Hakim Sabzevari University

Arid Regions Geographic Studies

Homepage: jargs.hsu.ac.ir

P- ISSN: 2228-7167
E- ISSN: 2981-1910

Analysis of the factors affecting the ecological resilience of groundcover plants and Seasonal flowers in urban green spaces of arid and desert regions (case study: Zahedan)

Behrooz Naroei[1]✉ | Yasser Moarrab[2]

1. Corresponding Author, Department of Landscape Engineering, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. behrooz.naroei@gep.usb.ac.ir

2. Department of safety, Faculty of Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran. yassermoarab@ihu.ac.ir

Article Information

Research Paper

Vol: 17
No: 64
P: 150-175
Received: 2025-10-31
Revised: 2025-12-15
Accepted: 2025-12-16
Published: 2026-08-01

Keywords:

- *Urban green space*
- *Ecological resilience*
- *Ground Cover plants and seasonal Flowers*
- *Arid regions*

Cite this Article:

Naroei, Behrooz & Moarrab, Yasser. (2026). Analysis of the factors affecting the ecological resilience of groundcover plants and Seasonal flowers in urban green spaces of arid and desert regions (case study: Zahedan). *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 17*(64): 150-175*.

Publisher: Hakim Sabzevari University

The Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

10.22034/jargs.2025.556535.1239

Abstract

Aim: This study aimed to (1) identify the main criteria and sub-criteria influencing the ecological resilience of plant species used in green spaces of arid and hot regions, and (2) prioritize their importance in selecting resilient planting patterns composed of common ground cover and seasonal plants suitable for the development of sustainable urban green spaces in Zahedan.

Materials & Methods: The research followed a descriptive–analytical and applied approach. In the first stage, criteria and sub-criteria affecting plant ecological resilience were identified through documentary and library studies. Then, using expert opinions from specialists in urban green space and horticulture, the Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied to determine the relative weight of 5 criteria and 21 sub-criteria. Finally, the TOPSIS model was used to rank existing and potential of 45 ground cover and seasonal plant species based on their ecological resilience levels according to expert evaluations.

Findings: The findings revealed that adaptability to irrigation water conditions (0.365), Soil of the area (0.276), climate (0.179), ecological conditions (0.118), and urban pollution (0.062) are the most influential factors in determining plant resilience in Zahedan's green spaces. Among the sub-criteria, plant resistance to water shortage, soil salinity, evapotranspiration stress, and exposure to pollutants were identified as key determinants of ecological resilience.

Conclusion: Based on the ranking results, Mesembryanthemum nodiflorum, Frankenia thymifolia, Cortaderia selloana, and Rosmarinus officinalis, with closeness coefficients of 1, 0.77, 0.69, and 0.63 respectively, were identified as the most resilient groundcover plants. Also Canna indica, Gazania rigens, Helianthus debilis, and Gaillardia with closeness coefficients of 0.82, 0.80, 0.77, and 0.75, were found the highest resilience seasonal flowers in Zahedan's green spaces.

Innovation: The main innovation of the study is the development of a method to assist urban green space experts in hot and arid regions in selecting resilient plant species.

Extended Abstract

1. Introduction

Today, the development of sustainable green spaces in cities located in hot-arid regions is not achievable without careful consideration of plant species selection that are well-adapted and resilient to prevailing environmental conditions. The ecosystem benefits and services provided by urban green spaces play a vital role in enhancing the livability and environmental quality of urban areas. Groundcover and seasonal plant species with high diversity, constitute an important component of the vegetation used in urban green spaces. Utilizing resilient groundcover and seasonal flowering plants in urban landscape design is of great importance due to their role in elevating visual aesthetics, controlling surface runoff and preventing soil erosion, increasing ground permeability, moderating temperature, and improving the urban microclimate. Considering the severe limitation of water resources in arid urban regions and high vulnerability of these local ecosystems to environmental stresses and changes such as climate change, prolonged drought, and existing pollution, the selection of such plants requires a scientific and comprehensive approach based on ecological resilience criteria. The concept of ecological resilience refers to the capacity of an ecosystem to recover its structure, processes, and essential functions when exposed to environmental stresses and disturbances. In urban areas, the ecological resilience of plants can be evaluated in relation to various criteria such as adaptability to temperature fluctuations, water salinity, soil moisture, urban pollution, and resistance to flooding and drought. Therefore, assessing and ranking resilient groundcover and seasonal plant species is essential to achieve sustainable landscape management.

2. Materials and Methods

The methodology employed in this study is descriptive–analytical. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied to determine the weights of the criteria and sub-criteria influencing the ecological resilience of plants. To collect necessary data and prioritize the plant species, pairwise comparisons of indicators and components were conducted with the participation of 15 experts and academic staff specializing in landscape design and horticulture. The data analysis was performed using the Expert Choice software.

