



Biophilic Landscape Design as a Strategy to Cope with the Water Crisis in Urban Spaces (Case Study: Stepped Landscape of Chamran Park, Karaj)

Setayesh Zandi Babaei^{1*}  | Mohammad Mahdi Poorhasan Mehrzanjani² 

1. Corresponding Author, MSc Graduate, Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: setayeshzandi80@ut.ac.ir

2. MSc Graduate, Urban Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: m.poorhasan@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:

Received 28 March 2026

Revised 15 May 2026

Accepted 15 June 2026

Published Online 23 September 2026

Keywords:

Biophilic Design,
Ecological Resilience,
Stepped Landscape,
Water Crisis,
Water Resources Management.

ABSTRACT

This study aims to elucidate biophilic landscape design strategies as resilient ecological infrastructure to address the water crisis in urban spaces, focusing on the stepped landscape of Chamran Park in Karaj. The research is applied in purpose and descriptive-analytical in methodology. Data were collected through documentary studies and field evaluations. An integrated SWOT framework including the Internal Factor Evaluation (IFE) and External Factor Evaluation (EFE) matrices, together with the Quantitative Strategic Planning Matrix (QSPM), was employed for data analysis and strategy formulation. The results indicate that the IFE score of 2.63 and the EFE score of 2.29 place the study area in a “Competitive (ST)” strategic position. Based on the QSPM analysis, the strategy of “developing a gravity-fed water landscape with phytoremediation” achieved the highest Total Attractiveness Score (TAS = 6.28). It was followed by “smart flood management using multi-functional infrastructures” (TAS = 5.09), “evaporation-reducing biophilic microclimate creation” (TAS = 4.98), and “enhancing the sense of belonging through participatory landscape” (TAS = 4.01). The findings suggest that achieving a resilient biophilic landscape requires a transition from purely aesthetic approaches toward pragmatic design that integrates environmental-ecological, physical-spatial, perceptual-psychological, and managerial-policy dimensions. Such an approach can transform urban landscapes into gravity-based, self-sustaining ecological systems that reduce water consumption and enhance ecological resilience.

Cite this article: Zandi Babaei, S. & Poorhasan Mehrzanjani, M. M. (2026). Biophilic Landscape Design as a Strategy to Cope with the Water Crisis in Urban Spaces (Case Study: Stepped Landscape of Chamran Park, Karaj). *Urban Development Policy Making*, 3 (3), 517-540. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2026.582643.1107>



© Authors retain the copyright and full publishing rights.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2026.582643.1107>

Introduction

Rapid urbanization and the ensuing disconnect between humans and nature have exacerbated environmental issues, particularly the severe water crisis in Iranian metropolises. Biophilic design offers a paradigm shift from purely decorative and energy-intensive water features to resilient ecological infrastructures. This study aims to develop operational biophilic design strategies for urban public spaces to sustainably manage the water crisis, focusing on the stepped landscape of Chamran Park in Karaj.

Materials and Methods

This applied, descriptive-analytical research utilized documentary studies and field evaluations for data collection. A conceptual model comprising four core dimensions—physical-spatial, environmental-ecological, perceptual-psychological, and managerial-policy—was developed. Data

analysis and strategy formulation were conducted using an evidence-based integrated SWOT framework to evaluate internal strengths/weaknesses and external opportunities/threats. Subsequently, the Quantitative Strategic Planning Matrix (QSPM) was employed to prioritize and rank the formulated competitive strategies based on their Total Attractiveness Scores (TAS).

Results

The Internal Factor Evaluation (IFE) matrix yielded a score of 2.63, indicating that the area's internal physical-ecological strengths (e.g., steep topography and rocky bedrock) outweigh its weaknesses. Conversely, the External Factor Evaluation (EFE) matrix score of 2.29 highlights a highly turbulent environment dominated by severe threats like groundwater depletion and climate change. The intersection of these scores places the project in the "Competitive (ST)" strategic position, demonstrating that internal strengths can be leveraged to mitigate external macro-climatic threats. Consequently, four competitive strategies were formulated. The QSPM analysis prioritized these strategies as follows: 1) Developing a gravity-fed water landscape with phytoremediation (TAS = 6.28); 2) Smart flood management using multi-functional infrastructures (TAS = 5.09); 3) Evaporation-reducing biophilic microclimate creation (TAS = 4.98); and 4) Enhancing the sense of belonging through participatory landscape (TAS = 4.01).

Discussion and Conclusion

The findings underscore that traditional, purely decorative landscaping is increasingly obsolete in the face of severe water shortages and climate change. Based on the conceptual model developed in this research, achieving a resilient biophilic landscape requires the synergistic integration of four core dimensions: physical-spatial, environmental-ecological, perceptual-psychological, and managerial-policy. The highest attractiveness score assigned to the gravity-fed phytoremediation strategy confirms that biophilic design must function as a living, self-sustaining ecological machine rather than a mere aesthetic addition. By leveraging the site's natural steep topography and incorporating native aquatic plant species (e.g., *Typha* and *Phragmites*) for biological filtration in stepped configurations, urban spaces can eliminate energy-intensive pumping, minimize evaporation, and significantly reduce water waste. Furthermore, the transition from a "consuming landscape" to a "resilient ecological infrastructure" necessitates actionable execution policies across all dimensions. These include replacing high-consumption conventional fountains with natural drainage systems, prioritizing biological shading over open water bodies to create microclimates, and employing smart IoT sensors for real-time flood monitoring and water quality assessment. Concurrently, fostering a participatory landscape through targeted citizen education programs enhances the community's sense of belonging and environmental stewardship. Ultimately, the implementation of these integrated strategies provides a pragmatic, sustainable framework for transforming Chamran Park—and similar urban spaces—into resilient ecological systems capable of mitigating the macro-climatic impacts of the water crisis while actively enhancing urban environmental quality.



طراحی منظر بیوفیلیک به مثابه راهبردی برای مواجهه با بحران آب در فضاهای شهری (نمونه موردی: منظر پلکانی پارک چمران کرج)

ستایش زندی بابائی^{۱*} | محمد مهدی پورحسن مهرزنجانی^۲

۱. نویسنده مسئول، دانش‌آموخته کارشناس ارشد مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: setayeshzandi80@ut.ac.ir
۲. دانش‌آموخته کارشناس ارشد علوم و مهندسی آبخیز - آبخیزداری شهری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: m.poorhasan@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی تاریخ‌های مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۰۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱ کلیدواژه: بحران آب، تاب‌آوری اکولوژیک، طراحی بیوفیلیک، مدیریت منابع آب، منظر پلکانی.	پژوهش حاضر با هدف تبیین راهبردهای طراحی منظر بیوفیلیک به عنوان یک زیرساخت اکولوژیک تاب‌آور برای مواجهه با بحران آب در فضاهای شهری (نمونه موردی: منظر پلکانی پارک چمران کرج) انجام شده است. این تحقیق از نظر هدف، کاربردی و از حیث روش، توصیفی - تحلیلی است. گردآوری داده‌ها از طریق مطالعات اسنادی و برداشتهای میدانی انجام شد و برای تحلیل داده‌ها از تکنیک یکپارچه تحلیل SWOT شامل ماتریس ارزیابی عوامل داخلی (IFE) و خارجی (EFE) و همچنین، ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی (QSPM) استفاده شد. نتایج نشان داد امتیاز ماتریس IFE برابر با ۲/۶۳ و امتیاز ماتریس EFE برابر با ۲/۲۹ است که بیانگر قرارگیری محدوده مورد مطالعه در موقعیت راهبردی «رقابتی (ST)» است. بر اساس نتایج ماتریس QSPM، راهبرد «توسعه منظر آب‌محور ثقلی با فیلتراسیون گیاهی» با امتیاز جذابیت کل ۶/۲۸ در رتبه نخست قرار گرفت؛ پس از آن راهبردهای «مدیریت هوشمند سیلاب با زیرساخت‌های چندعملکردی» با امتیاز ۵/۰۹، «میکروکلیماسازی بیوفیلیک کاهنده تبخیر» با امتیاز ۴/۹۸ و «منظر مشارکت‌محور» با امتیاز ۴/۰۱ در اولویت‌های بعدی قرار دارند. نتایج نشان می‌دهد دستیابی به منظر بیوفیلیک تاب‌آور مستلزم گذار از رویکردهای صرفاً زیبایی‌شناختی به سمت طراحی عمل‌گرا و هم‌افزایی چهار بُعد محیط زیستی، کالبدی، ادراکی و مدیریتی است. این رویکرد می‌تواند منظر شهری را به سیستمی پویا مبتنی بر نیروی گرانش و چرخه‌های طبیعی تصفیه تبدیل کند و در نتیجه، مصرف منابع آبی را کاهش داده و تاب‌آوری اکولوژیک فضاهای شهری را ارتقا دهد.

استناد: زندی بابائی، ستایش و پورحسن مهرزنجانی، محمد مهدی (۱۴۰۵). طراحی منظر بیوفیلیک به مثابه راهبردی برای مواجهه با بحران آب در فضاهای شهری (نمونه موردی: منظر پلکانی پارک چمران کرج). *سیاست‌گذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۳) ۵۱۷-۵۴۰.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2026.582643.1107>



مقدمه

توسعه سریع و شتابان شهرنشینی در دهه‌های اخیر موجب شده است که ساختارهای سخت و صنعتی شهرها بر فضاهای طبیعی غلبه کنند و این مسئله موجب ایجاد گسست عمیق بین انسان و طبیعت شده که پیامدهای گسترده‌ای در ابعاد محیط زیستی و اجتماعی شهرها به همراه داشته است [۱ و ۲]. رویکرد بیوفیلیک^۱ که به نوعی زیرمجموعه پایداری به شمار می‌رود، یکی از رویکردهایی است که در حوزه‌های شهرسازی، طراحی شهری، معماری و مطالعات شهری توجه کارشناسان را به خود جلب کرده است [۳]. این رویکرد، که در برخورد با طبیعت نگرشی حداکثری محسوب می‌شود، از دغدغه‌های حداقلی برای حفظ محیط زیست فراتر می‌رود و بر پیوند و همزیستی مردم با طبیعت در قالب فرایند طراحی محیط مصنوع تأکید دارد. این گسست نه تنها پیامدهای روان‌شناختی نامطلوبی مانند افزایش استرس و اختلالات روانی شهروندان را به دنبال داشته، بلکه از نظر محیط زیستی به تخریب اکوسیستم‌های خرد شهری و تشدید پدیده جزایر حرارتی منجر شده است. رویکرد بیوفیلیک عملکرد سیستم‌ها و اجزای شهرها را با اتخاذ راهبردهای سبز برای دستیابی به محیط سالم‌تر و ساختار شهری سازگار و قوی در مواجهه با بلایا افزایش می‌دهد. بیوفیلیا^۲ مبنای نظری بالقوه‌ای برای توضیح و افزایش مزایای سلامت و تندرستی طبیعت شهری فراهم می‌کند و این مزایا می‌توانند به بهبود قابل توجه زیست‌پذیری در مناطق شهری و حتی کاهش هزینه‌های سلامت جسمی و روانی منجر شوند [۴].

در کلان‌شهرهای ایران این اثرات سوء کالبدی با بحرانی جدی شامل «کاهش منابع آب» همراه شده است که فشار مضاعفی بر مدیریت فضاهای شهری وارد می‌کند. مطالعات نشان می‌دهند اگرچه المان‌های آبی در فرهنگ و شهرسازی تاریخی ایرانیان اهمیت ویژه‌ای داشته، اما در سال‌های اخیر این نقش به فرم تزئینی، پرهزینه و غیرسازگار با شرایط اقلیمی کاهش یافته و مصرف منابع آبی را تشدید کرده است [۵ و ۶]. در باغ‌های ایرانی برای ایجاد محیطی آرام، خنک و پرسایه، جوی‌های آب در تقاطع‌ها به حوضچه تبدیل می‌شدند و آب با تکرار آبشارها در مسیر جریان داشت که علاوه بر کارکرد زیبایی‌شناختی، نقش مهمی در تنظیم اقلیم خرد و ایجاد آرامش روانی ایفا می‌کرد [۷]. امروزه نیز این الگوها فراتر از زیبایی‌شناسی می‌توانند با کاهش فشارهای روحی، انسان را به طبیعت نزدیک‌تر کنند [۴ و ۵]. انسان‌ها همواره به زندگی در کنار یا نزدیک آب تمایل داشته‌اند و حضور آب در فضاهای شهری یکی از عوامل مهم در ارتقای کیفیت ادراک محیطی و احساس آرامش محسوب می‌شود [۶]. لذا آب به عنوان یکی از عناصر اساسی منظر شهری شناخته می‌شود که شناخت ویژگی‌های آن به تشخیص معیار مناسب برای ارتقای کیفیت آبنماها منجر خواهد شد [۷]. با این حال، بسیاری از فضاهای آبی شهری با مشکلاتی مانند هدررفت آب در سیستم‌های فرسوده تأسیسات، تبخیر سطحی بالا و فقدان چرخه‌های طبیعی آب مواجه‌اند که با شرایط فعلی بحران آب در تضاد هستند و ضرورت بازنگری در شیوه طراحی این فضاها را آشکار می‌سازد [۵ و ۶]. بر اساس داده‌های آماری سال ۱۴۰۳ در ایستگاه سینوپتیک کرج، این شهر با میانگین بارش سالانه حدود ۱۹۵/۹ میلی‌متر و تبخیر و تعرق سالانه حدود ۱۸۶۵/۲ میلی‌متر با تنش آبی قابل توجهی مواجه است. همچنین، گزارش‌های آب‌شناسی طرح جامع شهر کرج سال ۱۳۹۱ نشان می‌دهد در برخی بخش‌های دشت کرج افت سطح آب زیرزمینی طی یک دوره سه‌ساله به بیش از ۷ متر رسیده که بیانگر فشار فزاینده بر منابع آبخوان است. افزون بر این، بر اساس گزارش فضای سبز طرح جامع شهر کرج سال ۱۳۹۲، بخش قابل توجهی از آب استحصال‌شده از چاه‌های شهری صرف آبیاری فضای سبز، به‌ویژه گونه‌های پرمصرفی مانند چمن، می‌شود که فشار بیشتری بر منابع آب زیرزمینی وارد می‌کند. این شرایط نشان می‌دهد پاسخ به بحران آب در فضاهای شهری مستلزم رویکردی یکپارچه و سازگار با بستر اقلیمی است.

