را در کل معماری اینترنت اشیا ادغام کنند. اطمینان از اینکه این چارچوب دارای قابلیت‌های استدلال و یادگیری است، برای بهبود تصمیم‌گیری در شبکه اینترنت اشیا بسیار مهم است. ظهور محاسبات و ذخیره‌سازی ابری، دری را برای شهرهای هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا باز کرده است تا راه‌حل‌های کم‌مصرف ارائه دهند. به طور دقیق‌تر، اتخاذ یک رویکرد مبتنی بر ابر می‌تواند به لطف انعطاف‌پذیری قابل توجهی که ارائه می‌دهد، اثربخشی مراکز داده را به میزان قابل توجهی افزایش دهد [۲۷]. افزون بر چارچوب‌های فناورانه رایج، مطالعات جدید نشان داده‌اند استفاده هم‌زمان از معماری‌های ابری و پردازش لبه‌ای می‌تواند نه تنها بهره‌وری انرژی را افزایش دهد، بلکه واکنش‌پذیری و خودکارسازی زیرساخت‌های شهری را نیز بهبود بخشد [۲۹]. این موضوع در کاربردهایی نظیر روشنایی هوشمند، حمل‌ونقل عمومی و تهویه در ساختمان‌های اداری، تأثیرات قابل توجهی داشته است.

در همین راستا، استفاده از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت انرژی سمت تقاضا یکی از نوآوری‌های مهم در شهرهای هوشمند به شمار می‌رود. با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی، می‌توان الگوهای مصرف خانگی را تحلیل کرده و توزیع انرژی را متناسب با نیازهای واقعی تنظیم کرد [۳۰]. همچنین، در پروژه‌های بین‌المللی مانند تلفیق داده‌های بزرگ با زیرساخت‌های سایبر - فیزیکی شهری باعث شده است تا کل سیستم‌های شهری از دید انرژی، قابل پیش‌بینی‌تر و پایدارتر شوند [۳۱]. در این رویکرد، حسگرهای متصل به اینترنت اشیا اطلاعات مربوط به مصرف انرژی، دمای محیط و حضور انسانی را به صورت بلادرنگ به مراکز تصمیم‌گیری ارسال می‌کنند. حتی در سامانه‌های ساده‌ای مانند پارکینگ هوشمند، استفاده از

محاسبات مه در ترکیب با معماری ابری، توانسته است مصرف برق را تا ۳۰ درصد کاهش دهد و از فشار بر شبکه مرکزی بکاهد [۳۲]. این مدل‌ها در شهرهای پرتراکم به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، قابل بومی‌سازی و بهره‌برداری هستند.

۲-۴. پیشینه تجربی

مطالعات داخلی و خارجی زیادی نیز در این زمینه صورت گرفته که در زیر خلاصه‌ای از این مطالعات بیان شده است.

Chandratreya (۲۰۲۴) طی مطالعه‌ای اجرای شیوه‌های مدیریت پایدار آب از طریق راهکارهای زیرساخت سبز را بررسی کرد [۳۳]. پژوهشگر یادشده نشان داد اجرای زیرساخت سبز مزایای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی متعددی را ارائه می‌دهد. یافته‌های کلیدی نشان می‌دهد تکنیک‌های زیرساخت سبز، مانند سقف‌های سبز، پیاده‌روهای نفوذپذیر و جوی‌های زیستی، به طور مؤثر آب‌های سطحی را مدیریت می‌کنند، اثرات جزیره گرمایی شهری را کاهش می‌دهند و کیفیت هوا و آب را بهبود می‌بخشند. این رویکردها نه تنها فشار بر سیستم‌های زهکشی سنتی را کاهش می‌دهند، بلکه تنوع زیستی را نیز افزایش داده و خدمات اکوسیستمی را در مناظر شهری ارتقا می‌دهند. با جمع‌آوری و فیلتر کردن آب باران در محل ریزش، زیرساخت سبز خطرات سیل را کاهش می‌دهد و به تغذیه آب‌های زیرزمینی کمک می‌کند و در نتیجه، محیط‌های شهری مقاوم‌تری ایجاد می‌کند که قادر به سازگاری با چالش‌های تغییرات اقلیمی هستند. تأثیرات اجتماعی زیرساخت سبز قابل توجه است و به بهبود سلامت عمومی و رفاه جامعه کمک می‌کند. فضاهای سبز با فراهم کردن مکان‌هایی برای تفریح و مشارکت اجتماعی، انسجام اجتماعی را تقویت می‌کنند و در نهایت، کیفیت زندگی ساکنان را افزایش می‌دهند. Bouramdane (۲۰۲۳) طی پژوهشی از تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی استراتژی‌های مدیریت آب شهر هوشمند استفاده کرد [۳۴]. او دریافت که معیار «اثر بخشی و مدیریت ریسک» بالاترین وزن را دارد که نقش محوری آن را در ارزیابی و استحکام استراتژی برجسته می‌کند. معیارهای با وزن متوسط شامل «بهره‌وری منابع، عدالت و ملاحظات اجتماعی»، «ادغام با سیستم‌های موجود، امکان‌سنجی فناوری و سهولت اجرا» و «تأثیر زیست‌محیطی» برای کاهش اثرات زیست‌محیطی است. «مشارکت جامعه و پذیرش عمومی» مشارکت را به رسمیت می‌شناسد، در حالی که «مقیاس‌پذیری و سازگاری» به شرایط در حال تغییر می‌پردازد. «بازگشت سرمایه» و «همسویی نظارتی و سیاستی» دغدغه‌های مالی و حاکمیتی را متعادل می‌کنند. دو معیار کم‌وزن، «قابلیت اطمینان داده‌ها» و «پایداری بلندمدت»، بر دقت و پایداری داده‌ها تأکید دارند. استراتژی‌های با وزن بالا مانند «اندازه‌گیری و نظارت هوشمند، مدیریت تقاضا، تغییر رفتار» و «سیستم‌های آبیاری هوشمند» به‌ویژه در بهبود مدیریت آب در شهرهای هوشمند مؤثر هستند. با این حال، استراتژی‌های با وزن متوسط (مثلاً «کمپین‌های آموزشی و آگاهی عمومی»، «سیاست‌گذاری و تنظیم مقررات»، «جمع‌آوری آب باران»، «سیستم‌های فتوولتائیک شناور فراساحلی»، «همکاری و مشارکت»، «بازیافت و استفاده مجدد از آب خاکستری» و «زیرساخت‌های توزیع شده آب») و استراتژی‌های با وزن کم (مثلاً «شیرین‌کنی آب») نیز در این امر نقش دارند و می‌توانند با استراتژی‌های با رتبه بالاتر ترکیب شوند تا رویکردهای مدیریت آب سفارشی برای هر زمینه منحصربه‌فرد شهر هوشمند ایجاد شود. Vink و Vinke-de Kruijf (۲۰۲۳) طی پژوهشی تأثیرات زیرساخت سبز شهری بر منابع آب و انرژی را بررسی کردند [۳۵]. آن‌ها نشان دادند از دیدگاه آب و انرژی، بام‌های سبز امیدوارکننده‌ترین زیرساخت سبز شهری هستند. نصب و نگهداری آن‌ها در مناطق متراکم شهری آسان است، تقاضای انرژی را کاهش می‌دهند و به آب کمی نیاز دارند. با این حال، تأثیرات بام‌های سبز به‌شدت به آب‌وهوای محلی و طراحی، به‌ویژه پارامترهای ساختاری و ذخیره‌سازی، پوشش گیاهی و عمق خاک بستگی دارد. علاوه بر این، عملکرد آن‌ها به پوشش گیاهی، رطوبت خاک، ویژگی‌های بستر و عمق بستگی دارد؛ و ترکیبات مختلف این عوامل به مبادلات مهمی برای آب و انرژی منجر می‌شود. شه‌دوست و رنجبر (۲۰۲۴) طی مطالعه‌ای به بررسی و تبیین شاخص‌های شهر سبز در کلانشهر شیراز پرداخته‌اند [۳۶]. پژوهشگران یادشده نشان دادند شیراز با وجود منابع طبیعی فراوان و ظرفیت‌های بالقوه‌ای که دارد، نیاز به بهبود و مدیریت بهتر فضاهای سبز و کیفیت محیط زیست دارد. از جمله ضعف‌های موجود می‌توان به کمبود فضاهای سبز عمومی، آلودگی هوا، و مدیریت نامناسب منابع آب اشاره کرد. همچنین، نیاز به برنامه‌ریزی‌های جامع‌تر و سیاست‌گذاری‌های هماهنگ‌تر برای توسعه حمل‌ونقل پایدار و کاهش مصرف انرژی در این شهر احساس می‌شود. آیا این پژوهش تأکید می‌کند که برای رسیدن به اهداف شهر سبز، باید استراتژی‌های بلندمدت و جامعی در زمینه‌های مختلف زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی اتخاذ شود. بهبود زیرساخت‌های شهری، افزایش آگاهی و مشارکت شهروندان در حفاظت از محیط زیست و