At the next step, the evaluation of groundcover and seasonal plants was carried out based on the defined indicators. For this purpose, the TOPSIS technique was employed to prioritize the species and propose a resilient planting pattern. It should be mentioned that the scores assigned to each groundcover and seasonal species were designed according to the Likert scale and determined by experts in the field (landscape design and horticulture). The expressions very high, high, moderate, low, and very low were used (with a score of 1 assigned to very low and a score of 5 to very high) to assess the target species. TOPSIS Solver software was used to analyze these data.

3. Results and Discussion

Based on the analysis of opinions of 15 experts and professionals in the fields of maintenance, planning, and development of urban green spaces, water (0.365), soil (0.276), climate (0.179), ecological conditions (0.118), and urban pollution level (0.062) were identified respectively as the most influential factors affecting the ecological resilience of groundcover and seasonal plants in Zahedan. Furthermore, the final weights of the 21 sub-criteria related to the elements of water, soil characteristics, climatic conditions, ecological factors, and urban pollution demonstrate that plant resistance to water deficiency (final weight = 0.169), soil salinity (0.118), evapotranspiration conditions (0.087), adverse environmental factors such as weeds and invasive species (0.070), and water pollution (0.022) are the most significant sub-criteria influencing the resilience of groundcover and seasonal plants under the environmental conditions of Zahedan. Moreover, certain groundcover species such as Mesembryanthemum nodiflorum, Frankenia thymifolia, Cortaderia selloana, and Rosmarinus officinalis, as well as seasonal species including Canna indica (spring and summer), Gazania rigens (perennial), Helianthus debilis (spring and summer), and Gaillardia (spring and summer) obtained the highest rankings in terms of ecological resilience according to the experts' assessments. These species can therefore be recommended for extensive use in urban green spaces.

4. Conclusions

In arid and desert climates, the establishment of resilient green structures in urban areas depends on the selection of plant species that are resistant and adaptable to environmental stresses. The selection of resilient plants, from an ecological perspective and in terms of their role within urban natural ecosystems, enables the balance of environmental disturbances and the continued provision of ecosystem services. Therefore, neglecting the concept of plant resilience in the development of green infrastructure can reduce efficiency and hinder the achievement of urban sustainability goals. The ranking of the resilience of groundcover and seasonal plant species based on the results of this study can serve as a foundation to design sustainable planting schemes in urban landscapes in arid and desert regions with environmental conditions similar to those of Zahedan. It is important to note that, in addition to native species, the introduction of new, recommended resilient and compatible species should also be considered in the environmental context of urban areas in dry regions. This approach can enhance plant biodiversity in urban green infrastructure, improve the flexibility of natural ecosystems, and strengthen urban ecosystem services. In this regard, urban green space experts must select appropriate species from the proposed list by considering site priorities, conditions, and resources, as well as the ecological, economic, and aesthetic characteristics of the plants. In order to determine plant life requirements, environmental conditions, and growth-limiting factors other experts such as urban landscape designers and planners should consulted to achieve this goal.

5. Acknowledgment & Funding

- Authors are thankful to all interview participants for supporting this research.
- The manuscript did not receive a grant from any organization

6. Conflict of Interest

- The authors declare no conflict of interest.

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دانشگاه حکیم سبزواری

تحلیل عوامل مؤثر بر تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان پوششی و گل‌های فصلی در فضاهای سبز شهری مناطق خشک و بیابانی (مطالعه موردی: شهر زاهدان)

بهروز ناروئی[1]✉، یاسر معرب[2]

۱- نویسنده مسئول، گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. behrooz.naroei@gep.usb.ac.ir

۲- گروه ایمنی، بهداشت و محیط زیست، دانشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. yassermoarab@ihu.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره: ۱۷

دوره: ۶۴

صفحه: ۱۷۵-۱۵۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۹

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۵/۱۰

کلیدواژه‌ها:

- *فضای سبز شهری*
- *تاب‌آوری بوم‌شناختی*
- *گیاهان پوششی و گل‌های فصلی*
- *مناطق خشک*

نحوه ارجاع به این مقاله:

ناروئی، بهروز و معرب، یاسر. (۱۴۰۵). تحلیل عوامل مؤثر بر تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان پوششی و گل‌های فصلی در فضاهای سبز شهری مناطق خشک و بیابانی (مطالعه موردی: شهر زاهدان). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۷(۶۴): ۱۵۰-۱۷۵.

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری

نویسندگان حق نشر و حقوق کامل انتشار را حفظ می‌کنند.

10.22034/jargs.2025.556535.1239

چکیده

هدف: پژوهش حاضر با رویکرد: (۱) شناسایی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در زمینه تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان در فضاهای سبز مناطق گرم و خشک و (۲) اولویت‌بندی اهمیت این معیارها و زیرمعیارها در گزینش الگوهای کاشت تاب‌آور از گیاهان پوششی و گل‌های فصلی پرکاربرد در توسعه فضاهای سبز شهری زاهدان انجام شده است.