پیرو این چالش‌ها، رویکرد طراحی منظر بیوفیلیک به عنوان راهبردی پارادایمی و نوین برای بهبود کیفیت محیط زیست شهری مطرح شده است. طراحی بیوفیلیک به بیان ساده تلاش می‌کند ارتباط عمیق، پایدار و معنادار انسان با طبیعت را در محیط مصنوع تقویت کند و با بازطراحی خردمنظرها و المان‌های طبیعی مانند آبنما و آبشارهای پلکانی، از رویکردهای صرفاً تزئینی به رویکردهای

1. Biophilic
2. Biophilia

اکولوژیک^۱ و تاب‌آور^۲ تغییر جهت دهد [۳ و ۵]. در کنار عنصر آب، گیاهان به‌ویژه گیاهان آبی در فضای شهری نقش مهمی در نگهداری و حفظ اکوسیستم‌های آبی و آرامش روح و روان انسان دارند. کلان‌شهر کرج، به‌خصوص محدوده پارک چمران، با برخورداری از ظرفیت‌های بالقوه‌ای مانند مجاورت با رودخانه کرج و امکان استفاده از طراحی آبنا و آبشارهای پلکانی، نمونه‌ای ارزشمند برای اجرای ایده‌های بیوفیلیک در شرایط بحران آب به شمار می‌رود و می‌تواند به عنوان یک نمونه موردی برای بررسی راهبردهای طراحی پایدار مورد مطالعه قرار گیرد [۵ و ۷]. با این حال، بررسی‌های میدانی بیانگر آن است که طراحی‌های فعلی فاقد هماهنگی با محدودیت‌های منابع و چرخه‌های طبیعی است و نیازمند بازنگری‌ها و اصلاحات بنیادی است [۶ و ۷].

واژه «بیوفیلیا» که از ترکیب دو جزء «بیو» (زیستی یا زنده) و «فیلیا» (دوستی یا عشق) شکل گرفته است، نخست توسط اریک فروم^۳ برای توصیف گرایش درونی انسان به زندگی و موجودات زنده مطرح شد [۸ و ۹]. این مفهوم بعدها توسط ادوارد ویلسون^۴ در سال ۱۹۸۴ بسط یافت و به عنوان وابستگی عاطفی و تکاملی انسان به طبیعت و سایر گونه‌های زیستی معرفی شد [۱۰]. بر اساس فرضیه بیوفیلیا، انسان‌ها در روند تکامل همواره در تعامل با نظام‌های طبیعی شکل گرفته‌اند و از این‌رو، ارتباط با طبیعت نقش بنیادینی در سلامت جسمی و روانی آن‌ها ایفا می‌کند [۱۱ و ۱۲]. پژوهش‌های بعدی نیز با تأکید بر ابعاد شناختی و ادراکی این ارتباط، نشان داده‌اند که حضور عناصر طبیعی در محیط می‌تواند کیفیت تجربه انسانی را به طور معناداری ارتقا دهد [۱۳ و ۱۴]. در سال‌های اخیر این دیدگاه به حوزه معماری و شهرسازی وارد شده و مبنای شکل‌گیری رویکرد «طراحی بیوفیلیک» به عنوان چارچوبی برای ادغام نظام‌های طبیعی در محیط ساخته‌شده قرار گرفته است [۱۵ و ۱۶]. در همین راستا، مفهوم «شهرهای بیوفیلیک» با تأکید بر تلفیق ساختارهای طبیعی در کالبد شهرها توسعه یافته و به عنوان راهبردی برای ارتقای کیفیت محیط شهری و تاب‌آوری اکولوژیک مطرح شده است [۱۷ و ۱۸]. محیط‌های شهری معاصر به تدریج به فضاهایی «ضد بیوفیلیک» تبدیل شده‌اند که در آن‌ها ارتباط مستقیم انسان با طبیعت کاهش یافته است [۱۹]. طراحی بیوفیلیک با هدف بازپیوند انسان و طبیعت در محیط‌های ساخته‌شده در حوزه‌هایی مانند معماری و شهرسازی توسعه یافته است [۲۰ و ۲۱]. کلرت^۵ نیز با معرفی شش عنصر طراحی بیوفیلیک، چارچوبی کاربردی برای به کارگیری این رویکرد در طراحی محیط ارائه کرده است [۲۲ و ۲۳]. مطالعات نشان می‌دهند حضور عناصر طبیعی در فضاهای شهری می‌تواند به کاهش استرس و ارتقای سلامت روانی کاربران کمک کند [۲۴]. افزون بر این، طراحی بیوفیلیک می‌تواند در مواجهه با چالش‌های زیست‌محیطی مانند تغییرات اقلیمی و مدیریت پایدار منابع آب نقش مؤثری ایفا کند [۲۵].

مطالعات داخلی پیرامون طراحی بیوفیلیک شهرها بیشتر در حوزه بهره‌گیری از منابع آبی و اکوسیستم‌های شهری شکل گرفته‌اند. مودت و ولی‌پور [۲۶] با مطالعه اثر استفاده از بستر و شیب رودخانه دز راهبردهایی برای ارتقای سلامت روان و تعاملات اجتماعی شهروندان ارائه داده‌اند. تردست و همکاران [۲۷] با ارائه چارچوب برنامه‌ریزی راهبردی بیوفیلیک در شهر تهران نقش نهادهای مدیریتی و زیرساخت‌های کالبدی را برجسته کردند. ابراهیم‌پور [۲۸] برنامه‌ریزی بیوفیلیک را به عنوان محرک زیست‌پذیری در شهرهای جدید معرفی کرد. شاطرزاده و همکاران [۱] شاخص‌های ارتقای منظر بوم‌شناختی در نزدیکی پهنه‌های آبی را بررسی کردند. همچنین، شکرانی و نورائی [۲۹] چالش‌های زیرساخت بیوفیلیک در اصفهان را تحلیل کردند و تبریزی و جعفرپیشه [۳۰] تأثیر شاخص‌های بیوفیلیک بر ادراک کاربران فضاهای شهری را نشان دادند.

در سطح بین‌الملل، بیتلی و نیومن^۶ [۱۵] نشان دادند شهرهای بیوفیلیک تاب‌آوری بیشتری در مقابله با بحران‌های محیط زیستی دارند. ریو^۷ و همکاران [۴] ادغام زیرساخت‌های سبز با آبراهه‌های طبیعی را عامل مهم ارتقای پایداری شهری معرفی کردند. پانلاسیگی^۸ و همکاران [۱۸] برنامه‌ریزی تنوع زیستی شهری را ابزاری مؤثر برای تقویت ارتباط انسان و طبیعت دانستند و

1. Ecological
2. Resilient
3. Erich Fromm
4. Wilson
5. Kellert
6. Beatley & Newman
7. Reeve
8. Panlasigui

تارک و اوف^۱ [۳۱] تلفیق طبیعت و فناوری هوشمند را عامل افزایش تاب‌آوری شهری معرفی کردند. ردها^۲ [۳۲] نیز نقش حضور آب و محرک‌های حسی را در بهبود سلامت روان کاربران فضاهای شهری نشان داد. آخرین مطالعه برجسته، چارچوب شهرسازی بیوفیلیک چهاربعدی توسط پدرس زری^۳ و همکاران [۸] است که با تمرکز بر محرک‌های حسی و نسبت به ادراک فضایی - زمانی انسان، مدلی نوین برای طراحی منظر ارائه می‌دهد.

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در حوزه شهرهای بیوفیلیک به بررسی نقش طبیعت و زیرساخت‌های سبز در ارتقای سلامت، کیفیت محیط شهری و پایداری پرداخته‌اند [۱۷ و ۲۴]. برخی پژوهش‌ها نیز با رویکرد مرور نظام‌مند به تحلیل روندهای علمی و چارچوب‌های مفهومی شهرسازی بیوفیلیک و توسعه آن در برنامه‌ریزی شهری توجه داشته‌اند [۱۰ و ۲۵]. در ایران نیز پژوهش‌های انجام‌شده عمدتاً بر برنامه‌ریزی مفهومی شهرهای بیوفیلیک، شناسایی ظرفیت‌های طبیعی شهرها و تحلیل ادراک کاربران از فضاهای شهری متمرکز بوده‌اند [۲۶ و ۲۹]. با این حال، در بخش قابل توجهی از این مطالعات، ارتباط عملی میان اصول طراحی بیوفیلیک و بازطراحی عناصر منظر شهری، به‌ویژه عناصر آبی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است [۲۷ و ۳۰]. این در حالی است که بسیاری از فضاهای آبی شهری با چالش‌هایی نظیر هدررفت منابع آب، تأخیر بالا و عدم انطباق با شرایط اقلیمی مواجه هستند که ضرورت بازنگری در شیوه طراحی آن‌ها را آشکار می‌سازد. بنابراین، در ادبیات موجود خلأ یک چارچوب طراحی محور که بتواند اصول طراحی بیوفیلیک را با بازآفرینی عناصر آبی در مقیاس خردمنظر شهری و در راستای مدیریت پایدار منابع آب تلفیق کند، به‌وضوح مشاهده می‌شود.

نوآوری این پژوهش در دو بعد مفهومی و روش‌شناختی قابل بیان است. از نظر مفهومی، نوآوری این پژوهش در بازتعریف نقش طراحی بیوفیلیک در مدیریت پایدار آب شهری است. در حالی که رویکردهایی مانند طراحی شهری حساس به آب، شهر اسفنجی، توسعه کم‌اثر و راهکارهای مبتنی بر طبیعت عمدتاً بر مدیریت رواناب، کنترل سیلاب و بهبود عملکرد هیدرولوژیک شهر تمرکز دارند، در مدل پیشنهادی این پژوهش، طبیعت به عنوان بخشی از زیرساخت اکولوژیک و کارکردی منظر شهری در نظر گرفته می‌شود که علاوه بر مدیریت آب، به تقویت پیوند انسان و طبیعت، ارتقای کیفیت تجربه فضایی و افزایش تاب‌آوری محیط شهری نیز کمک می‌کند. به این ترتیب، رویکرد ارائه‌شده با تلفیق اصول طراحی بیوفیلیک و مدیریت منابع آب، دیدگاهی یکپارچه در طراحی منظر شهری ارائه می‌دهد که فراتر از رویکردهای صرفاً فنی مدیریت آب عمل می‌کند. از نظر روش‌شناختی نیز استخراج راهبردهای پژوهش بر پایه تحلیل اسناد و منابع علمی و ارزیابی شرایط محیطی محدوده مطالعه انجام شده و فقط متکی بر نظرسنجی از خبرگان نیست. بر این اساس، هدف کلان پژوهش تبیین و تدوین سیاست‌ها و راهبردهای عملیاتی طراحی منظر بیوفیلیک در فضاهای عمومی شهری به عنوان الگویی کارآمد برای ارتقای کیفیت محیطی و مواجهه پایدار با بحران آب با تأکید بر بازطراحی منظر پلکانی پارک چمران کرج است.

مواد و روش‌ها

چارچوب مفهومی و مدل تحلیلی پژوهش: درنهایت با توجه به مطالعات پیشین و تحلیل مدل‌های برنامه‌ریزی شهری، طراحی بیوفیلیک در یک نظام سلسله‌مراتبی دوگانه تعریف می‌شود که تعامل میان «ابعاد تجربه طبیعت» و «مقیاس‌های مداخله شهری» را تبیین می‌کند. این چارچوب بر سه بعد بنیادین استوار است: تجربه مستقیم از طبیعت (شامل نور، هوا، آب، گیاهان و اکوسیستم‌ها)، تجربه غیرمستقیم از طبیعت (مبتنی بر استفاده از مواد طبیعی، هندسه‌های زیستی و زیست‌تقلید) و تجربه فضا و مکان (شامل مؤلفه‌هایی نظیر چشم‌انداز، پیچیدگی سازمان‌دهی شده و دلبستگی‌های محیط زیستی). به منظور عملیاتی‌سازی این ابعاد در محیط مصنوع، برنامه‌ریزی بیوفیلیک در یک مقیاس شش‌گانه (شامل ساختمان، بلوک، خیابان، همسایگی، محله و منطقه) پیاده‌سازی می‌شود. این مدل نشان می‌دهد چگونه اقدامات خرد و کلان شهری، از ایجاد بام‌های سبز و دیوارهای گیاهی در مقیاس ساختمان تا توسعه شبکه‌های سبز و سیستم‌های رودخانه‌ای در مقیاس منطقه‌ای، می‌تواند به بازآفرینی پیوند گسسته

1. Tarek & Ouf

2. Radha

3. Pedersen zari

انسان و طبیعت منجر شده و تاب‌آوری اکولوژیک شهرها را ارتقا بخشد [۲۵]. بنابراین، بر پایه مبانی نظری و پیشینه تحقیق، مدل مفهومی این پژوهش بر تعامل سیستماتیک چهار بُعد اساسی در طراحی منظر استوار است:

۱. بُعد محیط زیستی - اکولوژیک (با محوریت بحران آب): شامل شاخص‌های بازچرخانی طبیعی آب، استفاده از سیستم‌های فیلتراسیون گیاهی (تصفیه بیولوژیک توسط گیاهان آبی)، کاهش تبخیر سطحی و حفظ و ارتقای تنوع زیستی در مقیاس خرد.
۲. بُعد کالبدی - فضایی: شامل بهره‌گیری از پتانسیل‌های توپوگرافیک منطقه (طراحی پلکانی)، استفاده از مصالح بوم‌آورد، همگونی با بستر صخره‌ای و استفاده از فرم‌های ارگانیک در طراحی.
۳. بُعد ادراکی - روان‌شناختی: تأکید بر تحریک مثبت حواس پنج‌گانه (صدای جریان آب، بوی گیاهان)، کاهش استرس محیطی شهروندان و ارتقای حس تعلق به طبیعت.
۴. بُعد مدیریتی - سیاستگذاری: شامل تدوین دستورالعمل‌های نگهداری سازگار با اقلیم، تخصیص بهینه منابع و مدیریت هوشمند زیرساخت‌های آبی پارک.

از طریق تلفیق این چهار بعد و توسعه برنامه‌ریزی استراتژیک، مدل به خلق «منظر بیوفیلیک تاب‌آور و سازگار با بحران آب» در سطح مقیاس خیابان و همسایگی (پارک شهری) می‌انجامد. این منظر، هم به پایداری اکولوژیک و صرفه‌جویی در مصرف آب کمک می‌کند و هم فضای شهری را برای ارتقای سلامت روانی کاربران بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، مدیریت تخصصی و هوشمندانه، دوام و کارآمدی طراحی را در شرایط محدودیت منابع تضمین خواهد کرد. در ادامه، چگونگی تأثیرگذاری متقابل هر یک از ابعاد بر سایر ابعاد نشان داده شده است (جدول ۱).