ایجاد سیستم‌های کارآمدتر در مدیریت پسماند و منابع طبیعی، از جمله اقداماتی است که می‌تواند به تحقق این هدف کمک کند. معتقد و همکاران (۲۰۲۳) طی مطالعه‌ای به تبیین مدل مفهومی شبکه سبز شهری از منظر علوم محیطی پرداختند [۳۷]. یافته‌های پژوهش یادشده نشان‌دهنده آن بود که مفهوم شبکه سبز شهری با سه علوم محیطی مطالعات شهری، جغرافیای شهری و علوم اکولوژی ارتباط مستقیم دارد و این علوم در شکل‌گیری مدل مفهومی برای ارائه تعریف و تصویری روشن از این مفهوم در راستای به‌کارگیری در برنامه‌ریزی زیرساخت سبز شهری تأثیر بسزایی دارد. نتایج تحقیق نشان‌دهنده آن بود که مطالعات شهری به مفاهیمی همچون حفاظت از فضای سبز موجود در شهرها، ایجاد فرم‌های جدید فضایی، ترمیم و نگهداری از اتصالات میان اجزای تشکیل‌دهنده و ... توجه می‌کند. در جغرافیای شهری توجه به اصول اکولوژیک موجود در شهرها، رفع نیازهای اکولوژیکی طبیعت و انسان، زندگی شهری و ... مفاهیمی اثرگذار هستند. در علوم اکولوژی به عنوان مهم‌ترین حوزه تحقیقاتی در باب مفهوم شبکه سبز شهری، به ارتقای پیوستگی در فضای سبز شهری، ایجاد و طراحی کریدورهای بهینه، توجه به پیوند میان اکوسیستم‌های بزرگ‌تر با اکوسیستم شهری و ... اشاره می‌شود. جهانبخش و همکاران (۲۰۲۲) طی مطالعه‌ای شاخص‌های مدیریت سبز را مورد بررسی قرار داده‌اند [۳۸]. نتایج تحقیق یادشده نشان می‌دهد هدف مدیریت سبز کاهش هزینه و آثار منفی زیست‌محیطی ناشی از مصرف در دستگاه‌های دولتی از طریق اجرای نظام مدیریت محیط زیستی، تغییر الگوی مصرف، مصرف بهینه منابع و کاهش ضایعات و درنهایت بهبود محیط زیست است. مدیریت سبز مجموعه‌ای از مطالعات و اقدامات جامع، هدفمند و مستمری است که در سطوح مختلف دستگاه‌های دولتی صورت می‌گیرد تا وضعیت موجود سازمان را در جهت نیل به وضعیت دولت سبز ارتقا و تداوم بخشد. شاخص آموزش و فرهنگ‌سازی از بیشترین تأثیرگذاری برخوردار است و ساختمان‌ها و تجهیزات، مدیریت پسماند، مصرف سوخت، مصرف انرژی و مصرف آب در درجات بعدی تأثیرگذاری قرار دارند. شجاع و همکاران (۲۰۲۵) طی مطالعه‌ای در شهرهای خشک و گرم نشان دادند کاهش پوشش گیاهی طی ۴۰ سال گذشته تأثیر معناداری در افزایش فشار گرمایی شهری داشته است [۳۹]. پژوهش آن‌ها تأکید دارد که بازگشت به استفاده از شبکه‌های سبز و احیای باغ‌های شهری می‌تواند خدمات سرمایشی طبیعی و کیفیت حرارتی شهر را بازیابی کند. یافته‌های آن‌ها کاربرد مستقیمی برای شهرهایی نظیر شیراز دارد که با مشکلات مشابهی مواجه هستند. همچنین، Bravo-Montero و García-Aranda (۲۰۲۵) طی مطالعه‌ای با بررسی موردی شهرهای مدیرانه‌ای نشان دادند استفاده از راهکارهای مبتنی بر طبیعت نظیر نوارهای سبز، سیستم‌های زهکشی طبیعی، و فضای سبز چندمنظوره نه تنها موجب بهبود کارایی مصرف آب می‌شود، بلکه به تقویت پیوند میان سیستم‌های آب، انرژی و غذا نیز کمک می‌کند [۴۰]. این مطالعه بر ضرورت ادغام رویکردهای اکولوژیکی در طراحی شهری تأکید دارد و پیشنهاد می‌کند که شاخص‌های بهره‌وری آب و انرژی به‌صورت هم‌زمان در طراحی شهرهای سبز مد نظر قرار گیرند.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳-۱. نوع، هدف و رویکرد پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی - توسعه‌ای است؛ زیرا تلاش می‌کند با شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر طراحی الگوی جامع شهر سبز با رویکرد مدیریت بهینه انرژی و منابع آب، زمینه تدوین راهبردهای عملی برای مدیریت شهری در استان فارس را فراهم سازد. از نظر رویکرد روش‌شناختی، پژوهش حاضر یک مطالعه آمیخته اکتشافی است که در آن ابتدا داده‌های کیفی برای استخراج مؤلفه‌ها و ابعاد مفهومی الگو گردآوری و تحلیل شده و در گام بعد، یافته‌های کیفی با استفاده از روش‌های کمی مورد اعتبارسنجی و اولویت‌بندی قرار گرفته‌اند. قلمرو مکانی پژوهش، استان فارس و به طور خاص شهرهایی است که با چالش‌های مرتبط با مصرف انرژی، کمبود منابع آب و مدیریت محیط زیست شهری مواجه‌اند.

۳-۲. جامعه آماری و نمونه‌گیری

جامعه آماری در بخش کیفی شامل کارشناسان، متخصصان و خبرگان حوزه‌های شهرسازی، محیط زیست، انرژی و منابع آب در استان فارس است. این افراد در سازمان‌ها و نهادهایی نظیر شهرداری‌ها، سازمان حفاظت محیط زیست، شرکت‌های آب و فاضلاب، شرکت‌های توزیع و تولید انرژی، و دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی مرتبط فعالیت دارند.

نمونه‌گیری در این بخش به صورت هدفمند با بهره‌گیری از معیارهای «تسلط نظری»، «تجربه عملی مرتبط»، «تمایل به مشارکت» و «دسترس‌پذیری» انجام شد. همچنین، به منظور شناسایی خبرگان کلیدی، از نمونه‌گیری گلوله‌برفی نیز استفاده شد؛ به این صورت که در پایان هر مصاحبه، از مشارکت‌کننده خواسته می‌شد سایر افراد واجد شرایط معرفی شوند. فرایند نمونه‌گیری تا رسیدن به اشباع نظری ادامه یافت و در نهایت، ۲۰ نفر از خبرگان در مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته شرکت کردند. ترکیب مشارکت‌کنندگان به گونه‌ای بود که تنوع قابل قبولی از نظر تخصص، سازمان محل خدمت و سابقه کاری حاصل شود (استادان دانشگاه، مدیران شهری، مدیران حوزه آب و فاضلاب، متخصصان انرژی‌های تجدیدپذیر و کارشناسان محیط زیست شهری). جامعه آماری بخش کمی نیز شامل خبرگان و مدیران ارشد همان حوزه‌ها (شهرسازی، محیط زیست، آب و انرژی) در سطح استان فارس است که با موضوع برنامه‌ریزی شهری و مدیریت پایدار منابع درگیر هستند.

با توجه به ماهیت روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تمرکز آن بر قضاوت‌های خبرگانی، نمونه‌گیری در این بخش به صورت هدفمند - قضاوتی انجام شد و تلاش شد افرادی انتخاب شوند که علاوه بر دانش نظری، نقش تصمیم‌گیر یا سیاست‌گذار در حوزه مرتبط داشته باشند. در مجموع، ۴۰ نفر از متخصصان و مدیران ذی‌ربط پرسشنامه‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و پرسشنامه ساخت‌یافته پژوهش را تکمیل کردند. تعداد ۴۰ نفر با توجه به توصیه‌های موجود برای مطالعات خبرگانی و تحلیل سلسله‌مراتبی برای دستیابی به پایداری قضاوت‌ها و امکان تحلیل‌های آماری تکمیلی، کفایت دارد.

۳-۳. ابزار و رویه گردآوری داده‌ها

برای گردآوری داده‌های کیفی، از مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته استفاده شد. راهنمای مصاحبه بر اساس مرور ادبیات نظری شهر سبز، مدیریت منابع آب و انرژی و زیرساخت سبز و همچنین، اهداف پژوهش طراحی شد. سؤالات مصاحبه حول محورهای اصلی زیر سازمان‌دهی شد:

- برداشت و تعریف مشارکت‌کنندگان از «شهر سبز» با تمرکز بر انرژی و آب
 - تجربه‌ها و چالش‌های موجود در مدیریت منابع آب و انرژی در شهرهای استان فارس
 - زیرساخت‌ها، سیاست‌ها و فناوری‌های مورد نیاز برای تحقق شهر سبز
 - مؤلفه‌ها و شاخص‌های کلیدی که باید در الگوی جامع شهر سبز لحاظ شوند
 - اولویت‌های پیشنهادی در حوزه مدیریت منابع آب، انرژی، فضای سبز، فناوری‌های هوشمند و فرهنگ‌سازی
- مصاحبه‌ها به صورت حضوری و در برخی موارد برخط (آنلاین) انجام شد. مدت‌زمان هر مصاحبه بین ۴۵ تا ۷۵ دقیقه متغیر بود. با کسب اجازه کتبی و شفاهی مشارکت‌کنندگان، تمام مصاحبه‌ها ضبط صوتی و سپس به طور کامل پیاده‌سازی شدند. در بخش کمی از دو نوع ابزار استفاده شد:

۱. پرسشنامه مقایسات زوجی تحلیل سلسله‌مراتبی

- این پرسشنامه بر اساس تم‌های فراگیر و سازمان‌دهنده استخراج شده از بخش کیفی طراحی شد.
- در سطح معیارها، شش بعد اصلی شناسایی شده (مانند مدیریت بهینه منابع آب، مدیریت بهینه مصرف انرژی، طراحی و مدیریت فضای سبز پایدار، فناوری‌های هوشمند و نوین، آموزش و فرهنگ‌سازی، کاهش آلاینده‌ها و مدیریت پسماند) به صورت مقایسه زوجی در اختیار خبرگان قرار گرفت.
- در صورت نیاز، برای هر معیار اصلی، زیرمعیارها نیز در قالب مقایسات زوجی تنظیم شد.
- مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی برای سنجش اهمیت نسبی معیارها به کار گرفته شد.