جدول ۱. ماتریس تعاملات ابعاد مدل مفهومی پژوهش

بعد / عامل	مدیریتی - سیاستگذاری	ادراکی - روان‌شناختی	محیط زیستی - اکولوژیک	کالبدی - فضایی
کالبدی - فضایی	تعیین‌کننده نیازهای نگهداری	ارتقای تجربه حسی کاربر	تسهیل سیستم‌های پالایش	-
محیط زیستی - اکولوژیک	نیازمند تخصیص منابع	بهبود سلامت روان	-	فراهم‌کننده بستر سازه‌ای
ادراکی - روان‌شناختی	اثرگذار بر اولویت‌گذاری سیاست‌ها	-	افزایش توجه به محیط	شکل‌دهنده درک فضایی
مدیریتی - سیاستگذاری	-	حمایت از طراحی سلامت‌محور	تضمین پایداری منابع	هدایت نگهداری بلندمدت

همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است، ابعاد چهارگانه مدل مفهومی پژوهش وابستگی‌های سیستمی و متقابل دارند. در این میان، تعامل میان بُعد کالبدی - فضایی و بُعد محیط زیستی - اکولوژیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ به گونه‌ای که طراحی‌های مبتنی بر توپوگرافی (مانند منظر پلکانی) می‌توانند زمینه استقرار سامانه‌های تصفیه زیستی و مدیریت طبیعی آب را فراهم کنند. افزون بر این، بُعد مدیریتی - سیاستگذاری به عنوان چارچوبی راهبردی عمل کرده و تداوم کارآمدی دستاوردهای محیط زیستی و ادراکی را در شرایط محدودیت منابع و بحران آب تضمین می‌کند. این هم‌افزایی نشان می‌دهد دستیابی به منظر بیوفیلیک تاب‌آور مستلزم رویکردی یکپارچه به تمامی این مؤلفه‌ها است.

این ابعاد و متغیرها از طریق فرایند برنامه‌ریزی راهبردی یکپارچه شده و در نهایت، به تحقق متغیر وابسته پژوهش، یعنی «منظر بیوفیلیک تاب‌آور و سازگار با بحران آب» منجر می‌شوند. بر این اساس، پژوهش حاضر در پی پاسخ به سؤال زیر است:

۱. چه مؤلفه‌ها و شاخص‌های سنجش‌پذیر طراحی منظر بیوفیلیک می‌توانند در بازطراحی منظر پلکانی پارک چمران کرج به بهبود نفوذپذیری سطح، کاهش مصرف آب، افزایش بازچرخانی طبیعی، ارتقای تنوع زیستی و تقویت تاب‌آوری اکولوژیک منجر شوند و راهبردهای عملیاتی تحقق آن‌ها کدام‌اند؟

هدف کلان این پژوهش، تبیین و تدوین سیاست‌ها و راهبردهای عملیاتی طراحی منظر بیوفیلیک در فضاهای عمومی شهری، به عنوان الگویی برای ارتقای کیفیت محیطی و مواجهه پایدار با بحران آب (با تمرکز بر مطالعه موردی پارک چمران کرج) است.

روش انجام پژوهش: پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از حیث ماهیت و روش، توصیفی - تحلیلی است. روند انجام پژوهش در دو گام اساسی «مطالعات اسنادی - کتابخانه‌ای» و «برداشت و ارزیابی میدانی» صورت گرفته است. در گام نخست، مبانی نظری و پیشینه پژوهش و شاخص‌های مدل مفهومی از طریق بررسی دقیق متون علمی معتبر، مقالات خارجی و داخلی استخراج شد. در گام دوم، داده‌های مربوط به شرایط کالبدی، اکولوژیک و زیرساختی منطقه مورد مطالعه از طریق مشاهده مستقیم، تصویربرداری و تکمیل چک‌لیست‌های ارزیابی میدانی توسط پژوهشگران جمع‌آوری شد.

به منظور تکمیل تحلیل اسنادی، برداشت میدانی در چند مرحله شامل سه بازدید در پاییز ۱۴۰۲، یک بازدید در زمستان ۱۴۰۳ و یک بازدید در بهار ۱۴۰۵ انجام شد. در این بازدیدها، وضعیت پوشش گیاهی، عناصر آبی، میزان سایه‌اندازی، کیفیت مسیرهای پیاده، وضعیت مبلمان شهری، زیرساخت‌های آبیاری و فضاهای مکث مورد مشاهده و ثبت تصویری قرار گرفت. چک‌لیست ارزیابی میدانی بر اساس شاخص‌های استخراج‌شده از ادبیات طراحی منظر بیوفیلیک تنظیم شد و داده‌های حاصل به صورت کیفی در فرایند امتیازدهی ماتریس‌های داخلی و خارجی مورد استفاده قرار گرفت. بخشی از مستندات تصویری در شکل ۲ ارائه شده است.

به منظور تحلیل داده‌ها و تدوین راهبردهای طراحی، از چارچوب تحلیل استراتژیک شامل ماتریس ارزیابی عوامل داخلی (IFE)^۱، ماتریس ارزیابی عوامل خارجی (EFE)^۲، ماتریس داخلی - خارجی (IE)^۳، تحلیل (SWOT)^۴ و ماتریس برنامه‌ریزی استراتژیک کمی (QSPM)^۵ استفاده شده است. انتخاب این چارچوب مرحله‌ای مبتنی بر ماهیت چندبعدی مسئله پژوهش است؛ زیرا مدیریت و بازطراحی منظر بیوفیلیک در شرایط بحران آب مستلزم ارزیابی هم‌زمان ظرفیت‌های درونی محیط (ویژگی‌های کالبدی، اکولوژیک و زیرساختی) و فشارهای بیرونی (محدودیت‌های اقلیمی، سیاست‌های مدیریتی و تهدیدهای محیطی) است. در گام نخست، با استفاده از ماتریس‌های IFE و EFE اهمیت نسبی عوامل داخلی و خارجی کمی‌سازی شد. سپس، نتایج حاصل در ماتریس داخلی - خارجی تلفیق شد تا موقعیت راهبردی محدوده مورد مطالعه تعیین شود. در ادامه، تحلیل SWOT برای استخراج گزینه‌های راهبردی متناسب با این موقعیت به کار رفت و درنهایت، ماتریس QSPM به منظور ارزیابی میزان جذابیت نسبی هر راهبرد و اولویت‌بندی کمی گزینه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. این رویکرد مرحله‌ای امکان گذار نظام‌مند از شناسایی عوامل محیطی به تعیین موقعیت راهبردی و انتخاب راهبردهای بهینه مداخله در منظر شهری را فراهم می‌سازد. با توجه به رویکرد عینی پژوهش، وزن‌دهی و امتیازدهی به عوامل داخلی (قوت‌ها و ضعف‌ها) و خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) مبتنی بر روش «ارزیابی اسنادی - میدانی»^۶ انجام شده است. در این پژوهش از پرسشنامه عمومی استفاده نشده است. فرایند وزن‌دهی مبتنی بر تحلیل محتوای منابع علمی معتبر و اسناد بالادستی مدیریت بحران آب و نیز تطبیق آن‌ها با شرایط واقعی محدوده مورد مطالعه انجام شده است. امتیازدهی نیز بر اساس ارزیابی میدانی پژوهشگران و میزان انطباق وضعیت موجود با شاخص‌های مدل مفهومی پژوهش صورت گرفته است. به منظور کاهش سوگیری، تخصیص اوزان و امتیازها به صورت مقایسه‌ای و بر پایه شاخص‌های استخراج‌شده از ادبیات نظری انجام شده است.

در این رویکرد برای تعیین ضریب اهمیت، وزن هر عامل (عددی بین ۰ تا ۱) بر اساس میزان تکرار و تأکید آن مؤلفه در متون علمی معتبر پیشینه و همچنین، میزان انطباق آن با سیاست‌های کلان مدیریت بحران آب در اسناد بالادستی تعیین شده است. مجموع اوزان در هر ماتریس برابر ۱ خواهد بود. برای تعیین نمره، امتیاز هر عامل (اعداد ۱ تا ۴) بر مبنای تطبیق وضعیت

1. IFE: Internal Factor Evaluation

2. EFE: External Factor Evaluation

3. IE: Internal-External Matrix

4. SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats)

5. QSPM (Quantitative Strategic Planning Matrix)

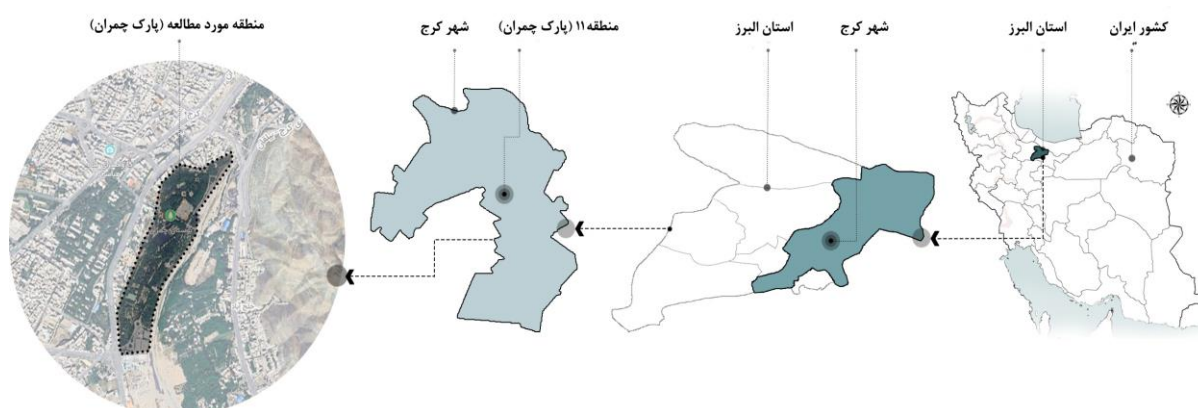
6. Evidence-based Assessment

فعلی منطقه با استانداردهای استخراج شده از مدل مفهومی پژوهش و شدت تأثیر آن بر هدررفت یا حفظ منابع آبی اختصاص یافته است. (در عوامل داخلی: ۱: ضعف اساسی، ۴: قوت بسیار بالا / در عوامل خارجی: ۱: تهدید جدی، ۴: فرصت طلایی). پس از تشکیل ماتریس ارزیابی عوامل داخلی (IFE) و ماتریس ارزیابی عوامل خارجی (EFE) و ضرب اوزان در نمرات، نمره نهایی هر ماتریس محاسبه می‌شود. قرارگیری نمرات به دست آمده در ماتریس داخلی - خارجی (IE)، نوع راهبرد کلان (تهاجمی، محافظه کارانه، تدافعی یا رقابتی) را جهت بازطراحی منظر بیوفیلیک و پلکانی پارک چمران در راستای سازگاری با بحران آب مشخص می‌سازد. در نهایت، راهکارهای عملیاتی (WT, ST, WO, SO) متناسب با رویکرد تاب‌آوری اکولوژیک تدوین می‌شوند. به منظور افزایش شفافیت فرایند وزن دهی در ماتریس‌های IFE و EFE، تعیین وزن عوامل داخلی و خارجی بر اساس ترکیبی از سه منبع شامل اسناد بالادستی و مطالعات شناخت محدوده شامل طرح جامع شهر کرج در سال ۱۳۹۱ - ۱۳۹۳ و داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک کرج آمار سالانه سال ۱۴۰۳؛ تحلیل QSPM-SWOT انجام شده در پژوهش پیراسته و همکاران در سال ۱۴۰۴ حول محور گردشگری بیوفیلیک در محدوده بلوار چمران که مبنای شناسایی اولیه بسیاری از عوامل کالبدی، زیست محیطی و مدیریتی بوده است [۳۳ - ۳۵]؛ و بررسی نمونه موفق بین‌المللی پروژه بازاستفاده آب در پارک سیدنی استرالیا^۱ به عنوان الگوی مدیریت یکپارچه آب و زیرساخت سبز در پارک‌های شهری انجام شد. در ادامه در ارتباط با تطبیق نمونه موفق پارک سیدنی با پارک چمران در بخش یافته‌ها توضیح داده شده است. در مرحله نهایی، به منظور اولویت‌بندی راهبردهای استخراج شده، از ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی استفاده شد. در این ماتریس، عوامل کلیدی داخلی و خارجی با اوزان پیشنهادی وارد شده و برای هر راهبرد، نمره جذابیت^۲ در مقیاس ۱ تا ۴ بر اساس میزان اثربخشی آن راهبرد در پاسخ‌گویی به هر عامل تعیین شد. حاصل ضرب وزن هر عامل در نمره جذابیت، امتیاز جذابیت کل (TAS) را تشکیل داده و مجموع این مقادیر، نمره نهایی هر راهبرد را مشخص می‌کند. مقادیر ارائه شده در جدول ۵ بیانگر مجموع امتیاز جذابیت کل برای هر گزینه راهبردی است. در نهایت، وزن هر عامل بر اساس میزان تأکید و تکرار آن در منابع علمی و اسناد برنامه‌ریزی شهری و همچنین، اهمیت آن در تحقق اهداف طراحی منظر بیوفیلیک تعیین شد. به این ترتیب عواملی که در اسناد بالادستی و مطالعات مرجع نقش کلیدی‌تری در مدیریت بحران آب و ارتقای کیفیت اکولوژیک داشتند، وزن بالاتری دریافت کردند. امتیازدهی (۱ تا ۴) نیز بر اساس میزان انطباق وضعیت موجود پارک چمران با شاخص‌های استخراج شده از مدل مفهومی پژوهش انجام شد؛ به گونه‌ای که امتیاز ۱ نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب یا عدم انطباق، امتیاز ۲ بیانگر انطباق ضعیف، امتیاز ۳ نشان‌دهنده انطباق متوسط و امتیاز ۴ بیانگر انطباق مطلوب با معیارهای طراحی بیوفیلیک بوده است.

شناخت محدوده مورد مطالعه: شهرستان کرج به عنوان مرکز استان البرز، در سال‌های اخیر تحت تأثیر توسعه سریع شهری و افزایش بارگذاری جمعیتی با چالش‌های اکولوژیک متعددی به‌ویژه افت سطح آب‌های زیرزمینی مواجه شده است. در این میان، بلوار چمران به عنوان یکی از محورهای سبز مهم شهر، یادگاری از هویت باغ‌شهر کرج محسوب می‌شود. در ضلع شرقی این محور، پارک چمران با مساحتی حدود ۴۰ هکتار و مجاورت مستقیم با رودخانه کرج، یکی از کانون‌های مهم تعاملات اجتماعی و فضاهای سبز شهری به شمار می‌آید. محدوده مورد مطالعه از شمال به محورهای بهشتی و قدس، از جنوب به بلوار هفتم تیر، از غرب به بلوار چمران و بستر رودخانه کرج و از شرق به جاده چالوس محدود می‌شود. همچنین، دسترسی مناسب به شبکه حمل‌ونقل شهری و مجاورت با کاربری‌های مهم شهری نظیر دانشکدگان کشاورزی دانشگاه تهران، این محدوده را به نمونه‌ای مناسب برای بررسی امکان بازطراحی منظر شهری با رویکرد بیوفیلیک تبدیل کرده است (شکل ۱).