۲. پرسشنامه ساخت‌یافته

- برای سنجش ادراک پاسخ‌دهندگان از وضعیت موجود و مطلوب هر یک از ابعاد الگوی شهر سبز، پرسشنامه‌ای با مقیاس لیکرت ۵ درجه‌ای طراحی شد.

- گویه‌ها بر اساس کدها و تم‌های به‌دست‌آمده از بخش کیفی تدوین و روایی صوری و محتوایی آن با نظر چند تن از صاحب‌نظران اصلاح شد.
- پرسشنامه‌ها پس از پیش‌آزمون و اصلاحات لازم، در میان ۴۰ نفر از خبرگان و مدیران منتخب توزیع و جمع‌آوری شد.

۳-۴. روش تحلیل داده‌ها

۱. تحلیل داده‌های کیفی: تحلیل مضمون شبکه‌ای
برای تحلیل داده‌های کیفی از تحلیل مضمون با رویکرد شبکه مضامین آترید - استرلینگ استفاده شد. فرایند تحلیل در چند گام انجام گرفت:
 - آشنایی با داده‌ها: خواندن مکرر متن مصاحبه‌ها برای درک کلیت مضمون و زمینه گفت‌وگوها.
 - کدگذاری اولیه (باز) شناسایی واحدهای معنایی مرتبط با موضوع پژوهش و تخصیص کدهای اولیه به جملات، عبارات یا پاراگراف‌ها
 - استخراج مضامین پایه: گروه‌بندی کدهای هم‌معنا یا مرتبط در قالب مضامین پایه
 - شکل‌دهی مضامین سازمان‌دهنده: ادغام و تجمیع مضامین پایه در سطحی بالاتر برای تشکیل مضامین سازمان‌دهنده که نمایانگر ابعاد میانی الگو هستند.
 - استخراج مضامین فراگیر: یکپارچه‌سازی مضامین سازمان‌دهنده برای رسیدن به مضامین فراگیر که ساختار اصلی الگوی شهر سبز را شکل می‌دهند.
 - ترسیم شبکه مضامین و بازگشت به داده‌ها: ترسیم شبکه مضامین برای نمایش روابط بین مضامین پایه، سازمان‌دهنده و فراگیر و بازبینی شبکه در متن مصاحبه‌ها به منظور اطمینان از انطباق با داده‌های خام و رفع ابهامات تفسیری
 در مجموع، پس از چند مرحله پالایش، از میان کدهای اولیه، تعداد مشخصی مضمون پایه استخراج و در قالب ۱۴ مضمون سازمان‌دهنده و ۶ مضمون فراگیر سازمان‌دهی شد که بنیان الگوی مفهومی شهر سبز با رویکرد مدیریت بهینه انرژی و منابع آب را تشکیل می‌دهند.
۲. تحلیل داده‌های کمی: تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل‌های آماری تکمیلی
برای تحلیل داده‌های بخش کمی، مراحل زیر طی شد:
 - تحلیل سلسله‌مراتبی: روش تحلیل سلسله‌مراتبی در این پژوهش شامل مراحل زیر بود: (۱) تعریف هدف تصمیم‌گیری (طراحی الگوی جامع شهر سبز)، (۲) تعیین معیارهای اصلی بر اساس یافته‌های کیفی، (۳) تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی با استفاده از مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی، (۴) محاسبه وزن معیارها از طریق میانگین هندسی قضاوت خبرگان، و (۵) بررسی نرخ ناسازگاری به منظور اطمینان از سازگاری قضاوت‌ها
 - تشکیل ساختار سلسله‌مراتبی شامل هدف پژوهش، معیارهای اصلی و در صورت لزوم زیرمعیارها.
 - تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی بر اساس پرسشنامه‌های تکمیل شده.
 - محاسبه وزن نسبی معیارها و زیرمعیارها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice
 - محاسبه نرخ ناسازگاری برای هر ماتریس؛ در صورت بیشتر بودن از ۱/۰، از پاسخ‌دهندگان خواسته شد قضاوت خود را اصلاح کنند تا سازگاری قابل قبول حاصل شود.
 - استخراج وزن نهایی معیارها و رتبه‌بندی آن‌ها در الگوی شهر سبز.
۳. تحلیل‌های آماری توصیفی و استنباطی
 - توصیف مشخصات جمعیت‌شناختی نمونه (جنسیت، تحصیلات، سابقه خدمت، حوزه فعالیت).
 - تحلیل توصیفی ابعاد شهر سبز (میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر).

○ در صورت استفاده از پرسشنامه ساخت یافته، تحلیل عاملی تأییدی (CFA) و مدلیابی معادلات ساختاری (SEM) برای بررسی برازش مدل مفهومی و روابط میان ابعاد انجام شد. تصمیم‌گیری درباره معناداری مسیرها در مدل معادلات ساختاری بر اساس ضرایب استاندارد (β)، مقدار آماره t و سطح معناداری ($p < 0.05$) انجام شد. شاخص‌های برازش مدل شامل RMSEA، CFI و GFI نیز برازش مناسب مدل را تأیید کردند.

۴. تحلیل همبستگی و مسیر

○ بررسی روابط بین ابعاد شناسایی شده (مثلاً ارتباط میان فناوری‌های هوشمند، آموزش و فرهنگ‌سازی و مدیریت منابع آب).
○ تحلیل مسیر برای سنجش اثرات مستقیم و غیرمستقیم برخی ابعاد بر پیامدهای کلان شهر سبز.
تحلیل سلسله‌مراتبی با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice و تحلیل عاملی تأییدی و مدلیابی معادلات ساختاری با استفاده از نرم‌افزار AMOS انجام شد. تحلیل‌های توصیفی نیز به کمک نرم‌افزار SPSS صورت گرفت.

۳-۵. روایی، پایایی و اعتمادپذیری داده‌ها

۱. اعتمادپذیری داده‌های کیفی

برای اطمینان از کیفیت و اعتبار داده‌های کیفی، معیارهای چهارگانه لینکلن و گوبا (باورپذیری، اطمینان‌پذیری، تأییدپذیری و انتقال‌پذیری) به کار گرفته شد:

- باورپذیری: استفاده از بازبینی مشارکت‌کنندگان؛ بخشی از کدگذاری‌ها و مضامین در اختیار چند نفر از مصاحبه‌شوندگان قرار گرفت و از آن‌ها خواسته شد صحت برداشت پژوهشگر را تأیید یا اصلاح کنند.
- اطمینان‌پذیری: استفاده از کدگذار دوم؛ بخشی از مصاحبه‌ها به طور مستقل توسط پژوهشگر دوم کدگذاری شد. میزان توافق میان دو کدگذار با شاخص کاپای کوهن محاسبه و مقدار آن برابر 0.82 به دست آمد که نشان‌دهنده توافق مناسب و پایایی قابل قبول است.
- تأییدپذیری: مستندسازی کامل مراحل تحلیل، نگهداری ردپای حساسی و استفاده از نقل‌قول‌های مستقیم مشارکت‌کنندگان برای استحکام استدلال‌ها.
- انتقال‌پذیری: ارائه توصیف غنی از زمینه پژوهش، ویژگی‌های مشارکت‌کنندگان و شرایط اجرای مطالعه، تا امکان قضاوت خوانندگان درباره قابلیت تعمیم نتایج به زمینه‌های مشابه فراهم شود.

۲. روایی و پایایی ابزارهای کمی

برای ارزیابی روایی و پایایی ابزارهای کمی اقدامات زیر انجام شد:

روایی محتوا: طرح اولیه پرسشنامه‌ها در اختیار چند تن از استادان دانشگاه و خبرگان حوزه شهر سبز، آب و انرژی قرار گرفت و بر اساس نظرات آنان، اصلاحات لازم در نحوه بیان گویه‌ها، شفافیت مفاهیم و تناسب شاخص‌ها با ابعاد مفهومی اعمال شد.
پایایی: برای پرسشنامه ساخت یافته، ضریب آلفای کرونباخ برای ابعاد مختلف محاسبه شد و مقادیر بالاتر از 0.7 نشان‌دهنده پایایی قابل قبول مقیاس‌ها بود. در مورد پرسشنامه سلسله‌مراتبی، پایایی قضاوت‌ها از طریق بررسی نرخ ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی ($CR < 0.1$) تأمین شد.

روایی سازه: در صورت اجرای تحلیل عاملی تأییدی، روایی همگرا و واگرا با استفاده از شاخص‌هایی مانند میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE) و پایایی ترکیبی (CR) ارزیابی شده و شاخص‌های برازش کلی مدل نظیر نسبت کای‌دو به درجه آزادی (χ^2/df)، ریشه میانگین مربعات خطای برآورد (RMSEA)، شاخص برازش تطبیقی (CFI)، شاخص برازش (GFI) و شاخص برازش تعدیل‌شده (AGFI) گزارش می‌شود.

جدول ۲. خلاصه طراحی پژوهش: نوع داده، ابزار، روش تحلیل و خروجی‌ها

خروجی و دستاورد پژوهش	روش تحلیل داده‌ها	روش و ابزار گردآوری داده‌ها	جامعه / مشارکت‌کنندگان	نوع داده	مرحله پژوهش
استخراج ۶ مضمون فراگیر، ۱۴ مضمون سازمان‌دهنده، شکل‌گیری الگوی مفهومی شهر سبز	تحلیل مضمون شبکه‌ای (آترید- استرلینگ)، کدگذاری باز، استخراج مضامین پایه، سازمان‌دهنده و فراگیر، بازبینی مشارکت‌کنندگان، کدگذار دوم	مصاحبه نیمه‌ساختاریافته، ضبط صوت، پیاده‌سازی کامل متن	۲۰ نفر از خبرگان حوزه‌های شهرسازی، محیط زیست، آب و انرژی (نمونه‌گیری هدفمند + گلوله‌برفی)	داده‌های متنی حاصل از مصاحبه نیمه‌ساختاریافته	مرحله کیفی (اکتشافی)
رتبه‌بندی معیارهای الگوی شهر سبز؛ تعیین مهم‌ترین عامل (مدیریت بهینه منابع آب)	تحلیل سلسله‌مراتبی، محاسبه وزن معیارها، بررسی نرخ ناسازگاری، نرم‌افزار Expert Choice	پرسشنامه مقایسه زوجی تحلیل سلسله‌مراتبی بر اساس مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی	۴۰ نفر از مدیران و متخصصان حوزه‌های مرتبط (نمونه‌گیری هدفمند- قضاوتی)	داده‌های عددی حاصل از پرسشنامه تحلیل سلسله‌مراتبی	مرحله کمی (اعتبارسنجی و اولویت‌بندی)
ارزیابی برازش مدل مفهومی، روایی سازه، اثرگذاری ابعاد بر یکدیگر، تأیید ساختار نهایی الگو	تحلیل عاملی تأییدی، مدل‌یابی معادلات ساختاری، تحلیل همبستگی/مسیر، نرم‌افزار SPSS و LISREL/AMOS	پرسشنامه ساختاریافته بر اساس مضامین کیفی	همان ۴۰ نفر متخصص	داده‌های کمی مبتنی بر طیف لیکرت	مرحله کمی (تحلیل عاملی تأییدی/ معادلات ساختاری)
افزایش اعتبار علمی و استحکام مدل نهایی	آزمون اعتمادپذیری لینکلن و گوبا، پایایی و روایی ابزارها	بازبینی مشارکت‌کنندگان، کدگذار دوم، آلفای کرونباخ، بررسی نرخ ناسازگاری	کلیه مشارکت‌کنندگان	داده‌های کیفی و کمی	اعتبارسنجی ابزارها و داده‌ها
الگوی نهایی شهر سبز با رویکرد مدیریت منابع آب و انرژی، پیشنهادها	تفسیر نهایی، ارتباط دادن یافته‌ها، طراحی الگوی جامع شهر سبز	تجمیع نتایج با رویکرد آمیخته اکتشافی	—	ترکیب داده‌های کیفی و کمی	یکپارچه‌سازی نتایج (مرحله نهایی)

۴. یافته‌های تحقیق

۴-۱. یافته‌های بخش کیفی (تحلیل مضمون شبکه‌ای)

برای تجزیه و تحلیل داده‌های بخش کیفی بر اساس دیدگاه آتراید استرلینگ از ابزار تحلیل شبکه مضامین استفاده شده است (آتراید استرلینگ، ۲۰۰۱). این روش به خلاف دیگر روش‌های کیفی به چارچوبی نظری که از قبل وجود داشته باشد وابسته نیست و از آن می‌توان در چارچوب‌های نظریه متفاوت و برای امور مختلف استفاده کرد. لذا با استفاده از این روش و طی مراحل مضامین پایه، مضامین سازمان‌دهنده و مضامین فراگیر در زمینه الگوی جامع شهر سبز با رویکرد مدیریت بهینه انرژی و منابع آب استخراج شدند. سپس، به صورت نقشه‌های شبکه تارنما، رسم و روابط میان آن‌ها در مراحل زیر مشخص شد.

گام اول - آشنا شدن با داده‌ها: به این منظور برای آشنایی پژوهشگر با عمق و غنای مصاحبه‌ها محتوای نوشته‌ها خط به خط چندین بار خوانده شدند.

گام دوم - ایجاد کدهای اولیه و کدگذاری: بعد از اینکه محقق داده‌ها را مطالعه کرد و با آن‌ها آشنا شد، بخش‌های مختلف متن مصاحبه‌ها به روش علامت‌گذاری متمایز و مشخص شد و کدهای اولیه استخراج شدند. همچنین، فهرستی اولیه از ایده‌های موجود در داده‌ها و نکات جالب آن‌ها، تهیه شد.

گام سوم - جست‌وجو و شناخت مضامین: در این مرحله کدها تجزیه و تحلیل شدند، کدهای مختلف در قالب مضامین مرتب شدند. با بررسی‌های چندباره و پالایش مضامین سعی شد تا مضامین به اندازه کافی خاص، غیرتکراری و کلان باشد.

گام چهارم- ترسیم شبکه مضامین: در این مرحله مضامین به دست آمده از متن در گروه‌های مشابه و منسجم دسته‌بندی شدند.

گام پنجم- تحلیل شبکه مضامین: در این گام مضامین پیشنهاد شده برای تحلیل داده‌ها تعریف و تعدیل و داده‌ها بر اساس آن‌ها تحلیل شد. شبکه‌های مضامین ابزاری برای تحلیل هستند نه خود تحلیل. این شبکه‌ها به پژوهشگر کمک می‌کند تا به درک عمیق‌تری از معانی متون برسد و بتواند مضامین به دست آمده را تشریح کند و مدل‌های آن‌ها را بشناسد. پس از ایجاد شبکه‌های مضامین، پژوهشگر باید دوباره به متن اصلی مراجعه و آن را به کمک این شبکه‌ها تفسیر کند.

گام ششم- تدوین گزارش: آخرین مرحله وقتی آغاز می‌شود که مجموعه کاملی از مضامین نهایی فراهم شده باشید. در این مرحله تحلیل و تدوین گزارش نهایی تحقیق صورت گرفت. مضامین پایه، سازمان‌دهنده و فراگیر حاصل از مصاحبه‌های شرکت‌کنندگان در یک جدول قرار داده شدند.

برای تأمین اعتبار یافته‌ها معیارهای چهارگانه مدنظر لینکلن و گابا (۱۹۸۵) یعنی قابلیت اعتماد شامل باورپذیری، تأییدپذیری، اطمینان‌پذیری و انتقال‌پذیری مد نظر قرار گرفت. به این صورت که از شیوه بررسی به وسیله اعضای پژوهش استفاده شد. متن مصاحبه‌ها و کدبندی‌های حاصل از آن در اختیار چند تن از مصاحبه‌شوندگان قرار گرفت و خواسته شد تا هرگونه اصلاحی که لازم می‌دانند را اعمال کنند. برای گردآوری داده‌ها از تکنیک‌های حصول اشباع نظری و توصیف غنی داده‌ها استفاده شد و داده‌ها از منابع متعدد جمع‌آوری و همسوسازی شد. همچنین، از روش کدگذار دوم نیز استفاده شد و متن مصاحبه‌های انجام شده از سوی کدگذار دوم نیز کدگذاری و تحلیل شدند چون کدگذار دوم به صورت مستقل متن مصاحبه‌ها یا داده‌های جمع‌آوری شده را کدگذاری کرد تا از تفسیرهای یک‌جانبه جلوگیری شود و این کدگذاری به منظور بررسی همسانی کدها و کاهش سوگیری پژوهشگر اصلی انجام شد که در نهایت توافق میان دو کدگذار به میزان ۰/۸۲ بود.

در پاسخ به سؤال پژوهش «عوامل کلیدی مؤثر در طراحی الگوی جامع شهر سبز با رویکرد مدیریت بهینه انرژی و منابع آب کدام‌اند؟» سه گام اصلی در تحلیل شبکه مضامین شامل تجزیه و تحلیل متن، اکتشاف متن و سپس یکپارچه‌سازی اکتشاف‌ها صورت گرفت.

پس از پیاده‌سازی مصاحبه‌ها، کدگذاری باز صورت پذیرفت و اقدام به برجسته‌سازی جملات مهم از متن مصاحبه‌ها و ایجاد کدهای اولیه (مضامین پایه) شد. به عنوان مثال از نشانه گفتاری «در شهرهای سبز، یکی از راهکارهای مهم برای مدیریت منابع آب، استفاده از مخازن ذخیره‌سازی آب باران است. با نصب این مخازن در نقاط مختلف شهری، می‌توانیم آب باران را جمع‌آوری کنیم و آن را برای آبیاری فضای سبز شهری به کار ببریم» مضمون پایه «استفاده از مخازن ذخیره‌سازی آب باران برای آبیاری فضای سبز»؛ «آب باران جمع‌آوری شده معمولاً نیاز به تصفیه دارد تا برای مصارف شهری مانند شست‌وشوی معابر و فضاهای عمومی قابل استفاده باشد. نصب فیلترهای مناسب در سیستم ذخیره‌سازی آب باران، کیفیت آب را به حد قابل قبولی می‌رساند و امکان استفاده مجدد از این منبع را فراهم می‌کند.» مضمون پایه «استفاده از فیلترهای تصفیه آب باران برای شست‌وشو و مصارف شهری» استخراج شد.