شرایط اقلیمی: بر اساس گزارش ایستگاه سینوپتیک هواشناسی کرج دوره آماری سال ۱۴۰۳، اقلیم منطقه در گروه اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار می‌گیرد و میانگین بارش سالانه حدود ۱۹۵/۹ میلی‌متر گزارش شده است، در حالی که میزان تبخیر و تعرق سالانه حدود ۱۸۶۵/۲ میلی‌متر است که نشان‌دهنده تنش آبی قابل توجه در منطقه است. بر اساس داده‌های دمایی این ایستگاه، دامنه تغییرات دما از حداقل ۸/۴- درجه سانتی‌گراد در زمستان تا حداکثر ۴۱/۷ درجه سانتی‌گراد در تابستان متغیر بوده و حدود

۶۳ روز یخبندان در سال ثبت شده است. همچنین، بادهای غالب منطقه عمدتاً از جهات غربی (۲۷۰ تا ۲۸۰ درجه) می‌وزند و گاه سرعت آن‌ها به حدود ۲۴ متر بر ثانیه می‌رسد [۳۴].



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی پارک چمران کرج

ساختمان زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی: بر اساس گزارش آب‌شناسی طرح جامع شهر کرج در سال ۱۳۹۱، این شهر در دامنه جنوبی البرز مرکزی و روی یک دشت آبرفتی جوان شکل گرفته است که از رسوبات رودخانه کرج تشکیل شده و ساختاری ناودیس‌مانند دارد. ضخامت رسوبات آبرفتی در این دشت بین حدود ۱۰۰ تا بیش از ۳۰۰ متر متغیر بوده و ترکیب آن عمدتاً شامل شن، ماسه و قلوه‌سنگ است که نفوذپذیری بالایی دارند. در محدوده شرقی دشت کرج، شامل محلات حصار، خلیج‌آباد، کلاک و همت‌آباد، ضخامت آبرفت در برخی نقاط به حدود ۲۰۰ متر می‌رسد. مقاومت ویژه رسوبات در حالت خشک حدود ۳۰۰ اهم‌متر و در حالت اشباع حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ اهم‌متر گزارش شده است که بیانگر غالب بودن رسوبات دانه‌درشت در منطقه است [۳۵].

وضعیت هیدروژئولوژی و منابع آب زیرزمینی: بر اساس گزارش آب‌شناسی طرح جامع شهر کرج در سال ۱۳۹۱، آبخوان دشت کرج یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب، کشاورزی و فضای سبز شهری است. بررسی داده‌های چاه‌های پی‌زومتری نشان می‌دهد در سال‌های اخیر به دلیل افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی، سطح آبخوان دچار افت قابل توجهی شده است. بر اساس تحلیل هیدروگراف پی‌زومترها، در برخی بخش‌های دشت کرج به‌ویژه مناطق جنوبی و جنوب‌شرقی، افت سطح آب زیرزمینی در برخی دوره‌ها به بیش از ۷ متر طی سه سال رسیده که نشان‌دهنده فشار فزاینده بر منابع آب زیرزمینی و افزایش خطر فرونشست زمین در بخش‌هایی از دشت کرج است. در محدوده شرقی دشت کرج شامل خلیج‌آباد و کلاک که پارک چمران در مجاورت آن قرار دارد، سطح آب زیرزمینی در عمق حدود ۸۵ تا ۹۰ متر قرار گرفته و ضخامت لایه اشباع آبخوان حدود ۱۰۰ متر برآورد شده است [۳۵]. همچنین، مطالعات انجام‌شده در بازه پایین‌دست سد امیرکبیر نشان می‌دهد رودخانه کرج به دلیل شیب توپوگرافی، تغییرات دبی و تمرکز جمعیت در حریم رودخانه، در برخی دوره‌های بارشی مستعد بروز سیلاب‌های ناگهانی است و سکونتگاه‌های مجاور رودخانه در معرض خطر سیلاب قرار دارند [۳۶].

وضعیت فضای سبز و منابع آب و نیاز آبی منطقه: پارک چمران در محدوده منطقه ۱۱ شهرداری کرج (ناحیه کلاک) قرار دارد. این منطقه با مساحت حدود ۱۵/۶۴ کیلومتر مربع دارای جمعیتی حدود ۷۰۶۵۷ نفر بوده و مجموع فضای سبز آن حدود ۴۹۷۰۹ هکتار برآورد شده است. آبیاری این فضاها عمدتاً از طریق سه حلقه چاه شامل چاه چمران (۲۵ لیتر بر ثانیه)، چاه کلهر (۲۰ لیتر بر ثانیه) و چاه بیلقان (۸ لیتر بر ثانیه) انجام می‌شود که مجموع آب استحصال‌شده از آن‌ها حدود ۱۶۳۰/۸ مترمکعب در شبانه‌روز است. در این منطقه حدود ۸/۳ هکتار چمن‌کاری، ۱/۴ هکتار بوته‌کاری و ۹/۹ هکتار درختکاری وجود دارد. بر اساس برآوردهای انجام‌شده، مجموع نیاز آبی پوشش گیاهی حدود ۱۰۳۸ مترمکعب در روز است که سهم عمده آن مربوط به چمن‌کاری‌ها با مصرف حدود ۸۳۹ مترمکعب در روز است. این الگوی مصرف نشان می‌دهد استفاده گسترده از گونه‌های پرمصرف، فشار قابل توجهی بر منابع آب زیرزمینی وارد کرده و ضرورت اصلاح الگوی کاشت با گونه‌های مقاوم به خشکی را

نشان می‌دهد [۳۷]. بر اساس گزارش پوشش گیاهی طرح جامع شهر کرج در سال ۱۳۹۳، پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه شامل گونه‌های درختی، درختچه‌ای و گیاهان پوششی است که حدود ۵۴ درصد آن را درختان و درختچه‌ها تشکیل می‌دهند. در باغ گل‌های کرج که در سال ۱۳۸۴ در پارک چمران احداث شده، گونه‌های متنوعی از گیاهان مشاهده می‌شود که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به چنار، افاقیا، گز و سیدالاشجار اشاره کرد. در میان گیاهان پوششی نیز گونه‌هایی مانند فرانکنیا، لیزیماکیا و انواع سدوم وجود دارند که به دلیل مقاومت بالا در برابر خشکی با شرایط اقلیمی منطقه سازگاری مناسبی دارند. بر اساس ارزیابی سلامت پوشش گیاهی، حدود ۴۲/۵ درصد گونه‌ها در وضعیت پایدار، ۳۳ درصد نسبتاً پایدار و حدود ۱۹/۸۵ درصد در وضعیت ضعیف قرار دارند و بخشی از گونه‌ها نیازمند بازکاشت یا جایگزینی هستند [۳۸].

در راستای تحلیل وضعیت منابع آب، شاخص‌های کمی مرتبط با اقلیم و مصرف آب شامل میزان بارش سالانه، متوسط تبخیر و تعرق، نیاز آبی پوشش گیاهی غالب منطقه و وابستگی فضای سبز به منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های یادشده بر اساس اطلاعات ایستگاه سینوپتیک کرج و گزارش‌های رسمی مدیریت منابع آب منطقه استخراج شده‌اند. این شاخص‌ها مبنای تشخیص شدت تنش آبی و ضرورت گذار به راهبردهای طراحی سازگار با کم‌آبی در چارچوب منظر بیوفیلیک بوده‌اند.

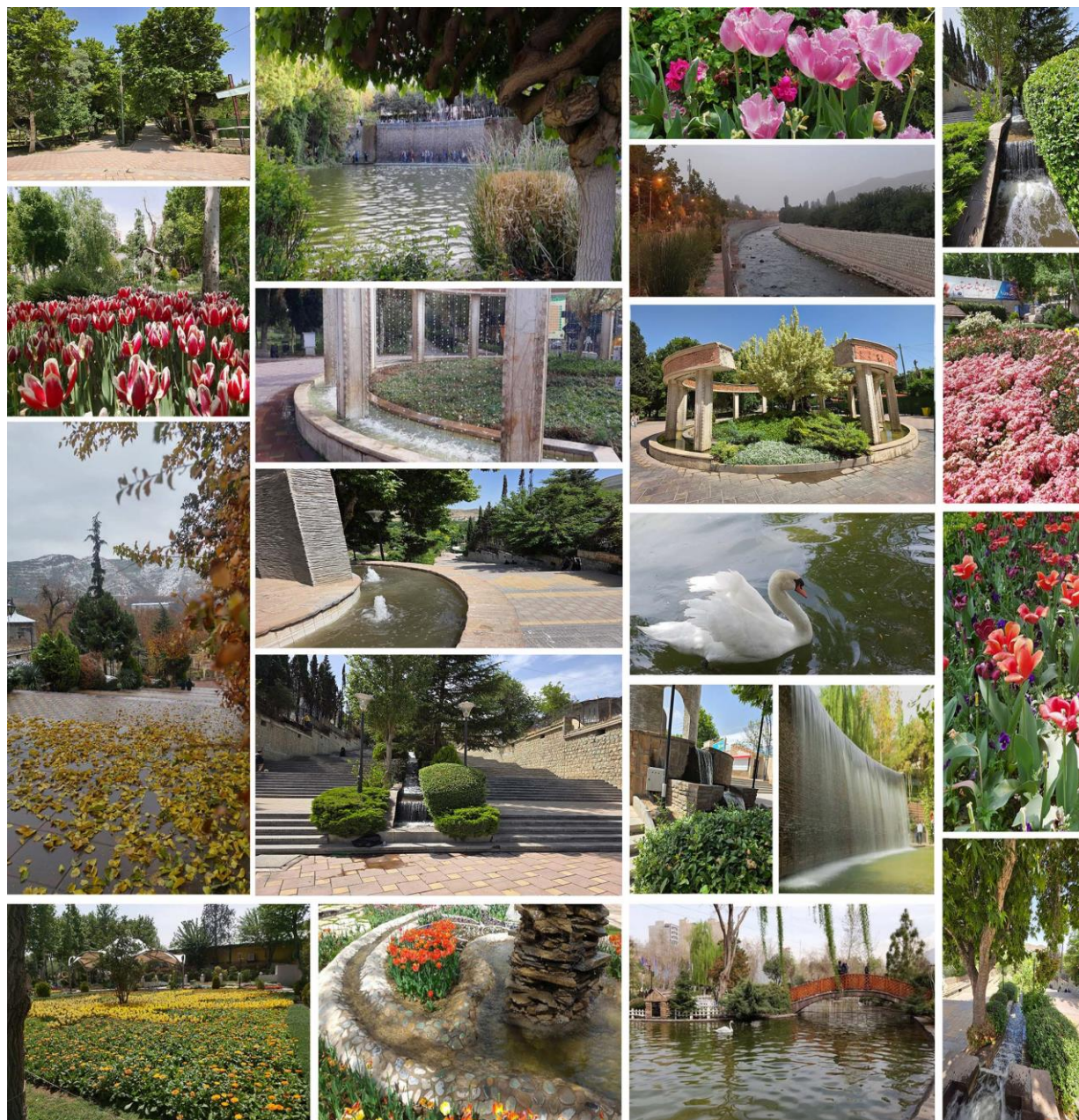
امکان‌سنجی طراحی منظر بیوفیلیک در محدوده مورد مطالعه: ارزیابی قابلیت‌های محدوده مورد مطالعه برای گذار از وضعیت موجود به منظر بیوفیلیک مستلزم بررسی هم‌زمان شرایط اقلیمی، هیدرولوژیک و کالبدی منطقه است. نخست، شرایط اقلیمی نیمه‌خشک و میزان بالای تبخیر و تعرق در مقایسه با بارش سالانه، نشان می‌دهد تداوم الگوهای سنتی طراحی منظر مبتنی بر مصرف بالای آب پایدار نیست. از سوی دیگر، ساختار خاک آبرفتی منطقه با بافت شنی - ماسه‌ای اگرچه زهکشی مناسبی فراهم می‌کند، اما در صورت نبود مدیریت مناسب می‌تواند به هدررفت آب‌های سطحی منجر شود. دوم، بررسی ساختار آبی موجود در پارک نشان می‌دهد بسیاری از عناصر آبی فعلی مانند آبشارهای مصنوعی و آبنماها بیشتر دارای کارکرد تزئینی بوده و وابسته به جریان‌های پرمصرف آب هستند که با شرایط بحران آب منطقه سازگاری ندارند. با این حال، توپوگرافی طبیعی و بستر نسبتاً شیب‌دار محدوده، ظرفیت مناسبی برای طراحی سامانه‌های آبی با چرخه بسته و مصرف بهینه آب فراهم می‌کند. بر این اساس، امکان‌سنجی انجام‌شده نشان می‌دهد این محدوده ظرفیت بالایی برای به‌کارگیری راهبردهای طراحی بیوفیلیک دارد. استفاده از گیاهان آبی پالاینده می‌تواند علاوه بر کمک به تصفیه بیولوژیک آب، بخشی از چرخه طبیعی اکوسیستم را در منظر شهری بازآفرینی کند. ایجاد نواحی انتقالی میان خشکی و آب (اکوتون آبی - خشکی) نیز می‌تواند به افزایش تنوع زیستی، کاهش تبخیر سطحی و بهبود کارایی سیستم‌های آبی کمک کند. در این راستا، انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار با اقلیم منطقه و نیاز آبی پایین که مشخصات آن‌ها در جدول پیشنهادهای پایانی مقاله ارائه شده است، می‌تواند گذار از یک «منظر تزئینی پرمصرف» به یک منظر عملکردی و تاب‌آور را در چارچوب اصول توسعه پایدار و مدیریت منابع آب شهری امکان‌پذیر سازد (شکل ۲).

یافته‌ها

به منظور دستیابی به راهبردهای بهینه جهت بازطراحی منظر پلکانی پارک چمران با رویکرد بیوفیلیک و سازگاری با بحران آب، پیش از تشکیل ماتریس‌های کمی (IFE، EFE و QSPM)، گزاره‌های استخراج‌شده از مطالعات اسنادی، تحلیل پیشینه پژوهش و برداشت‌های میدانی، در چارچوب یک فرایند کدگذاری مفهومی سامان‌دهی شدند. در این مرحله، داده‌های کیفی گردآوری‌شده بر اساس چهار بُعد اصلی مدل مفهومی پژوهش شامل: (۱) بُعد محیط زیستی - اکولوژیک، (۲) بُعد کالبدی - فضایی، (۳) بُعد ادراکی - روان‌شناختی و (۴) بُعد مدیریتی - سیاستگذاری تفکیک و طبقه‌بندی شدند.