بعد از شناسایی مضامین پایه، مضامینی که شبیه یکدیگر بودند و در قالب مضامین سازمان‌دهنده نام‌گذاری شدند. برای مثال، مضمون پایه «استفاده از مخازن ذخیره‌سازی آب باران برای آبیاری فضای سبز»، «استفاده از فیلترهای تصفیه آب باران برای شست‌وشو و مصارف شهری» و «کاهش مصرف آب شهری با استفاده از آب باران جمع‌آوری شده» در یک مجموعه قرار گرفته و با عنوان مضامین سازمان‌دهنده «سیستم‌های جمع‌آوری آب باران» برجسته‌گذاری شدند. همچنین، مضامین سازمان‌دهنده «سیستم‌های جمع‌آوری آب باران»، «سیستم‌های تصفیه و بازچرخانی» و «استفاده از تجهیزات کم‌مصرف» در یک مجموعه بزرگ‌تر با عنوان مضامین فراگیر «مدیریت بهینه منابع آب» برجسته‌گذاری شدند. نتایج در جدول ۳ آورده شده است.

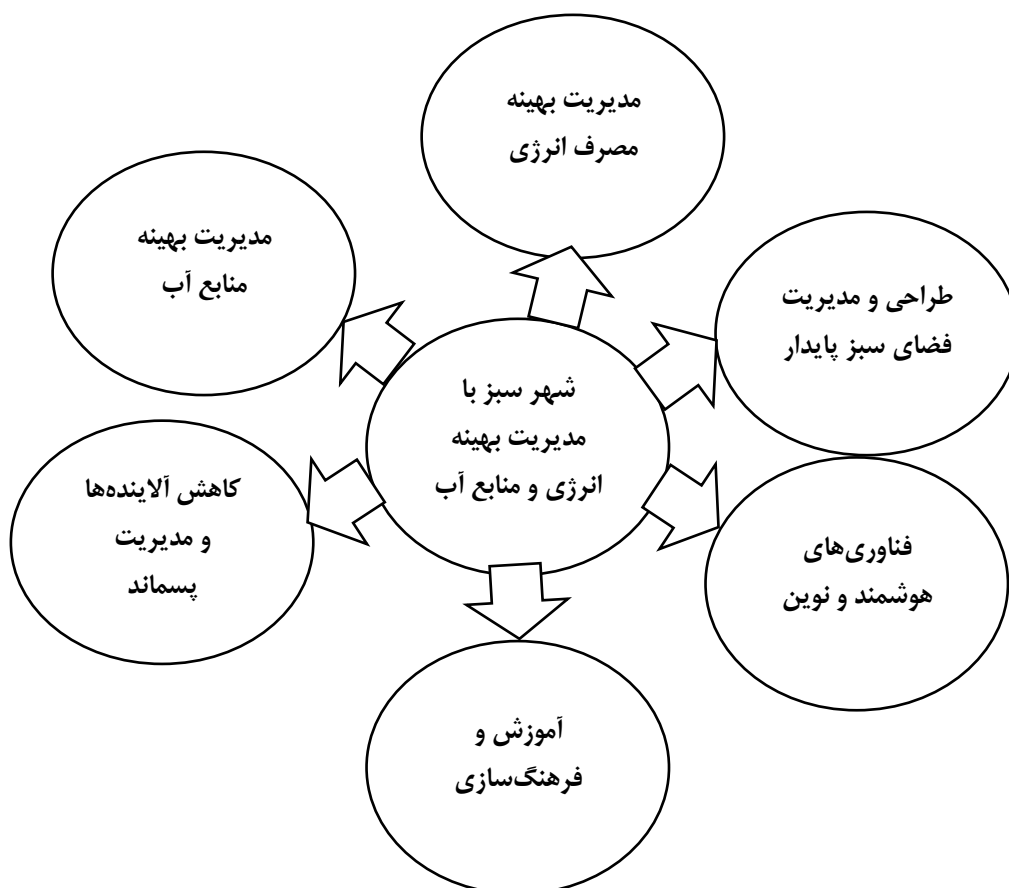
در مرحله کیفی، داده‌ها از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۲۰ نفر از خبرگان حوزه‌های شهرسازی، محیط زیست، انرژی و مدیریت منابع آب گردآوری و با روش تحلیل مضمون شبکه‌ای آترید-استرلینگ تحلیل شد.

فرایند تحلیل شامل کدگذاری اولیه، استخراج مضامین پایه، سازمان‌دهنده و مضامین فراگیر بود. در نهایت: ۱۸۷ کد اولیه، ۴۸ مضمون پایه، ۱۴ مضمون سازمان‌دهنده، ۶ مضمون فراگیر شناسایی شد.

شش مضمون فراگیر نهایی عبارت‌اند از: مدیریت بهینه منابع آب، مدیریت بهینه مصرف انرژی، طراحی و مدیریت فضای سبز پایدار، فناوری‌های هوشمند و نوین، آموزش و فرهنگ‌سازی محیط زیستی، کاهش آلاینده‌ها و مدیریت پسماند. این مضامین، ساختار اصلی الگوی پیشنهادی شهر سبز را شکل دادند.

جدول ۳. مضامین فراگیر، مضامین سازمان‌دهنده و مضامین پایه

مضامین فراگیر	مضامین سازمان‌دهنده	مضامین پایه
مدیریت بهینه منابع آب	سیستم‌های جمع‌آوری آب باران	استفاده از مخازن ذخیره‌سازی آب باران برای آبیاری فضای سبز، استفاده از فیلترهای تصفیه آب باران برای شست‌وشو و مصارف شهری، کاهش مصرف آب شهری با استفاده از آب باران جمع‌آوری شده
	سیستم‌های تصفیه و بازچرخانی	تصفیه آب خاکستری برای استفاده مجدد در فضای سبز، فیلتر و ضد عفونی کردن آب مصرف شده برای بازچرخانی، کاهش هدررفت منابع آب با بازیافت آب مصرف شده
	استفاده از تجهیزات کم‌مصرف	نصب شیرهای کم‌فشار برای کاهش مصرف آب، به‌کارگیری سر دوش‌های بهینه مصرف آب
مدیریت بهینه مصرف انرژی	استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر	بهره‌گیری از پنل‌های خورشیدی در ساختمان‌های سبز، تبدیل منازل به تولیدکننده انرژی با شبکه‌های هوشمند، کاهش وابستگی به منابع انرژی فسیلی، بهره‌گیری از انرژی باد، استفاده از انرژی زمین‌گرمایی
	بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها	عایق‌کاری مناسب برای کاهش اتلاف انرژی، استفاده از نور طبیعی برای کاهش مصرف برق، نصب سیستم‌های تهویه و گرمایش/سرمایش کم‌مصرف، استفاده از پنجره‌های دوجداره برای کاهش هدررفت انرژی، به‌کارگیری روشنایی ال‌ای‌دی و سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی، استفاده از شبکه‌های هوشمند برای مدیریت مصرف انرژی، نصب حسگرهای هوشمند برای کنترل روشنایی و سرمایش، استفاده از سیستم‌های مدیریت انرژی مبتنی بر اینترنت اشیا، بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش‌های مسکونی و تجاری
	انتخاب گیاهان مقاوم به خشکی	استفاده از گیاهان بومی با نیاز آبی کم، کاهش نیاز به آبیاری مکرر با انتخاب گونه‌های مقاوم
طراحی و مدیریت فضای سبز پایدار	استفاده از مالچ و پوشش خاک	کاهش تبخیر آب با استفاده از پوشش‌های طبیعی یا مصنوعی، حفظ رطوبت خاک و بهبود کیفیت خاک، محافظت خاک در برابر فرسایش و خشکی
	طراحی مناسب فضای سبز	استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، تقسیم‌بندی فضای سبز بر اساس نیاز آبی متفاوت، ایجاد سایه‌بان‌های طبیعی در درختان برای کاهش تبخیر و مصرف آب، افزایش تعداد پارک‌ها و فضاهای سبز در مناطق شهری، برنامه‌ریزی برای نگهداری و مراقبت مستمر از فضای سبز موجود، ایجاد بام‌های سبز و دیوارهای سبز در ساختمان‌های شهری
	سیستم‌های هوشمند آبیاری	حسگرهای رطوبت خاک، تایمرهای آبیاری، کنترل زمان و میزان آبیاری
فناوری‌های هوشمند و نوین	فناوری‌های پاک و سازگار با محیط زیست	استفاده از فناوری‌های کم‌مصرف، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بازیافت آب
	آگاهی‌بخشی و آموزش شهروندان	اطلاع‌رسانی به شهروندان، آموزش صرفه‌جویی در مصرف آب، فرهنگ‌سازی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، آگاهی‌بخشی درباره بازیافت، برگزاری کارگاه‌های آموزشی درباره مصرف بهینه انرژی و آب، تولید محتوای رسانه‌ای برای فرهنگ‌سازی سبز، تشویق شهروندان به مشارکت در برنامه‌های محیط زیستی، ایجاد برنامه‌های آموزشی در مدارس
	تشویق به مشارکت مردمی	مشارکت در پروژه‌های سبز، ایجاد حس مسئولیت‌پذیری، تشکیل انجمن‌های محلی برای نظارت بر پروژه‌های سبز، جلب همکاری ساکنان در حفظ فضای سبز، ایجاد پلتفرم‌های آنلاین برای دریافت نظرات مردم، مشارکت در برنامه‌های داوطلبانه پاکسازی و کاشت درخت
کاهش آلاینده‌ها و مدیریت پسماند	مدیریت پسماند شهری	تفکیک زباله از مبدأ در سطح محلات، ایجاد مراکز بازیافت در مناطق مختلف شهر، تشویق به استفاده مجدد از مواد بازیافتی، کاهش تولید پسماندهای پلاستیکی
	کاهش آلودگی منابع آب و خاک	کنترل پساب‌های صنعتی قبل از ورود به منابع آبی، اجرای طرح‌های پاکسازی رودخانه‌ها و کانال‌ها، محدودیت استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی شهری، نظارت بر دفع صحیح مواد خطرناک



شکل ۱. عوامل کلیدی مؤثر در طراحی الگوی جامع شهر سبز با رویکرد مدیریت بهینه انرژی و منابع آب

۴-۲. یافته‌های بخشی کمی: رتبه‌بندی معیارها

در مرحله کمی اول، برای اعتبارسنجی و اولویت‌بندی معیارهای استخراج‌شده از بخش کیفی، تحلیل سلسله‌مراتبی با مشارکت ۴۰ نفر از متخصصان انجام شد. آمارهای جمعیت‌شناختی مرتبط به این پژوهش به‌اختصار در جدول ۴ نشان داده شده است:

جدول ۴. متغیرهای جمعیت‌شناختی

متغیرهای جمعیت‌شناختی	فراوانی	درصد فراوانی
جنسیت	مرد	۶۷.۵
	زن	۳۲.۵
سطح تحصیلات	فوق لیسانس	۴۵
	دکتری	۵۵
سابقه	زیر ۱۰ سال	۱۵
	۱۱۰۰ تا ۲۰ سال	۴۷.۵
	بالای ۲۰ سال	۳۷.۵

در پاسخ به سؤالات پژوهش که «اولویت‌بندی عوامل مؤثر در الگوی جامع شهر سبز با رویکرد مدیریت بهینه انرژی و منابع آب چگونه است؟» از تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. برای اجرای فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی باید در گام نخست، درخت سلسله‌مراتبی مسئله شامل هدف، معیارها و زیرمعیارها را تشکیل داد. در گام بعد، ماتریس مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها تهیه و در اختیار افراد شرکت‌کننده در تحقیق قرار گرفت. در گام بعد، جدول‌های تکمیل‌شده توسط افراد از لحاظ نرخ ناسازگاری بررسی و ماتریس‌هایی که نرخ ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ دارند به افراد بازگردانده شدند تا آن‌ها در قضاوت خود تجدید نظر کنند. در

نهایت، نظر افراد با به‌کارگیری میانگین هندسی تک‌تک نظرات، با یکدیگر تلفیق شد تا رتبه نهایی گزینه‌ها به دست آید. این پژوهش شامل ۶ عامل اصلی است که مقایسات زوجی ادغام‌شده آن‌ها در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵. رتبه‌بندی نهایی مؤلفه‌های شهر سبز

رتبه	وزن	معیار
۱	۰.۴۲۴	مدیریت بهینه منابع آب
۲	۰.۲۰۳	مدیریت بهینه مصرف انرژی
۳	۰.۱۰۸	فضای سبز پایدار
۴	۰.۱۰۸	مدیریت پسماند و کاهش آلاینده‌ها
۵	۰.۰۸۹	فناوری‌های هوشمند
۶	۰.۰۶۸	آموزش و فرهنگ‌سازی

نتایج نشان داد آب و انرژی مهم‌ترین عوامل شکل‌دهنده شهر سبز در استان فارس تشخیص داده شدند.

جدول ۶. مقایسه زوجی معیارهای اصلی پژوهش

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1		2.28943	4.64159	3.77976	3.77976	6.31636
C2			2.08008	2	2	3.1748
C3				0.793701	0.793701	1.25992
C4					1	1.5874
C5						1.5874
C6						

بعد از وارد کردن مقایسات زوجی در نرم‌افزار اوزان معیارها به صورت نمودار ۱ است.



نمودار ۱. وزن معیارهای اصلی بر اساس هدف

نتایج اولویت‌بندی عوامل نشان داد مدیریت بهینه منابع آب با (۰/۴۲۴) در رتبه اول، مدیریت بهینه مصرف انرژی با (۰/۲۰۳) در رتبه دوم، طراحی و مدیریت فضای سبز پایدار با (۰/۱۰۸) در رتبه سوم، کاهش آلاینده‌ها و مدیریت پسماند با (۰/۱۰۸) در رتبه چهارم، فناوری‌های هوشمند و نوین با (۰/۰۸۹) در رتبه پنجم و آموزش و فرهنگ‌سازی با (۰/۰۶۸) در رتبه ششم قرار دارد.

۳-۴. یافته‌های تحلیل عاملی تأییدی

برای تأیید روایی سازه‌های به‌دست‌آمده از تحلیل مضمون، مدل اندازه‌گیری با تحلیل عاملی تأییدی برآورد شد. نتایج نشان داد همه سازه‌ها از روایی همگرا، واگرا و پایایی قابل قبول برخوردارند.

جدول ۷. بارهای عاملی استاندارد

بار عاملی	گویه	سازه
۰.۷۸	WRM1	مدیریت منابع آب
۰.۸۱	WRM2	
۰.۷۴	WRM3	
۰.۷۲	ENM1	مدیریت انرژی
۰.۸۴	ENM2	
۰.۷۷	ENM3	
۰.۷۰	GSM1	فضای سبز پایدار
۰.۷۶	GSM2	
۰.۸۳	SMT1	فناوری‌های هوشمند
۰.۷۹	SMT2	
۰.۶۸	EDU1	آموزش و فرهنگ‌سازی
۰.۷۴	EDU2	
۰.۸۲	PWM1	مدیریت پسماند و کاهش آلاینده‌ها
۰.۸۰	PWM2	

جدول ۸. مقدار متوسط واریانس استخراج‌شده و پایایی ترکیبی

پایایی ترکیبی	مقدار متوسط واریانس استخراج‌شده	سازه
۰.۸۴	۰.۵۸	مدیریت منابع آب
۰.۸۶	۰.۶۲	مدیریت انرژی
۰.۷۸	۰.۵۵	فضای سبز پایدار
۰.۸۲	۰.۶۰	فناوری‌های هوشمند
۰.۷۶	۰.۵۱	آموزش و فرهنگ‌سازی
۰.۸۳	۰.۵۹	مدیریت پسماند و کاهش آلاینده‌ها

تمام مقادیر متوسط واریانس استخراج‌شده بیشتر از ۰/۵ و پایایی ترکیبی بیشتر از ۰/۷ است. روایی همگرا تأیید شد. ریشه دوم متوسط واریانس استخراج‌شده هر سازه از همبستگی‌های بین‌سازه‌ای بزرگ‌تر بود. روایی واگرا تأیید شد.

جدول ۹. شاخص‌های برازش تحلیل عاملی تأییدی

شاخص	مقدار نمونه‌ای	حد قابل قبول
χ^2/df	۲.۱۱	< ۳
RMSEA	۰.۰۶۲	< ۰.۰۸
CFI	۰.۹۴	> ۰.۹۰
GFI	۰.۹۱	> ۰.۹۰
AGFI	۰.۸۸	> ۰.۹۵
NFI	۰.۹۲	> ۰.۹۰

مدل اندازه‌گیری برازش مطلوبی دارد.

۴-۴. یافته‌های مدل معادلات ساختاری

در مرحله کمی دوم، برای بررسی اثرگذاری ابعاد استخراج‌شده، مدل معادلات ساختاری اجرا شد.

جدول ۱۰. شاخص‌های برازش مدل ساختاری

شاخص	مقدار نمونه‌ای	حد مطلوب
χ^2/df	۲.۲۸	< ۳
RMSEA	۰.۰۶۷	< ۰.۰۸
CFI	۰.۹۳	> ۰.۹۰
TLI	۰.۹۱	> ۰.۹۰
SRMR	۰.۰۵۴	< ۰.۰۸

با بررسی جدول ۱۰ مدل ساختاری تأیید می‌شود.

جدول ۱۱. ضرایب مسیر استاندارد

ضریب مسیر استاندارد شده	مسیر
۰.۴۱	مدیریت آب ← شهر سبز
۰.۳۳	مدیریت انرژی ← شهر سبز
۰.۲۱	فضای سبز ← شهر سبز
۰.۲۷	آلودگی و پسماند ← شهر سبز
۰.۱۸	فناوری‌های هوشمند ← شهر سبز
۰.۱۴	آموزش ← شهر سبز

با بررسی جدول ۱۱ مشاهده می‌شود آب و انرژی قوی‌ترین پیش‌بین‌های شهر سبز هستند. ضریب تعیین برابر ۰/۶۸ است؛ یعنی ۶۸ درصد تغییرات شاخص شهر سبز توسط شش معیار اصلی تبیین می‌شود. این مقدار نشان‌دهنده قدرت توضیح‌دهندگی بسیار مناسب مدل است.