در بُعد محیط زیستی - اکولوژیک، عواملی نظیر وضعیت پوشش گیاهی، وابستگی فضای سبز به منابع آب زیرزمینی، الگوی مصرف آب، ظرفیت بازچرخانی و مدیریت رواناب سطحی مورد توجه قرار گرفت. بُعد کالبدی - فضایی بر شاخص‌هایی همچون سازمان فضایی تراس‌ها، پیوستگی حرکتی، کیفیت مسیرهای دسترسی، توزیع سایه و عناصر آبی متمرکز بود. در بُعد ادراکی - روان‌شناختی، مؤلفه‌هایی نظیر حس تعلق، تجربه طبیعت، کیفیت بصری، خوانایی فضا و میزان تعامل کاربر با عناصر طبیعی

تحلیل شد. در نهایت، در بُعد مدیریتی - سیاستگذاری، موضوعاتی همچون هماهنگی با اسناد بالادستی، ظرفیت اجرایی شهرداری، نظام نگهداری و امکان مشارکت ذی‌نفعان بررسی شد. این فرایند طبقه‌بندی چندبُعدی، امکان برقراری پیوندی نظام‌مند میان داده‌های کیفی حاصل از شناخت سایت و چارچوب کمی تحلیل راهبردی را فراهم ساخت (جدول ۲).



شکل ۲. تصاویر پارک چمران برای امکان‌سنجی بازطراحی منظر بیوفیلیک (برداشت‌های میدانی نگارندگان)

جدول ۲. دسته‌بندی عوامل داخلی (قوت و ضعف) و خارجی (فرصت و تهدید) بر اساس ابعاد مدل مفهومی

ابعاد مدل مفهومی	تهدیدها (Threats)	فرصت‌ها (Opportunities)	ضعف‌ها (Weaknesses)	قوت‌ها (Strengths)
کالبدی - فضایی	(T1). بحران جدی افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت کرج و کاهش پایداری منابع تأمین آب فضای سبز.	(O1). رژیم بارش فصلی منطقه که امکان استحصال و ذخیره‌سازی نزولات جوی را فراهم می‌کند.	(W1). فقدان سیستم‌های بازچرخانی اکولوژیک و تصفیه گیاهی (فیلتراسیون بیولوژیک) (W2). نفوذپذیری بالای خاک بستر و تخییر شدید سطحی به دلیل عدم سایه‌اندازی گیاهی.	(S1). هم‌جواری با اکوسیستم رودخانه کرج و تنوع پوشش گیاهی بومی.
	(T2). خشکی هوا، تأخیر بسیار شدید در تابستان و وقوع یخبندان‌های آسیب‌زننده در زمستان.	(T3). قرارگیری محدوده در مجاورت رودخانه کرج و قرارگیری بخشی از اراضی در معرض سیلاب‌های فصلی و نوسانات دبی رودخانه.		(S2). بهره‌گیری مناسب منطقه از نور طبیعی و جریان هوای مطلوب.
محیط زیستی - اکولوژیک	(T4). آلودگی‌های محیطی (هوا و صوت) و ورزش بادهای حامل گردوغبار که موجب کاهش کیفیت آب و محیط زیستی محدوده می‌شود.	(O2). امکان اتصال کالبدی - اکولوژیک آبشار و آبمای پلکانی با پارک چمران و ارتقای سرزندگی شبانه‌روزی.	(W3). طراحی کاملاً تزئینی آبشار فعلی، متکی بر تأسیسات مکانیکی با هدررفت بالای آب.	(S3). توپوگرافی شیب‌دار منطقه، مناسب برای جریان ثقلی آب و کاهش مصرف انرژی.
		(W4). ضعف در پیوستگی مسیرهای پیاده و دوچرخه در مجاورت آبشار و آبما و بلوار چمران.	(S4). وجود زیرساخت‌های اولیه آبما و آبشار پلکانی با قابلیت تغییر به ساختار بیوفیلیک.	
ادراکی - روان‌شناختی	(T5). تخریب و آسیب به پوشش گیاهی و تأسیسات توسط کاربران به دلیل ضعف فرهنگ‌سازی.	(O3). امکان بهره‌گیری از نیروی کار جوان و متخصص بومی در اجرای پروژه‌های فضای سبز.	(W5). اغتشاشات بصری، کمبود مبلمان شهری سازگار با طبیعت و ضعف روشنائی در شب.	(S5). علاقه‌مندی ساکنان محلی به مشارکت در پروژه‌های زیست‌محیطی شهری.
	(T6). عدم تخصیص بودجه مستمر توسط نهادهای دولتی برای نگهداری پروژه‌های بیوفیلیک.	(O4). هم‌جواری با دانشکدگان کشاورزی دانشگاه تهران جهت مشاوره در فیلتراسیون گیاهی.	(W6). فقدان نظام مدیریت مشارکتی و عدم آگاهی شهروندان از مفاهیم طراحی بیوفیلیک.	(S6). موقعیت استراتژیک شهری، دسترسی‌پذیری بالا و نزدیکی به ایستگاه مترو.
مدیریتی - سیاستگذاری	(T7). محدودیت‌های قانونی و مقرراتی در تخصیص آب برای آبیاری فضای سبز شهری.	(O5). تأکید اسناد بالادستی مدیریت شهری بر گذار به منظر تاب‌آور و کاهش مصرف آب.	(W7). کمبود بودجه متناسب و عدم تمایل سرمایه‌گذاران به پروژه‌های صرفاً اکولوژیک.	
		(O6). پتانسیل جذب منابع مالی ملی و بین‌المللی در حوزه سازگاری با تغییرات اقلیمی.		

پس از شناسایی و دسته‌بندی عوامل استراتژیک در چهار بُعد مدل مفهومی، ماتریس‌های ارزیابی عوامل داخلی و خارجی تشکیل شد. در این مرحله، بر اساس رویکرد «ارزیابی مبتنی بر شواهد»، وزن هر متغیر (بین ۰ تا ۱) بر مبنای تواتر و اهمیت آن در ادبیات منظر بیوفیلیک و اسناد بالادستی بحران آب تعیین شد. همچنین، نمره‌دهی (از ۱ تا ۴) با تطبیق دقیق کالبد و شرایط فعلی پارک چمران با زیرساخت‌های اکولوژیک انجام گرفت. نمره ۴ در ماتریس داخلی نشان‌دهنده قوت بسیار بالا (تطابق کامل کالبدی) و نمره ۱ نشان‌دهنده ضعف اساسی است. در ماتریس خارجی نیز نمره ۴ نشان‌دهنده واکنش و پتانسیل عالی منطقه در برابر فرصت، و نمره ۱ نشان‌دهنده آسیب‌پذیری شدید وضع موجود در برابر تهدیدها است (جدول ۳).

جدول ۳. ماتریس ارزیابی عوامل داخلی (IFE) و خارجی (EFE)

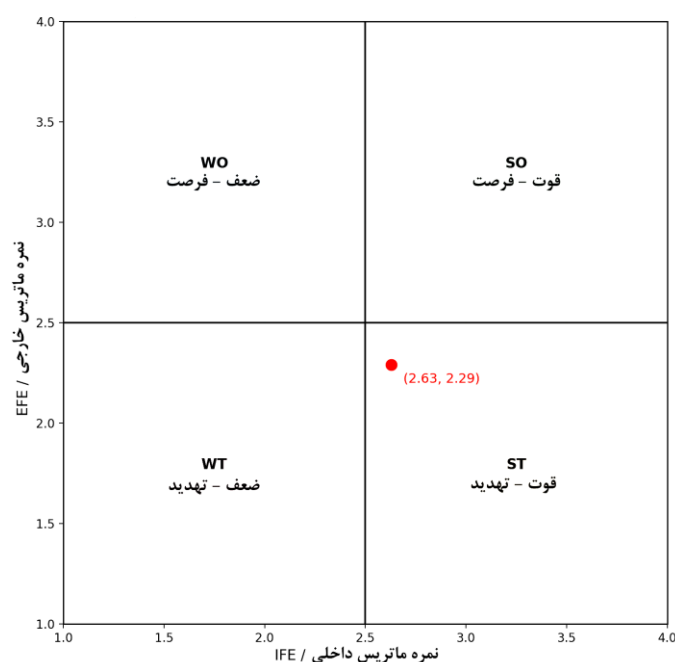
عوامل داخلی (IFE)	وزن	نمره	امتیاز	عوامل خارجی (EFE)	وزن	نمره	امتیاز
S1	۰/۱۰	۴	۰/۴۰	O1	۰/۰۸	۳	۰/۲۴
S2	۰/۰۵	۳	۰/۱۵	O2	۰/۰۵	۳	۰/۱۵
S3	۰/۱۵	۴	۰/۶۰	O3	۰/۰۵	۳	۰/۱۵
S4	۰/۱۰	۳	۰/۳۰	O4	۰/۰۸	۴	۰/۳۲
S5	۰/۰۵	۳	۰/۱۵	O5	۰/۱۰	۴	۰/۴۰
S6	۰/۰۵	۴	۰/۲۰	O6	۰/۰۵	۳	۰/۱۵
W1	۰/۱۲	۱	۰/۱۲	T1	۰/۱۸	۱	۰/۱۸
W2	۰/۰۸	۲	۰/۰۸	T2	۰/۱۲	۲	۰/۲۴
W3	۰/۱۰	۲	۰/۱۰	T3	۰/۱۰	۲	۰/۲۰
W4	۰/۰۵	۲	۰/۰۵	T4	۰/۰۷	۲	۰/۱۴
W5	۰/۰۵	۲	۰/۰۵	T5	۰/۰۵	۱	۰/۰۵
W6	۰/۰۵	۱	۰/۰۵	T6	۰/۰۷	۱	۰/۰۷
W7	۰/۰۵	۲	۰/۰۵				
مجموع	۱/۰۰	-	۲/۶۳	مجموع	۱/۰۰	-	۲/۲۹

به منظور عینیت بخشی به فرایند امتیازدهی و پرهیز از سوگیری های کیفی، تجارب جهانی موفق در زمینه تبدیل بسترهای صنعتی به زیرساخت های سبز بیوفیلیک، به عنوان «مبنای تطبیقی» مورد استناد قرار گرفته است. شاخص ترین نمونه در این راستا، پروژه بازاستفاده آب در پارک سیدنی استرالیا است. این پروژه با بهره گیری از توپوگرافی ناشی از استخراج سنگ و ایجاد سیستمی از تالاب های مصنوعی، سالانه ۸۴۰ میلیون لیتر آب باران را بازچرخانی کرده و تقاضای آب شرب شهری را ۱۰ درصد کاهش داده است [۳۹]. تطبیق ویژگی های این پروژه (نظیر استفاده از دیوارهای گابیونی برای کنترل جریان، سیستم های زیست پالایی با ۱۵۰ گونه گیاهی بومی و ایجاد آبشارهای هوادهی) با وضعیت موجود پارک چمران، مبنای تخصیص امتیازها قرار گرفت. برای مثال، نمره ۱ (ضعف اساسی) برای عامل W1 (فقدان بازچرخانی) به این دلیل اختصاص یافت که در مقایسه با استاندارد عملیاتی پارک سیدنی، محدوده مورد مطالعه علی رغم پتانسیل توپوگرافی مشابه، فاقد هرگونه زیرساخت برای جذب و بازچرخانی رواناب هاست.

در تحلیل ماتریس داخلی، نمره نهایی ماتریس داخلی برابر با ۲/۶۳ است. از آنجا که این عدد از حد متوسط (۲/۵) بیشتر است، نشان می دهد در محیط داخلی پارک چمران، کفه ترازوی ارزیابی به نفع قوت ها (به ویژه توپوگرافی و زیرساخت های طبیعی) سنگین تر از ضعف ها است. همچنین، در تحلیل ماتریس خارجی، کسب نمره ۲/۲۹ کمتر از حد متوسط (۲/۵) گویای آن است که محیط پیرامونی منطقه به شدت متلاطم و تهدیدآمیز است و ساختار فعلی پارک واکنش ضعیفی در برابر این تهدیدها، به ویژه بحران افت آب های زیرزمینی (T1) و مخاطرات هیدرولوژیک رودخانه ای نظیر سیلاب های فصلی (T3) نشان می دهد.

در نهایت، برای تعیین استراتژی نهایی بازطراحی منظر بیوفیلیک، از تکنیک تقاطع مختصات در ماتریس داخلی - خارجی (IE / SWOT Matrix) استفاده می شود. در این روش، نمره ماتریس داخلی (IFE) روی محور افقی (X) و نمره ماتریس خارجی (EFE) روی محور عمودی (Y) قرار می گیرد. بر اساس محاسبات پژوهش حاضر، نمره محور افقی (X = ۲/۶۳) (نشان دهنده قدرت داخلی منطقه) و نمره محور عمودی (Y = ۲/۲۹) (نشان دهنده غلبه تهدیدهای خارجی) است. با ترسیم تقاطع این دو نقطه (۲/۶۳، ۲/۲۹)، موقعیت پروژه در منطقه «رقابتی / اقتضایی» (ST - Max-Min) قرار می گیرد (شکل ۳).

این نتیجه نشان دهنده یک نوآوری کلیدی در پژوهش است؛ به این معنا که با وجود تهدیدهای ویرانگر محیطی مانند خشکسالی، پتانسیل های کالبدی - اکولوژیک منطقه درونی (مانند شیب طبیعی و بستر صخره ای) به اندازه ای قدرتمند است که می توان با اتکا بر آن ها و اعمال تغییرات هوشمندانه، تهدیدها را مهار کرد. بر این اساس، راهبردهای رقابتی (ST) پژوهش با رویکرد استفاده از قدرت داخلی برای خنثی سازی تهدیدهای خارجی در ادامه تدوین شد (جدول ۴).



شکل ۳. موقعیت راهبردها در ماتریس SWOT

جدول ۴. راهبردهای رقابتی (ST) جهت بازطراحی منظر بیوفیلیک سازگار با بحران آب

کد	عنوان راهبرد رقابتی (ST) بر اساس ابعاد مدل مفهومی	تعامل عوامل داخلی و خارجی
ST1	توسعه منظر آب‌محور ثقلی با فیلتراسیون گیاهی: بهره‌گیری از شیب و بستر صخره‌ای منطقه جهت به جریان انداختن آب بدون نیاز به پمپاژ پرمصرف و ترکیب آن با گیاهان آبی بومی رودخانه کرج جهت تصفیه بیولوژیک آب در مقابله با بحران افت آب‌های زیرزمینی.	T1, T4 در مقابله با S3, S1
ST2	میکروکلیماسازی بیوفیلیک کاهنده تبخیر: استفاده از تنوع گونه‌های گیاهی سایه‌انداز و ایجاد فرم‌های ارگانیک و صخره‌ای روی مسیر آبشار جهت کنترل تابش مستقیم و مهار تبخیر شدید ناشی از تغییرات اقلیمی.	T2 در مقابله با S1, S2
ST3	مدیریت هوشمند سیلاب با زیرساخت‌های چندعملکردی: تبدیل زیرساخت‌های خطی موجود به حوضچه‌های پلکانی تأخیری و نوارهای سیلاب‌پذیر جهت جذب، ذخیره موقت و کندسازی رواناب‌ها و سیلاب‌های فصلی رودخانه کرج.	T3 در مقابله با S4, S3
ST4	ارتقای حس تعلق از طریق منظر مشارکت‌محور: ایجاد فضاهای مکث، تحریک حواس با صدای آب و استفاده از نیروی اجتماعی داوطلب برای مدیریت و نگهداری منطقه برای مقابله با آسیب‌های وندالیسمی و کمبود بودجه.	T5, T6 در مقابله با S5, S6

پس از تعیین موقعیت راهبردی منطقه (رقابتی/اقتضایی - ST) و تدوین راهبردهای چهارگانه مبتنی بر تقاطع قوت‌های داخلی و تهدیدهای خارجی، مرحله نهایی در فرایند تحلیل استراتژیک، اولویت‌بندی این راهبردها جهت اجراست. به منظور ارزیابی عینی و رتبه‌بندی میزان اثربخشی هر راهبرد، از ماتریس برنامه‌ریزی استراتژیک کمی (QSPM) استفاده شد. در این ماتریس، تأثیر هر یک از عوامل کلیدی داخلی و خارجی بر راهبردهای تدوین‌شده بررسی شده و نمره جذابیت (Attractiveness Score - AS) از بازه ۱: (بدون جذابیت و بی‌تأثیر) تا ۴: (بسیار جذاب و کاملاً مرتبط) به آن‌ها اختصاص یافت. سپس از حاصل ضرب وزن هر عامل در نمره جذابیت آن، مجموع نمرات جذابیت (Total Attractiveness Score - TAS) برای هر راهبرد محاسبه شد تا مسیر بهینه برای مداخله در منطقه مورد مطالعه مشخص شود (جدول ۵).

جدول ۵. ماتریس برنامه‌ریزی استراتژیک کمی (QSPM) برای رتبه‌بندی راهبردهای رقابتی

عوامل کلیدی (داخلی و خارجی)	وزن	راهبرد ST4 (منظر مشارکت محور)	راهبرد ST3 (مدیریت سیلاب)	راهبرد ST2 (میکروکلیماسازی)	راهبرد ST1 (منظر آب محور)
قوت‌ها (Strengths)	AS TAS	AS TAS	AS TAS	AS TAS	AS TAS
(S1). هم‌جواری با رودخانه و پوشش گیاهی	۰/۱۰	۲ ۰/۲۰	۲ ۰/۲۰	۴ ۰/۴۰	۴ ۰/۴۰
(S2). بهره‌گیری از نور و جریان هوا	۰/۰۵	۳ ۰/۱۵	۱ ۰/۰۵	۴ ۰/۲۰	۲ ۰/۱۰
(S3). توپوگرافی شیب‌دار	۰/۱۵	۱ ۰/۱۵	۴ ۰/۶۰	۲ ۰/۳۰	۴ ۰/۶۰
(S4). زیرساخت‌های اولیه آبنا	۰/۱۰	۱ ۰/۱۰	۴ ۰/۴۰	۲ ۰/۲۰	۴ ۰/۴۰
(S5). علاقه‌مندی ساکنان محلی	۰/۰۵	۴ ۰/۲۰	۱ ۰/۰۵	۱ ۰/۰۵	۱ ۰/۰۵
(S6). موقعیت استراتژیک و دسترسی	۰/۰۵	۴ ۰/۲۰	۱ ۰/۰۵	۲ ۰/۱۰	۲ ۰/۱۰
ضعف‌ها (Weaknesses)	AS TAS	AS TAS	AS TAS	AS TAS	AS TAS
(W1). فقدان سیستم‌های بازچرخانی	۰/۱۲	۱ ۰/۱۲	۳ ۰/۳۶	۲ ۰/۲۴	۴ ۰/۴۸
(W2). نفوذپذیری خاک و تبخیر	۰/۰۸	۱ ۰/۰۸	۲ ۰/۱۶	۴ ۰/۳۲	۳ ۰/۲۴
(W3). طراحی تزیینی و هدررفت آب	۰/۱۰	۱ ۰/۱۰	۳ ۰/۳۰	۲ ۰/۲۰	۴ ۰/۴۰
(W4). ضعف پیوستگی مسیرها	۰/۰۵	۳ ۰/۱۵	۱ ۰/۰۵	۲ ۰/۱۰	۲ ۰/۱۰
(W5). اغتشاشات بصری و کمبود مبلمان	۰/۰۵	۴ ۰/۲۰	۱ ۰/۰۵	۳ ۰/۱۵	۲ ۰/۱۰
(W6). فقدان مدیریت مشارکتی	۰/۰۵	۴ ۰/۲۰	۱ ۰/۰۵	۱ ۰/۰۵	۱ ۰/۰۵
(W7). کمبود بودجه متناسب	۰/۰۵	۴ ۰/۲۰	۲ ۰/۱۰	۲ ۰/۱۰	۳ ۰/۱۵
فرصت‌ها (Opportunities)	AS TAS	AS TAS	AS TAS	AS TAS	AS TAS
(O1). رژیم بارش فصلی	۰/۰۸	۱ ۰/۰۸	۴ ۰/۳۲	۲ ۰/۱۶	۳ ۰/۲۴
(O2). اتصال با پارک چمران	۰/۰۵	۴ ۰/۲۰	۲ ۰/۱۰	۲ ۰/۱۰	۳ ۰/۱۵
(O3). نیروی کار جوان و متخصص	۰/۰۵	۴ ۰/۲۰	۲ ۰/۱۰	۲ ۰/۱۰	۲ ۰/۱۰
(O4). هم‌جواری با دانشکدگان کشاورزی	۰/۰۸	۲ ۰/۱۶	۲ ۰/۱۶	۳ ۰/۲۴	۴ ۰/۳۲
(O5). تأکید اسناد بالادستی بر منظر تاب‌آور	۰/۱۰	۲ ۰/۲۰	۴ ۰/۴۰	۳ ۰/۳۰	۴ ۰/۴۰
(O6). جذب منابع مالی تغییرات اقلیمی	۰/۰۵	۲ ۰/۱۰	۳ ۰/۰۵	۳ ۰/۱۵	۳ ۰/۱۵
تهدیدها (Threats)	AS TAS	AS TAS	AS TAS	AS TAS	AS TAS
(T1). بحران افت آب‌های زیرزمینی	۰/۱۸	۱ ۰/۱۸	۳ ۰/۵۴	۳ ۰/۵۴	۴ ۰/۷۲
(T2). خشکی هوا و تبخیر شدید	۰/۱۲	۱ ۰/۱۲	۲ ۰/۲۴	۴ ۰/۴۸	۳ ۰/۳۶
(T3). خطر وقوع سیلاب‌های فصلی	۰/۱۰	۱ ۰/۱۰	۴ ۰/۴۰	۱ ۰/۱۰	۲ ۰/۲۰
(T4). آلودگی‌های محیطی	۰/۰۷	۲ ۰/۱۴	۱ ۰/۰۷	۳ ۰/۲۱	۴ ۰/۲۸
(T5). تخریب توسط کاربران (وندالیسم)	۰/۰۵	۴ ۰/۲۰	۱ ۰/۰۵	۱ ۰/۰۵	۱ ۰/۰۵
(T6). عدم تخصیص بودجه مستمر	۰/۰۷	۴ ۰/۲۸	۲ ۰/۱۴	۲ ۰/۱۴	۲ ۰/۱۴
مجموع نمرات جذابیت (Sum of TAS)	۱/۰۰	۴/۰۱	۵/۰۹	۴/۹۸	۶/۲۸

بر اساس خروجی ماتریس برنامه‌ریزی استراتژیک کمی (QSPM)، راهبردهای رقابتی تدوین‌شده به ترتیب اولویت و جذابیت به شرح زیر رتبه‌بندی می‌شوند:

۱. راهبرد اول (ST1 - نمره ۶/۲۸): «توسعه منظر آب‌محور ثقلی با فیلتراسیون گیاهی» به دلیل هم‌راستایی کامل با مهم‌ترین تهدید (بحران آب) و مهم‌ترین قوت (توپوگرافی)، به عنوان حیاتی‌ترین و مؤثرترین راهبرد انتخاب شد.
۲. راهبرد سوم (ST3 - نمره ۵/۰۹): «مدیریت هوشمند سیلاب با زیرساخت‌های چندعملکردی» در رتبه دوم قرار گرفت که نشان‌دهنده اهمیت تاب‌آوری منطقه در برابر مخاطرات فصلی است.
۳. راهبرد دوم (ST2 - نمره ۴/۹۸): «میکروکلیماسازی بیوفیلیک کاهنده تبخیر» به عنوان راهبرد مکمل برای حفظ رطوبت و سازگاری اقلیمی در رتبه سوم جای گرفت.

۴. راهبرد چهارم (ST4 - نمره ۴/۰۱): «ارتقای حس تعلق از طریق منظر مشارکت‌محور» در اولویت بعدی برای تضمین پایداری اجتماعی و نگهداری بلندمدت پروژه قرار دارد.

برآیند یافته‌های حاصل از ماتریس‌های ارزیابی عوامل داخلی (IFE)، خارجی (EFE) و برنامه‌ریزی استراتژیک کمی (QSPM) نشان می‌دهد منطقه پارک چمران کرج، علی‌رغم برخورداری از پتانسیل‌های کالبدی - اکولوژیک بی‌نظیر توپوگرافی شیب‌دار، بستر صخره‌ای و هم‌جواری با رودخانه، به‌شدت تحت فشارهای ناشی از تهدیدهای کلان اقلیمی (به‌ویژه بحران افت آب‌های زیرزمینی و خشکسالی) قرار دارد. قرارگیری پروژه در موقعیت راهبردی «رقابتی (ST)» اثبات می‌کند که رویکردهای سنتی و تزئینی در طراحی منظر این منطقه دیگر پاسخگو نبوده و نیازمند یک تغییر پارادایم اساسی است. بالاترین نمره جذابیت (TAS = ۶/۲۸) که به راهبرد «توسعه منظر آب‌محور ثقیلی با فیلتراسیون گیاهی» اختصاص یافت، به‌روشنی تأیید می‌کند که «طراحی بیوفیلیک» در این بستر نباید به عنوان یک رویکرد صرفاً زیبایی‌شناختی تقلیل یابد؛ بلکه باید به مثابه یک «زیرساخت اکولوژیک تاب‌آور» عمل کند که با بهره‌گیری از نیروی گرانش (توپوگرافی منطقه) و چرخه‌های طبیعی، به مدیریت بحران آب، تصفیه رواناب‌ها و کاهش تبخیر بپردازد. این یافته‌ها، مسیر روشنی را برای گذار از یک منظر مصرف‌کننده و ناپایدار به یک منظر تولیدکننده و خودکفا ترسیم می‌کنند.

بحث

پژوهش حاضر با هدف گذار از رویکردهای صرفاً زیبایی‌شناختی و تزئینی به سمت بهره‌گیری از «طراحی بیوفیلیک به مثابه زیرساخت اکولوژیک و تاب‌آور» در مدیریت بحران آب تدوین شد. نتایج حاصل از تحلیل موقعیت راهبردی منطقه نشان داد پارک چمران کرج در موقعیت «رقابتی (ST)» قرار دارد؛ به این معنا که پتانسیل‌های درونی منطقه توانمندی لازم برای مهار تهدیدهای کلان اقلیمی را دارند. این یافته‌ها همسو با دیدگاه بیتلی و نیومن [۱۵] است که شهرهای بیوفیلیک را دارای انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری بالاتری در مقابله با بحران‌های محیط زیستی می‌دانند. مهم‌ترین یافته این پژوهش، کسب بالاترین نمره جذابیت برای راهبرد «توسعه منظر آب‌محور ثقیلی با فیلتراسیون گیاهی» است. این استراتژی بر بهره‌گیری از شیب طبیعی (توپوگرافی) منطقه تأکید دارد که همسو با مطالعات مودت و ولی‌پور [۲۶] در خصوص استفاده از بستر و شیب رودخانه است. همچنین، این راهبرد مستقیم‌الاً شناسایی‌شده در مطالعات پیشین را پوشش می‌دهد. مطالعات شاطرزاده و همکاران [۱] و ریو و همکاران [۴] بر اهمیت ادغام زیرساخت‌های سبز با آبراهه‌های طبیعی تأکید داشته‌اند؛ اما نوآوری پژوهش حاضر، کاربردی کردن این مفهوم از طریق «فیلتراسیون بیولوژیک با استفاده از نیروی گرانش» است. راهبرد «میکروکلیماسازی بیوفیلیک کاهنده تبخیر» نیز نشان می‌دهد ابعاد کالبدی چگونه در خدمت کاهش تبخیر قرار می‌گیرد که در راستای چارچوب شهرسازی بیوفیلیک پدرسز زری و همکاران [۸] قابل تبیین است. راهبرد «ارتقای حس تعلق از طریق منظر مشارکت‌محور» با تأکید بر تحریک حواس نشان‌دهنده اهمیت بُعد ادراکی است. همان‌طور که کلرت [۲۲] و تبریزی و جعفرپیشه [۳۰] بیان کرده‌اند، عناصر بیوفیلیک تأثیر بسزایی در تصویر ادراکی کاربران دارند. با این حال، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد در شرایط بحران آب، آرامش روانی شهروندان نباید به قیمت هدررفت منابع آبی در فرم‌های تزئینی و پرهزینه تأمین شود؛ بلکه این نیاز باید از طریق اکوسیستم‌های خودپالاینده و جریان‌های طبیعی آب برطرف شود؛ رویکردی که ردها [۳۲] نیز بر نقش مستقیم آن در بهبود سلامت روان از طریق حضور اصولی آب تأکید کرده است. قرارگیری راهبرد «مدیریت هوشمند سیلاب با زیرساخت‌های چندعملکردی» در رتبه دوم جذابیت، برجستگی بُعد مدیریتی را نشان می‌دهد. این یافته با پژوهش تردست و همکاران [۲۷] که نقش نهادهای مدیریتی را در برنامه‌ریزی راهبردی بیوفیلیک کلیدی می‌دانند، همخوانی دارد. تبدیل زیرساخت‌های خطی به حوضچه‌های تأخیری برای مدیریت سیلاب، نیازمند تغییر نگرش در سیاستگذاری‌های کلان است. همچنین ضعف منطقه در برخورداری از نظام مدیریت مشارکتی، لزوم تغییر رویکرد از مدیریت متمرکز به مدیریت جامعه‌محور را اثبات می‌کند. در یک جمع‌بندی تحلیلی می‌توان بیان کرد که رویکرد «طراحی منظر بیوفیلیک» در شرایط بحران آب نمی‌تواند به ابعاد صرفاً زیبایی‌شناختی محدود بماند. تقاطع ابعاد چهارگانه در این پژوهش نشان می‌دهد برای گذار از یک «منظر مصرف‌کننده» به یک «زیرساخت اکولوژیک تاب‌آور»، لازم است هندسه طبیعی منطقه، چرخه‌های تصفیه زیستی،

ارتقای سلامت جامعه و حکمروایی هوشمند منابع به صورت یکپارچه مورد توجه قرار گیرد؛ رویکردی که می‌تواند منظر پلکانی پارک چمران را به یک سیستم پویا در مدیریت پایدار منابع آب تبدیل کند.