۴-۵. جمع‌بندی یکپارچه یافته‌ها

- یافته‌های کیفی نشان داد شش بعد اصلی برای شهر سبز حیاتی است.
 - یافته‌های تحلیل سلسله‌مراتبی تأیید کرد که مدیریت منابع آب و مصرف انرژی در استان فارس بیشترین اهمیت را دارند.
 - تحلیل عاملی تأییدی نشان داد همه سازه‌ها روایی و پایایی کافی دارند.
 - مدل ساختاری نشان داد ابعاد آب ($\beta=0.41$) و انرژی ($\beta=0.33$) بیشترین اثر مستقیم را بر شاخص شهر سبز دارند.
 - آموزش و فناوری بیشتر نقش توانمندساز دارند.
- در مجموع، نتایج نشان می‌دهند تحقق شهر سبز در فارس نیازمند تمرکز بر آب، انرژی، فضای سبز پایدار، مدیریت پسماند، فناوری‌های هوشمند و آموزش شهروندی است.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، ارائه یک الگوی جامع برای تحقق شهر سبز با رویکرد مدیریت بهینه منابع آب و انرژی در استان فارس بود. یافته‌های پژوهش در سه سطح کیفی، کمی و مدل‌سازی ساختاری، تصویری چندبعدی از عوامل مؤثر بر پایداری شهری ارائه می‌کند. نتایج نشان دادند ابعاد شش‌گانه استخراج‌شده از تحلیل مضمون (آب، انرژی، فضای سبز، فناوری، آموزش و مدیریت پسماند) به صورت شبکه‌ای در ارتباط با یکدیگر بوده و هر یک نقشی مکمل در ساختار شهر سبز ایفا می‌کنند. یافته‌های تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد مدیریت منابع آب مهم‌ترین عامل در تحقق شهر سبز است. این نتیجه با شرایط اقلیمی و بحران کم‌آبی در استان فارس همخوان است و با ادبیات پژوهش نیز سازگار است؛ پژوهش‌هایی که مدیریت چرخه آب، بازچرخانی، کاهش هدررفت و فناوری‌های کم‌مصرف را ستون پایداری شهری در مناطق خشک معرفی می‌کنند. مصرف انرژی

رتبه دوم را کسب کرد که با مطالعات پیشین درباره نقش انرژی‌های تجدیدپذیر، عایق‌کاری، شبکه‌های هوشمند و مدیریت مصرف سازگار است.

تحلیل عاملی تأییدی نشان داد سازه‌های استخراج‌شده از بخش کیفی دارای روایی و پایایی قابل قبول هستند و مدل اندازه‌گیری برازش مناسبی دارد. این امر نشان می‌دهد ابعاد تعریف‌شده از نظر تجربی قابل اندازه‌گیری‌اند و ارتباطات درونی گویه‌ها با سازه‌ها منطقی است.

نتایج مدل‌سازی معادلات ساختاری عمق تحلیلی بیشتری به یافته‌ها بخشید. در این مدل، دو بعد مدیریت بهینه منابع آب ($\beta = 0.41$) و مدیریت بهینه مصرف انرژی ($\beta = 0.33$) قوی‌ترین اثر مستقیم را بر شاخص شهر سبز داشتند. این یافته به وضوح بیان می‌کند که تحقق پایداری شهری بدون مدیریت هم‌زمان آب و انرژی امکان‌پذیر نیست. ابعاد اکولوژیک مانند فضای سبز پایدار ($\beta = 0.21$) و مدیریت پسماند و کاهش آلاینده‌ها ($\beta = 0.27$) نقش مکمل دارند و توان توضیح‌دهندگی مدل ($R^2 = 0.68$) نشان‌دهنده ساختاری منسجم است. ابعاد فناوری‌های هوشمند ($\beta = 0.18$) و آموزش و فرهنگ‌سازی ($\beta = 0.14$) کمترین اثر مستقیم را داشتند. با این حال، شواهدی وجود دارد که این دو بعد به صورت غیرمستقیم و از طریق اثرگذاری بر الگوهای مصرف و مدیریت منابع، نقش تسهیل‌کننده و شتاب‌دهنده دارند. این یافته با ادبیات جهانی هم‌راستا است؛ جایی که فناوری‌های هوشمند به عنوان ابزار توانمندساز و آموزش شهروندی به عنوان عامل تغییر رفتار شناخته می‌شود.

در مجموع، بحث پژوهش نشان می‌دهد شهر سبز نه یک مفهوم تک‌بعدی، بلکه یک ساختار ترکیبی است که در آن ابعاد زیست‌محیطی، فناوری و اجتماعی به صورت شبکه‌ای به یکدیگر گره خورده‌اند. تمرکز بیش‌ازحد بر یک بعد (مثلاً فضای سبز یا پسماند) بدون تقویت مدیریت آب و انرژی، نمی‌تواند پایداری واقعی ایجاد کند. بنابراین، الگوی پیشنهادی پژوهش، ساختاری هم‌پیوند و مکمل ارائه می‌دهد.

همچنین، در خصوص آموزش و فرهنگ‌سازی در استان فارس، برنامه‌های آموزش صرفه‌جویی در مصرف آب در مدارس، کمپین‌های عمومی کاهش مصرف انرژی در فصل‌های گرم، و استفاده از رسانه‌های محلی برای ترویج رفتارهای سبز، می‌توانند نقش مؤثری در تحقق شهر سبز ایفا کنند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد بدون تقویت بعد فرهنگی، اثربخشی سیاست‌های فنی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

نتایج این پژوهش نشان داد تحقق شهر سبز در استان فارس مستلزم یک رویکرد یکپارچه و چندبعدی است. تحلیل مضمون شش محور اصلی را به عنوان بنیان شهر سبز شناسایی کرد: مدیریت منابع آب، مدیریت مصرف انرژی، فضای سبز پایدار، فناوری‌های هوشمند، آموزش شهروندی و مدیریت پسماند. رتبه‌بندی تحلیل سلسله‌مراتبی اهمیت حیاتی آب و انرژی را در شرایط اقلیمی استان تأیید کرد و تحلیل‌های عاملی تأییدی و معادلات ساختاری نیز نشان دادند این دو بعد قوی‌ترین اثر را بر شاخص شهر سبز دارند.

بر اساس نتایج، می‌توان نتیجه گرفت:

کلید اصلی تحقق شهر سبز در استان فارس، مدیریت آب و انرژی است. فضای سبز، پسماند و فناوری‌های هوشمند نقش تقویتی و تکمیلی دارند. آموزش و فرهنگ‌سازی پایه رفتار پایدار شهری است، هرچند اثر مستقیم آن کمتر است. مدل پیشنهادی پژوهش توانسته ۶۸ درصد از تغییرات شهر سبز را تبیین کند که نشان‌دهنده قدرت تبیین‌کنندگی مناسب آن است.

این نتایج نشان می‌دهند برنامه‌ریزی شهری در استان فارس باید:

از رویکردهای مکمل استفاده کند؛ سیاست‌های مدیریت آب و انرژی را در سطح محلی و منطقه‌ای تقویت کند؛ زیرساخت‌های هوشمند شهری را توسعه دهد؛ طراحی فضای سبز را با اصول بومی و کم‌مصرف هماهنگ کند؛ برنامه‌های آموزش زیست‌محیطی را برای شهروندان (به‌ویژه کودکان و نوجوانان) توسعه دهد.

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد مدیریت بهینه منابع آب و انرژی، به عنوان دو مؤلفه با بیشترین وزن، می‌توانند مبنای اولویت‌بندی سیاست‌های اجرایی شهرداری‌های استان فارس قرار گیرند. برای مثال، توسعه سیستم‌های جمع‌آوری و بازچرخانی آب در مقیاس

محلات، و الزام به استفاده از فناوری‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های جدید، می‌تواند به عنوان راهبردهای عملی در برنامه‌های توسعه شهری استان مورد استفاده قرار گیرد.

اگرچه شهرهایی مانند آمستردام و سئول در بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند پیشرو هستند، انتقال مستقیم این الگوها به استان فارس نیازمند بومی‌سازی است. در شرایط نیمه‌خشک فارس، تمرکز بر مدیریت تقاضای آب، استفاده از گیاهان بومی و سیستم‌های کم‌مصرف، نسبت به برخی راهکارهای پرهزینه کشورهای مرطوب، اولویت بالاتری دارد. پیشنهاد برای پژوهش‌های آینده:

استفاده از داده‌های واقعی مصرف آب و انرژی در مدل‌های پیش‌بینی؛ بررسی اثر متغیرهای اجتماعی - اقتصادی بر رفتارهای زیست‌محیطی شهروندان؛ توسعه مدل‌های چندسطحی برای بررسی تفاوت شهرها؛ ترکیب مدل ساختاری با روش‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی سناریوهای شهری.