محدودیت‌های پژوهش

این پژوهش با دو محدودیت اصلی همراه بوده است: نخست، فرایند امتیازدهی در تحلیل SWOT و ماتریس QSPM که مبتنی بر تحلیل کیفی منابع داخلی و خارجی، نمونه موفق جهانی، اسناد فرادست و ارزیابی کارشناسی بوده و بنابراین می‌تواند با درجه‌ای از عدم قطعیت همراه باشد. تغییرات احتمالی در دامنه ± 10 تا ± 20 درصد برای عوامل کلیدی ممکن است به جابه‌جایی جزئی در مقادیر جذابیت کل راهبردها منجر شود، با این حال با توجه به فاصله نسبی امتیاز نهایی راهبرد برتر با سایر گزینه‌ها در ماتریس QSPM، انتظار نمی‌رود که اولویت کلی راهبرد منتخب دچار تغییر اساسی شود. بررسی کمی دقیق‌تر این موضوع می‌تواند در پژوهش‌های آتی مورد توجه قرار گیرد. دوم، محدودیت دسترسی به داده‌های هیدرولوژیک دقیق در مقیاس محلی که امکان انجام مدل‌سازی کمی جریان آب و تحلیل دقیق رواناب را محدود ساخته است. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با بهره‌گیری از مدل‌های هیدرولوژیک و تحلیل حساسیت کمی، چارچوب راهبردی ارائه‌شده را تکمیل کنند.

مطالعات آینده و پیشنهادها

مطالعات آینده در حوزه طراحی منظر بیوفیلیک و مدیریت پایدار آب شهری می‌توانند بر بهره‌گیری از فناوری‌های نوین تأمین آب و انرژی در فضاهای سبز شهری تمرکز داشته باشند. یکی از رویکردهای نوظهور در این زمینه، «استحصال آب از مه»^۱ است که به عنوان روشی کم‌انرژی برای تأمین آب در مناطق نیمه‌خشک مورد توجه قرار گرفته است. این فناوری با استفاده از سازه‌های توری شکل قادر است رطوبت موجود در مه را به قطرات آب تبدیل کرده و آن را برای مصارف محیطی و آبیاری فضای سبز ذخیره کند. مطالعات نشان می‌دهد سامانه‌های غیرفعال جمع‌آوری مه می‌توانند به طور متوسط روزانه بین ۱/۵ تا بیش از ۱۰ لیتر آب در هر متر مربع تولید کنند و به عنوان منبع مکمل در تأمین آب شهری مورد استفاده قرار گیرند [۴۰]. علاوه بر این، در رویکردهای نوین مدیریت محیط شهری، استفاده از مصالح پایدار و ارزیابی چرخه حیات^۲ به عنوان ابزاری برای کاهش اثرات جزیره حرارتی شهری و بهبود عملکرد زیست‌محیطی فضاهای شهری مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد انتخاب مصالح با ظرفیت حرارتی مناسب و بازتابندگی بالا می‌تواند نقش مهمی در کاهش دمای سطحی و ارتقای پایداری محیط شهری ایفا کند [۴۱]. از سوی دیگر، بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر نیز می‌تواند به عنوان بخشی از رویکرد یکپارچه آب - انرژی در فضاهای سبز شهری مورد توجه قرار گیرد. استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک شناور روی پهنه‌های آبی علاوه بر تولید انرژی پاک، می‌تواند موجب کاهش تبخیر آب و بهبود بهره‌وری منابع آبی شود [۴۲]. همچنین، توسعه فناوری‌های نوین فتوولتائیک مانند پنل‌های دوطرفه همراه با ردیاب خورشیدی می‌تواند کارایی تولید انرژی را به طور قابل توجهی افزایش داده و زمینه استفاده از انرژی خورشیدی در زیرساخت‌های شهری پایدار را فراهم کند [۴۳]. در مجموع، ترکیب راهکارهای نوین تأمین آب، مصالح پایدار و انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند چشم‌اندازهای جدیدی برای طراحی فضاهای سبز شهری مقاوم در برابر بحران آب فراهم کند و مسیرهای پژوهشی آینده در حوزه طراحی منظر پایدار را گسترش دهد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تدوین رویکردی نوین در مواجهه با بحران آب، به بازتعریف نقش فضاهای سبز شهری از رویکردهای تزئینی به زیرساخت‌های اکولوژیک پرداخته است. در پاسخ به سؤال اصلی پژوهش مبنی بر اینکه «مؤلفه‌ها، شاخص‌ها و راهبردهای عملیاتی طراحی منظر بیوفیلیک با رویکرد ارتقای تاب‌آوری اکولوژیک در پارک چمران کرج کدام‌اند؟»، نتایج نشان

می‌دهد این منظر تاب‌آور از تقاطع سیستماتیک چهار بُعد اساسی شکل می‌گیرد. در بُعد «محیط زیستی - اکولوژیک»، شاخص‌های بازچرخانی و فیلتراسیون گیاهی به عنوان موتور محرک تصفیه بیولوژیک عمل می‌کنند. در بُعد «کالبدی - فضایی»، بهره‌گیری از شیب طبیعی منطقه (طراحی پلکانی) و مصالح بوم‌آورد، بستر کالبدی لازم را برای جریان ثقیل آب فراهم می‌سازد. در بُعد «ادراکی - روان‌شناختی»، طراحی با هدف کاهش استرس شهروندان و ارتقای تعلق خاطر به طبیعت (بدون هدررفت منابع) مدنظر قرار گرفته و در نهایت، بُعد «مدیریتی - سیاستگذاری» با ارائه دستورالعمل‌های نگهداری سازگار با اقلیم، پایداری این سیستم را تضمین می‌کند.

نتایج تحلیل عوامل داخلی و خارجی نشان داد امتیاز ماتریس ارزیابی عوامل داخلی (IFE) برابر با ۲/۶۳ و امتیاز ماتریس ارزیابی عوامل خارجی (EFE) برابر با ۲/۲۹ است که بیانگر قرارگیری محدوده مورد مطالعه در موقعیت راهبردی «رقابتی (ST)» است. این وضعیت نشان می‌دهد توانمندی‌های درونی پارک چمران قابلیت بهره‌برداری برای کاهش اثر تهدیدهای اقلیمی و بحران آب را دارند. نتایج ماتریس برنامه‌ریزی راهبردی کمی (QSPM) نشان داد راهبرد «توسعه منظر آب‌محور ثقیل با فیلتراسیون گیاهی» با امتیاز جذابیت کل (TAS) برابر با ۶/۲۸ در اولویت نخست قرار دارد؛ پس از آن راهبرد «مدیریت هوشمند سیلاب با زیرساخت‌های چندعملکردی» با امتیاز ۵/۰۹، «میکروکلیماسازی بیوفیلیک کاهنده تبخیر» با امتیاز ۴/۹۸ و «منظر مشارکت‌محور» با امتیاز ۴/۰۱ در رتبه‌های بعدی جای گرفته‌اند. بنابراین، راهبردهای عملیاتی استخراج‌شده از این مؤلفه‌ها (نظیر توسعه منظر آب‌محور ثقیل، میکروکلیماسازی کاهنده تبخیر، ایجاد منظر مشارکت‌محور و مدیریت هوشمند سیلاب) نشان می‌دهند منظر پلکانی پارک چمران پتانسیل تبدیل شدن به یک سیستم یکپارچه و خودکار را دارد. در این مدل، فرم کالبدی در خدمت عملکرد اکولوژیک قرار می‌گیرد و آب محدود به جای آنکه عنصری تزئینی و پرمصرف باشد، به عنوان شریان حیاتی در چرخه‌های تصفیه طبیعی و تاب‌آوری منظر عمل می‌کند.

به منظور امکان ارزیابی عینی میزان موفقیت راهبردهای پیشنهادی در شرایط واقعی، مجموعه‌ای از اهداف عملکردی کمی به عنوان شاخص‌های پایش در دو افق زمانی کوتاه‌مدت (۳ تا ۵ سال) و بلندمدت (۱۰ تا ۱۵ سال) پیشنهاد می‌شود. بر این اساس، انتظار می‌رود اجرای نظام منظر آب‌محور ثقیل و جایگزینی تدریجی گونه‌های پرمصرف با گونه‌های بومی کم‌آب‌بر، به کاهش حدود ۲۰ تا ۳۰ درصدی مصرف آب آبیاری در کوتاه‌مدت و دستیابی به کاهش حدود ۳۵ تا ۴۰ درصدی در افق بلندمدت منجر شود. همچنین، از طریق افزایش پوشش سایه‌انداز گیاهی، اصلاح هندسه آبیگرها و تقویت خرداقلیم‌های مرطوب، کاهش نرخ تبخیر سطوح آبی در محدوده ۱۰ تا ۱۵ درصد در کوتاه‌مدت و تا حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد در بلندمدت قابل تحقق است. در حوزه مدیریت رواناب و سیلاب، تبدیل سطوح سخت به بسترهای نفوذپذیر و ایجاد حوضچه‌های تأخیری می‌تواند ظرفیت نگهداشت و نفوذپذیری رواناب را حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد بهبود بخشد. این مقادیر به عنوان اهداف عملکردی پیشنهادی برای پایش دوره‌ای و ارزیابی تطبیقی عملکرد منظر بیوفیلیک در مدیریت بحران آب در نظر گرفته می‌شوند.

در راستای تحقق مدل مفهومی و دستیابی به اهداف پژوهش، سیاست‌های کلان زیر پیشنهاد می‌شود:

۱) راهبرد اول: توسعه منظر آب‌محور ثقیل با فیلتراسیون گیاهی (بُعد کالبدی - فضایی)

- سیاست ۱: ممنوعیت استفاده از پمپ‌های مکانیکی با مصرف انرژی بالا در طرح‌های توسعه پارک و الزام به طراحی شیب‌بندی‌ها بر اساس نیروی گرانش^۱.
- سیاست ۲: اختصاص الزامی حاشیه‌های جریان آب به حوضچه‌های گیاه‌پالایی^۲ با استفاده انحصاری از فلور بومی رودخانه کرج (مانند لویی و نی) جهت تغذیه و تصفیه سفره‌های زیرزمینی.
- سیاست ۳: تدوین دستورالعمل احداث بسترهای سنگی - صخره‌ای متخلخل در مسیر آبراه‌ها جهت افزایش اکسیژن‌رسانی طبیعی به آب و بهبود کیفیت تصفیه بیولوژیک.

(۲) راهبرد دوم: میکروکلیماسازی بیوفیلیک کاهنده تبخیر (بعد محیط زیستی - اکولوژیک)

- سیاست ۱: الزام طراحان به تأمین حداقل ۶۰ درصد پوشش سایه‌انداز تاج درختان (کنوپی) روی سطوح آب‌های روباز و مسیرهای آبنما از طریق کاشت متراکم گونه‌های پهن‌برگ بومی در حریم بلافاصله آن‌ها، به منظور کاهش تابش مستقیم خورشید و کاهش تبخیر سطحی آب. آستانه ۶۰ درصد پوشش سایه‌انداز بر اساس مطالعات طراحی خرداقلیم در فضاهای سبز شهری تعیین شده است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد ایجاد پوشش تاجی درختان در بازه ۵۰ تا ۷۰ درصد می‌تواند با کاهش تابش مستقیم خورشید، دمای سطحی و نرخ تبخیر از سطوح آبی را به طور معناداری کاهش دهد؛ از این رو مقدار ۶۰ درصد به عنوان یک آستانه میانی و قابل تحقق در طراحی منظر انتخاب شده است [۴۴].
- سیاست ۲: جایگزینی هندسه خطی و سطوح صاف بتنی با فرم‌های ارگانیک، صخره‌ای و ناهموار در لبه‌های آبگیرها جهت کاهش سرعت باد سطحی و تقلیل نرخ تبخیر.
- سیاست ۳: ممنوعیت استفاده از پوشش‌های گیاهی با نیاز آبی بالا در نواحی آفتاب‌گیر پارک و جایگزینی آن‌ها با گونه‌های مقاوم به خشکی و ایجاد خرداقلیم‌های مرطوب در سایه‌سارها.

(۳) راهبرد سوم: مدیریت هوشمند سیلاب با زیرساخت‌های چندعملکردی (بعد مدیریتی - سیاستگذاری)

- سیاست ۱: بازطراحی و تغییر کاربری کانال‌های بتنی و خطی هدایت آب موجود به سیستم یکپارچه حوضچه‌های پلکانی، نوارهای سیلاب‌پذیر و سطوح اسفنجی جهت کندسازی، ذخیره موقت و نفوذ رواناب‌ها و سیلاب‌های فصلی.
- سیاست ۲: پیاده‌سازی سیستم‌های پایش هوشمند (سنسورهای سطح‌سنج و هشداردهنده سیلاب) در مسیرهای متصل به رودخانه کرج برای مدیریت لحظه‌ای ظرفیت حوضچه‌های تأخیری.
- سیاست ۳: الزام به استفاده از کفسازی‌های کاملاً نفوذپذیر در شعاع ۵۰ متری حوضچه‌های جاذب، جهت هدایت حداکثری رواناب‌های سطحی به سیستم مدیریت سیلاب پارک.

(۴) راهبرد چهارم: ارتقای حس تعلق از طریق منظر مشارکت‌محور (بعد ادراکی - روان‌شناختی)

- سیاست ۱: طراحی و احداث «ایستگاه‌های درک منظر» (نواحی مکث با مبلمان بوم‌آورد) در نقاطی با بالاترین کیفیت اکوستیک (صدای ریزش آب) جهت کاهش استرس و ارتقای سلامت روان شهروندان.
- سیاست ۲: تأسیس «انجمن دوستداران پارک چمران» و واگذاری رسمی بخش‌هایی از امور کاشت، نگهداری گیاهان آبی و پاکسازی برکه‌ها به گروه‌های داوطلب مردمی.^۱
- سیاست ۳: اجرای برنامه‌های آموزش شهروندی در بستر پارک با نصب تابلوهای تفسیرگر تعاملی، با هدف آگاهی‌بخشی درباره ارزش اکولوژیک منظر و تبدیل شهروندان به حافظان فعال در برابر رفتارهای وندالیستی.

در انتها بر اساس مطالعات انجام‌شده، الزامات اجرایی کالبدی و گونه‌های گیاهی مناسب برای طراحی منظر بیوفیلیک آب‌محور (برکه‌ها، آبنما و آبشارهای مصنوعی) در جدول ۶ تدوین و خلاصه‌سازی شده است. بر این اساس، برای عملیاتی‌سازی مؤلفه‌های طراحی منظر بیوفیلیک، مجموعه‌ای از شاخص‌های ارزیابی عملکرد شامل «درصد سطح نفوذپذیر»، «میزان پوشش سایه‌انداز گیاهی»، «تنوع گونه‌ای گیاهان بومی»، «ظرفیت فیلتراسیون زیستی آب» و «نیاز آبی گونه‌های گیاهی» به عنوان معیارهای سنجش‌پذیر در فرایند طراحی و انتخاب پوشش گیاهی در نظر گرفته شد. این شاخص‌ها مبنای تدوین ضوابط اجرایی و انتخاب گونه‌های گیاهی در جدول ۶ قرار گرفته‌اند.

جدول ۶. ضوابط اجرایی منظر بیوفیلیک و تحلیل اکولوژیک گونه‌های گیاهی پیشنهادی

بُعد در مدل مفهومی	رویکرد بازطراحی بیوفیلیک	ضوابط اجرایی و کالبدی	نقش در کاهش گردوغبار	کارایی تصفیهٔ زیستی	ظرفیت جذب آلاینده‌ها	مقاومت اقلیمی	نیاز آبی	گونه‌های گیاهی پیشنهادی	گروه عملکردی
کالبدی-فضایی	توسعهٔ منظر آب‌محور ثقلی	استفاده از توپوگرافی و بستر صخره‌ای برای هدایت ثقلی جریان آب؛ اجرای دیوارهای خشکه‌چین نفوذپذیر، دیوارهای گابیونی؛ کاشت گونه‌های ریشه‌عمیق برای تثبیت شیب و کاهش فرسایش؛ ایجاد سایه جهت کاهش تبخیر	متوسط تا بالا	کم	جذب ذرات معلق و بهبود کیفیت هوا	بالا	کم تا متوسط	بید مجنون، چنار، زبان‌گنجشک، سیدالاشجار، سنجد، صنوبر،	گیاهان تثبیت‌کننده بستر و سایه‌انداز
محیط زیست-اکولوژیک	فیلتراسیون گیاهی و میکروکلیماسازی	احداث حوضچه‌های تصفیه بیولوژیک چندمرحله‌ای و سلول بیوریتشن؛ کاشت گیاهان در زون‌های عمقی مختلف؛ افزایش زمان ماند آب؛ ایجاد سایه طبیعی بر سطح آب برای کاهش تبخیر	ناچیز	بسیار بالا	جذب نیتрат، فسفات و برخی فلزات سنگین	متوسط	متوسط تا زیاد	نی، لویی، جگن، پونه اسبی، عدسک آبی، نیلوفر آبی، زنبق آبی، نخل مرداب، تیزک آبی، آلاله باتلاقی، لیزیماکیا	گیاهان آبی پالایشگر آب
مدیریتی-سیاستگذاری	زیرساخت‌های سبزچندعملکردی و مدیریت سیلاب	تبدیل کانال‌های خطی به حوضچه‌های تأخیری و نوارهای سیلاب‌پذیر؛ استفاده از مصالح متخلخل؛ استقرار پوشش گیاهی مقاوم به غرقاب موقت؛ پایش سطح آب	متوسط تا بالا	متوسط	تثبیت خاک و جذب املاح	بسیار بالا	کم تا متوسط	گز، بیدمشک، گرامینه‌های مقاوم، فرانکنیا	گونه‌های مقاوم به نوسانات رطوبتی (حاشیهٔ سیلابی)
ادراکی-روان‌شناختی	منظر مشارکت‌محور و تحریک حواس	کاشت متراکم در مسیر بادهای غالب برای تله‌اندازی ذرات گردوغبار؛ طراحی فضاهای مکث در مجاورت صدای آب؛ استفاده از مصالح بوم‌آورد و طبیعی؛ ایجاد دسترسی ایمن به حاشیه آب	بالا	کم	جذب ذرات معلق هوا	بالا تا بسیار بالا	کم	اسطوخودوس، رزماری، بومادران، گل‌حسرت، درمنه، تاغ، سنجد، سرو نقره‌ای، ارس خزنده	گیاهان معطر و کاهنده گردوغبار

منابع

1. Shaterzadeh A, Khatibi SMR, Elahi M. Developing quality-based promotion indicators for Maharlu Lake tourism based on the biophilic model; adapted to the city structure. *Culture of Tourism*. 2023;3(11):30-39. doi: 10.22034/toc.2023.367779.1097 [Persian]
2. Beatley T. *Biophilic cities: integrating nature into urban design and planning*. Washington, DC: Island Press; 2011. Available from: https://www.researchgate.net/publication/262090770_Biophilic_Cities_Integrating_Nature_into_Urban_Design_and_Planning_by_Timothy_Beatley
3. Xue F, Lau SS, Gou Z, Song Y, Jiang B. Incorporating biophilia into green building rating tools for promoting health and wellbeing. *Environ Impact Assess Rev*. 2019;76:98-112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.02.004>
4. Reeve AC, Desha C, Hargreaves D, Hargroves K. Biophilic urbanism: contributions to holistic urban greening for urban renewal. *Smart Sustain Built Environ*. 2015;4(2):215-233. doi: <https://doi.org/10.1108/SASBE-11-2014-0057>
5. Ata N, Didehban M. The element of water and the status of water in Iranian architecture. *Proceedings of the 1st International Conference on Natural Hazards and Environmental Crises of Iran, Solutions and Challenges*; 2016; Ardabil, Iran. Available from: <https://civilica.com/doc/549318> [Persian]
6. Adibi AA, Monam A, Ghazizadeh SN. The role of water and fountains in urban parks. *Honar-ha-ye Ziba*. 2005;22:73-82. Available from: https://journals.ut.ac.ir/article_10740.html [Persian]
7. Astani S, Hazratzadeh A. Investigating the diversity of aquatic plants in Iran and their distribution in the country. *Proceedings of the National Conference on Biodiversity Conservation and Indigenous Knowledge*; 2010; Kerman, Iran. Available from: <https://civilica.com/doc/103141> [Persian]
8. Pedersen Zari M. Understanding and designing nature experiences in cities: A framework for biophilic urbanism. *Cities Health*. 2023;7(2):201-212. doi: <https://doi.org/10.1080/23748834.2019.1695511>
9. Ziari K, Pourahmad A, Fotouhi Mehrabani B, Hosseini A. Environmental sustainability in cities by biophilic city approach: a case study of Tehran. *Int J Urban Sci*. 2018;22(4):486-516. doi: <https://doi.org/10.1080/12265934.2018.1425153>
10. Lefosse D, van Timmeren A, Ratti C. Biophilia upscaling: a systematic literature review based on a three-metric approach. *Sustainability*. 2023;15(22):15702. doi: <https://doi.org/10.3390/su152215702>
11. Samalavičius A. Biophilic architecture: possibilities and grinders. *Logos (Lithuania)*. 2020;105:109-118. doi: <https://doi.org/10.24101/LOGOS.2020.79>
12. Browning W, Ryan C, Clancy J. 14 patterns of biophilic design. New York: Terrapin Bright Green, LLC; 2014. p. 1-60.
13. Ode Å, Tveit M, Fry G. Capturing landscape visual character using indicators: touching base with landscape aesthetic theory. *Landsc Res*. 2008;33(1):89-117. doi: <https://doi.org/10.1080/01426390701773854>
14. Totaforti S. Emerging biophilic urbanism: the value of the human–nature relationship in the urban space. *Sustainability*. 2020;12(13):5487. doi: <https://doi.org/10.3390/su12135487>
15. Beatley T, Newman P. Biophilic cities are sustainable, resilient cities. In: *Sustainable cities: urban planning challenges and policy*. Boca Raton: CRC Press; 2016. p. 3-28. doi: <https://doi.org/10.1201/b19796-3>
16. Arof KZM, Ismail S, Najib NH, Amat RC, Ahmad NHB. Exploring opportunities of adopting biophilic cities concept into mixed-use development project in Malaysia. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol 409. Bristol: IOP Publishing; 2020. p. 012054. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/409/1/012054>
17. Milliken S, Kotzen B, Walimbe S, Coutts C, Beatley T. Biophilic cities and health. *Cities Health*. 2023;7(2):175-188. doi: <https://doi.org/10.1080/23748834.2023.2176200>

18. Panlasigui S, Spotswood E, Beller E, Grossinger R. Biophilia beyond the building: applying the tools of urban biodiversity planning to create biophilic cities. *Sustainability*. 2021;13(5):2450. doi: <https://doi.org/10.3390/su13052450>
19. Salinger NA. The biophilic healing index predicts effects of the built environment on our wellbeing. *Biourbanism*. 2019;8(1):13-34.
20. Wolfs ELM. Biophilic design and bio-collaboration: applications and implications in the field of industrial design. *Arch Des Res*. 2015;113(1):71-89.
21. Marte E, Calumpit A, de Sá Bessa B, Toledo A, Fadda R, Skoler T. Testing reliability of biophilic design matrix within urban residential playrooms. *Front Psychol*. 2020;11:570099. doi: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.570099>
22. Kellert S. The theory of biophilic design. In: Kellert SR, Heerwagen J, Mador M, editors. *Biophilic design: the theory, science and practice of bringing buildings to life*. Hoboken: John Wiley & Sons; 2008. p. 1-20.
23. Kellert SR. *Nature by design: the practice of biophilic design*. New York: W. W. Norton & Company; 2018. p. 1-214.
24. Thomson G, Newman P. Green infrastructure and biophilic urbanism as tools for integrating resource efficient and ecological cities. *Urban Plan*. 2021;6(1):75-88. doi: <https://doi.org/10.17645/up.v6i1.3633>
25. Badamchizadeh P, Pourmohammadi MR, Oskouee Aras A. Exploring urban biophilic research: an in-depth analysis into the structure and content from global and local perspectives. *Geographical Urban Planning Research Quarterly*. 2024;12(4):135-155. doi: <https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2025.382769.1994> [Persian]
26. Movadat E, Valipour M. Review and design the biophilic city inspired by the urban river (case study of the city of Dezful). *Journal of Geography and Environmental Studies*. 2020;9(34):23-42. Available from: <https://sanad.iau.ir/Journal/ges/Article/978933/FullText> [Persian]
27. Tardast Z, Meshkini A, Rajabi A. Explain the strategic planning model of biophilic tourism case study: Tehran metropolis. *Urban Tourism*. 2021;8(2):65-79. doi: <https://doi.org/10.22059/jut.2021.299414.782> [Persian]
28. Ebrahimpour M. Biophilic planning: a new approach in achieving viability in new towns of Iran (a case study of Hashtgerd new town). *Environmental Studies Quarterly*. 2020;13(50):39-59. [Persian]
29. Shokrani M, Nooraie H. Analysis and ranking of fifteen regions of Isfahan metropolis based on biophilic urban planning approach using Swara method. *Human Geography Research*. 2022;54(3):1107-1124. doi: <https://doi.org/10.22059/jhgr.2021.320908.1008275> [Persian]
30. Tabrizi N, Jafarpishe M. Biophilic approach in urban tourism (case study: Isfahan city). *Journal of Tourism Planning and Development*. 2022;11(41):123-147. doi: <https://doi.org/10.22080/jtpd.2022.23285.3673> [Persian]
31. Tarek S, Ouf ASE D. Biophilic smart cities: the role of nature and technology in enhancing urban resilience. *J Eng Appl Sci*. 2021;68:1-22. doi: <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00042-8>
32. Radha CH. Biophilic design approach for improving human health in the built environment. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*. 2022;13(9):1-12. doi: <https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2022.188>
33. Pirasteh A, Babakhani M, Yazdanpanah Shahabadi MR. Strategic planning of biophilic tourism (case study: Chamran Boulevard, Karaj). *Tourism and Leisure*. 2025;10(20):41-69. doi:10.22133/tlj.2025.464242.1187. [Persian]
34. Alborz Province Meteorological Department. Comparative statistics of meteorological stations in Alborz Province, year 1403. Karaj: Iran Meteorological Organization; 2025. [Persian]
35. Salajegheh A, Sanjari M. Hydrological report of the Karaj comprehensive urban plan. Tehran: Office of Planning and Research Supervision, University of Tehran; Parks and Green Space Organization of Karaj Municipality; 2012. Available from: <https://park.karaj.ir/portal/home/> [Persian]
36. Zarghami, F, Jozi, S A, Zaeimdar, M and Hejazi, R. Assessment of Social and Structural Vulnerability of Human Settlements Exposed to Flood Risk Case Study: A Six-Kilometer River

- Reach between Amir Kabir Dam and Karaj City. Urban Economics and Planning, 6(2), 52-69. 2025; doi: 10.22034/uep.2025.510211.1607 [Persian]
37. Feghihi J, Kabir A, Azad Z, Rajabi R, Jalilian MA, Soltani S, et al. Base maps and analysis of green spaces in Karaj city. Tehran: Office of Planning and Research Supervision, University of Tehran; Parks and Green Space Organization of Karaj Municipality; 2013. Available from: <https://park.karaj.ir/portal/home/> [Persian]
38. Naderi R, Etemad V, Azarnivand H, Arzani H, Moeini M, Taheri Sorkhsheni F, et al. Vegetation survey of green spaces in Karaj city. Tehran: Office of Planning and Research Supervision, University of Tehran; Parks and Green Space Organization of Karaj Municipality; 2014. Available from: <https://park.karaj.ir/portal/home/> [Persian]
39. Landscape Performance Series. Sydney Park Water Re-use Project. [Internet]. 2016; Available from: <https://www.landscapeperformance.org/case-study-briefs/sydney-park>
40. Allahrabbi Shirazi MA, Yousefi H, Fathi A, Baneshi M. Urban water sustainability through energy-free fog water harvesting: a review of fog-collecting systems. Urban Development Policy Making. 2027;3(1):69-94. doi:10.22034/judpm.2025.558718.1073. [Persian]
41. Moaven M, Allahrabbi Shirazi MA, Ghodusinejad MH. Systematic analysis of the impact of life cycle assessment of materials on urban heat island mitigation: a path toward sustainable urban policy using the PRISMA method. Urban Development Policy Making. 2025;2(1):95-110. doi:10.22034/judpm.2025.512352.1019. [Persian]
42. Allahrabbi Shirazi MA. Idea generation and examination of environmental challenges of floating solar photovoltaic power plants on wetlands and its economic advantage for local communities. Journal of Sustainable Energy Systems. 2024;3(1):39-51. doi:10.22059/ses.2024.377595.1070. [Persian]
43. Allahrabbi Shirazi MA, Goldoust A, Khatami M, Abedi E, Janfeshan MH. Modeling and simulation of a solar tracker with bifacial panel: a case study of Tehran city. Journal of Sustainable Energy Systems. 2024;3(3):271-287. doi:10.22059/ses.2024.379035.1078. [Persian]
44. Brown RD, Gillespie TJ. Microclimatic landscape design: creating thermal comfort and energy efficiency. New York: John Wiley & Sons; 1995; 17(2): 225-226. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199702\)17:2%3C225::AID-JOC102%3E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199702)17:2%3C225::AID-JOC102%3E3.0.CO;2-4)