منابع

- [1] Javidroozi V, Carter C, Grace M, Shah H. Smart, Sustainable, Green Cities: A State-of-the-Art Review. Sustainability [Internet]. 2023;15(6):5353. Available from: <https://doi.org/10.3390/su15065353>
- [2] Esmail MSM. New Cities Based on Safe Climate and Remediation. In: Sustainable Remediation for Pollution and Climate [Internet]. Springer; 2025. Available from: https://doi.org/10.1007/978-981-96-5674-5_10
- [3] Mishra A, Agarwal A. Do infrastructure development and urbanisation lead to rural-urban income inequality? Evidence from some Asian countries. Int J Sustain Econ [Internet]. 2019;11:167–83. Available from: <https://doi.org/10.1504/IJSE.2019.10020045>
- [4] Addo-Bankas O, Wei T, Zhao Y, Bai X, Stefanakis A. Revisiting the concept, urban practices, current advances, and future prospects of green infrastructure. Sci Total Environ [Internet]. 2024;954:176473. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176473>
- [5] Rizvi I, Mujeeb F, Ashraf S. A Nexus of Green Finance and Food Security in South Asia: A Systematic Literature Review Paradigm. In: Resilience and Environmental Sustainability [Internet]. Springer; 2025. Available from: https://doi.org/10.1007/978-981-96-4269-4_4
- [6] Aslano lu R, Kazak JK, Szewra ski S, wi der M gorzata, Arciniegas G, Chrobak G, et al. Ten questions concerning the role of urban greenery in shaping the future of urban areas. Build Environ. 2025;267:112154.
- [7] Arora MK, Lal S, Mishra S, Yadav U. Building Greener Cities: A Guide to Technology, Data, and Urban Transformation. In: Sustainable Cities [Internet]. Taylor & Francis; 2025. Available from: <https://doi.org/10.1201/9781003636724-2>
- [8] Haase D. What's ahead: Navigating the Future of Environmental Science in and Around Cities in Post-pandemic Times. Front Environ Sci [Internet]. 2025; Available from: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1613491>
- [9] Ravankhah M, Behboudi R, Hosseini A. Green City Model with a Scenario Planning Approach toward 1431 Horizon in Mashhad. In: 9th International Conference on Research in Science and Engineering and 6th International Congress on Civil Engineering, Architecture, and Urban Planning in Asia [Internet]. 2024. Available from: [https://civilica.com/doc/2188505\[Persian\]](https://civilica.com/doc/2188505[Persian])
- [10] Sadri-Shojaei S, Momeni M, Kerachian R. Integrated modeling of urban water metabolism and ecosystem services. Sustain Cities Soc [Internet]. 2025; Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670725006559>
- [11] Lewis E. Green City Development Tool Kit. Manila: Asian Development Bank; 2015.
- [12] Beatley T. Making Green Cities: Concepts, Challenges and Practice. Cities and Nature [Internet]. New York: Springer; 2017. Available from: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37716-8>
- [13] Subadyo A, Tutuko P, Bimatyugra JR. Implementation analysis of green city concept in Malang – Indonesia. Int Rev Spat Plan Sustain Dev [Internet]. 2019;7(2):36–52. Available from: https://doi.org/10.14246/irpsd.7.2_36
- [14] Zain AFM, Pribadi DO, Indraprahasta GS. Revisiting the green city concept in the tropical and global south cities context: The case of Indonesia. Front Environ Sci. 2022;10:787204.
- [15] Utami Azis S, Eka Sari K, Nirvana H. Mapping of potential green city attributes in Batu District, Batu City. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing; 2019. p. 12067.
- [16] ElZein Z, Negm A. Recent Approaches of Sustainable Architecture in Arid and Semi-arid Cities. In: Sustainability and Resilience in the Built Environment [Internet]. Springer; 2025. Available from: <https://doi.org/10.1007/978-981-95-1645-2>
- [17] Mazzoni F, Rathi S, Marsili V, Elshaboury N, Zayed T. Urban Water Network Planning and Management: Perspectives and Solutions. Front Water [Internet]. 2025; Available from: <https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1735730>
- [18] Handono SY, Wibisono Y. Strengthening Urban Resilience in the Nexus of Water, Energy, and Food. In: Resilience for Sustainable Infrastructure Development [Internet]. Elsevier; 2026. p. 145–62. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-22320-4.00007-4>

- [19] Azizi L, Kouddane N. The green city as a driver of sustainable development. J Umm Al-Qura Univ Eng Archit [Internet]. 2024;15:384–97. Available from: <https://doi.org/10.1007/s43995-024-00077-x>
- [20] Chojnacka K, Widera B. Nature-Based Solutions and Other Critical Aspects of Urban Innovations for Green Transition. Eur Rev [Internet]. 2025; Available from: <https://doi.org/10.1017/S1062798724000206>
- [21] Kokolosi P. Water Resource Management [Internet]. University of Johannesburg; 2021. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/350043386>
- [22] Tarocco F, Omodeo PD. The Anthropocene Waterscapes of Venice: Preface. In: The Anthropocene Waterscapes of Venice. Edizioni Ca' Foscari; 2025. p. 3.
- [23] Rotimi FE, Kalatehjari R, Dokyi GO, Moshood TD, Ira S. Navigating urban hydrology: a comprehensive exploration of impervious area reduction techniques in New Zealand's residential landscapes. Smart Sustain Built Environ. 2025;1–26.
- [24] Singha S, Das A, Das M. Exploring the seasonal cooling effect of a peri-urban wetland in Kolkata Megacity Region, India. Urban Clim [Internet]. 2025; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102696>
- [25] Bharti R, Sharma A. THE ROLE OF LOCAL GOVERNMENTS IN ADDRESSING WATER SCARCITY, WATER MANAGEMENT, AND SUSTAINABLE WATER RESOURCE USE. Lex Localis. 2025;23(S1):250–4.
- [26] Maleki Ghaleh H, Ardakanian R, Bagheri A. Diagnosis of Existing Laws Affecting Water Resources Management in Iran. Iran-Water Resour Res [Internet]. 2025; Available from: <https://doi.org/10.22034/iwrr.2025.522643.2877>
- [27] Mishra P, Singh G. Energy Management Systems in Sustainable Smart Cities Based on the Internet of Energy: A Technical Review. Energies [Internet]. 2023;16(19):6903. Available from: <https://doi.org/10.3390/en16196903>
- [28] Citroni R, Di Paolo F, Livreri P. Evaluation of an optical energy harvester for SHM application. AEU-International J Electron Commun. 2019;111:152918.
- [29] Kormpakis G, Lekidis A, Papias I. Holistic framework for household energy management services. In: IEEE SpliTech [Internet]. 2025. Available from: <https://doi.org/10.23919/SpliTech65624.2025.11091616>
- [30] Ren K, Huang Z, Wang Y, Wu W. Reimagining Energy Systems through AI-Augmented Transformation. In: IEEE International Conference on Smart Cities [Internet]. 2025. Available from: <https://doi.org/10.1109/BMSB65076.2025.11165625>
- [31] Atiquzzaman M, Yen NY, Xu Z. Proceedings of the 6th International Conference on Big Data Analytics for Cyber-Physical System in Smart City, Volume 1: BDCPS 2024, December 7–8, Ji'an, China. Vol. 1. Springer Nature; 2026.
- [32] Singhal S, Srivastava P. Enhancing Energy Efficiency in Car Parking Systems through Fog Computing Architecture. In: IEEE PDGC [Internet]. 2024. Available from: <https://doi.org/10.1109/PDGC64653.2024.10983982>
- [33] Chandratreya A. Sustainable Water Management Through Green Infrastructure. Int J Sci Res Eng Manag [Internet]. 2024;8(10):1–10. Available from: <https://doi.org/10.55041/IJSREM37795>
- [34] Bouramdane AA. Optimal Water Management Strategies: Paving the Way for Sustainability in Smart Cities. Smart Cities [Internet]. 2023;6(5):2849–82. Available from: <https://doi.org/10.3390/smartcities6050128>
- [35] Vink K, Vinke-de Kruijf J. The Impacts of Urban Green Infrastructure on Water and Energy Resources: Lessons from and the Need for Integrated Studies. In: Urban Green Spaces – New Perspectives for Urban Resilience [Internet]. IntechOpen; 2023. Available from: <https://doi.org/10.5772/intechopen.113868>
- [36] Shahdoost Shirazi H, Ranjbar S. Investigation and Explanation of Green City Indicators Using TOPSIS Method in the Metropolis of Shiraz. In: First National Congress on Sustainable Development and Social Responsibility: Challenges and Solutions, Shiraz [Internet]. 2024. Available from: <https://civilica.com/doc/2170066> [Persian]

- [37] Motaghed M, Sajjadzadeh H, Izadi M. Explaining the conceptual model of urban green network from the perspective of environmental sciences. J Geogr Environ Plan [Internet]. 2023;34(3):1–38. Available from: <https://civilica.com/doc/1644478>
- [38] Jahanbakhsh D, Rakhsh Mah A, Payam H. Urban Space Management with Emphasis on Green Management Approach (Case Study: Yasuj City). Q J Geogr Urban Dev Manag Stud. 2022;8(1):103–23. [Persian]
- [39] Shoja F, Shamsipour A, Hamidianpour M. Urban Land Use Transformation and Declining Cooling Services: A 40-year Assessment of Heat Stress Mitigation in a Hot and Arid City. Earth Syst Environ [Internet]. 2025; Available from: <https://doi.org/10.1007/s41748-025-00932-4>
- [40] Bravo-Montero L, García-Aranda C. The Relationship between Nature-Based Solutions and the Water–Energy–Food Nexus: A Literature Review. WIT Trans Ecol Environ [Internet]. 2025;264. Available from: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/264/38735>