روش و داده: این پژوهش به روش توصیفی- تحلیلی صورت پذیرفته و با توجه به هدف، از نوع پژوهش‌های کاربردی است. در ابتدا به شیوه اسنادی – کتابخانه‌ای، معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان در فضاهای سبز مناطق گرم و خشک تعیین شدند. در مرحله بعد با بهره‌گیری از قضاوت کارشناسانه (صاحب‌نظران حوزه فضای سبز و باغبانی شهری) و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، وزن ۵ معیار و ۲۱ زیرمعیار در ارتباط با تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان در فضاهای سبز شهری زاهدان تعیین گردید. سپس با استفاده از مدل TOPSIS، رتبه‌بندی از میزان تاب‌آوری ۴۵ گونه از گیاهان پوششی و گل‌های فصلی (موجود و پیشنهادی) بر مبنای نظرات متخصصان انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج پژوهش نشان می‌دهد که بر حسب رتبه، معیار سازگاری به شرایط آب آبیاری (۰/۳۶۵)، خاک منطقه (۰/۲۷۶)، اقلیم (۰/۱۷۹)، شرایط بوم‌شناختی (۰/۱۱۸) و سطح آلودگی شهری (۰/۰۶۲)، به ترتیب از مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار بر تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان در فضاهای سبز شهری زاهدان هستند. همچنین زیرمعیارهایی چون مقاومت گیاهان به کمبود آب، شوری خاک، شرایط تبخیر و تعرق، عوامل نامساعد محیطی و آلودگی آب بر حسب اولویت، نقش به‌سزایی را در میزان تاب‌آوری گیاهان پوششی و فصلی در این منطقه ایفا می‌کنند.

نتیجه‌گیری: بر اساس رتبه‌بندی صورت گرفته از گیاهان مورد بررسی، گیاهان پوششی چون گل نیمروزی، چمن فرانکینیا، پامپاس گراس و رزماری با اختصاص ضریب نزدیکی ۱، ۰/۷۷، ۰/۶۹ و ۰/۶۳، و گل‌های فصلی چون گل اختر، گازانیا، آفتابگردان زینتی و رعنازیبا با اختصاص ضریب نزدیکی ۰/۸۲، ۰/۸۰، ۰/۷۷ و ۰/۷۵ به عنوان تاب‌آورترین گونه‌های گیاهی در فضای سبز شهری زاهدان ارزیابی شده‌اند.

نوآوری، کاربرد نتایج: از مهم‌ترین جنبه‌های نوآورانه و کاربردی تحقیق می‌توان به ارائه روشی مدون جهت کمک به متخصصان حوزه فضای سبز شهری در مناطق گرم و خشک برای انتخاب گیاهان تاب‌آور نسبت به شرایط محیطی هر منطقه اشاره نمود.

۱- مقدمه

گسترش کالبدی شهرها به عنوان یکی از مهم‌ترین فرآیندهای توسعه‌ای قرن حاضر در سراسر جهان به شمار می‌رود (Aburas et al., 2018). در حال حاضر حدود ۰/۵۵ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند و بر اساس پیش‌بینی سازمان ملل متحد تا سال ۲۰۵۰ این رقم به بیش از ۷۰ درصد افزایش می‌یابد (Priya and Senthil, 2024). در ایران نیز بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، میزان ۷۴ درصد از کل جمعیت در نقاط شهری سکونت داشته‌اند (Statistical Center of Iran, 2016)، و طبق پیش‌بینی‌های به عمل آمده این رقم در کشور در سال ۱۴۳۵ به حدود ۸۲/۵ درصد خواهد رسید (Fathi, 2020). مسلماً در چنین وضعیتی حفظ و توسعه فضاهای سبز در شهرها، نقش حیاتی در سکونت‌پذیری و ارتقاء رفاه و سلامت شهروندان ایفا می‌کند. فضاهای سبز به تمام فضاهای بازی گفته می‌شود که عمدتاً توسط گیاهان مختلف (از جمله درختان، درختچه‌ها، گیاهان پوششی و فصلی) پوشیده شده‌اند و انسان‌ها به طور مستقیم یا غیر مستقیم از مزایا و خدمات بوم‌سازگان آن‌ها بهره‌مند می‌شوند (Si et al., 2024). این خدمات توسط فضاهای سبز در سه بعد بوم‌شناختی (از جمله کاهش دما، تولید اکسیژن، جذب کربن، کنترل رواناب و فرسایش خاک، تقلیل آلودگی هوا، احیاء زیستگاه‌های طبیعی و بهبود تنوع زیستی)، اقتصادی (در ارتباط با ارزش مالی دارائی‌ها و کاهش هزینه‌های مربوط به تعدیل دمای محیط) و اجتماعی (ارزش‌های تفریحی و زیبایی‌شناختی، بهبود سلامت جسمانی و روانی افراد جامعه) قابل ارائه هستند (Zhang & Qian, 2024). به موجب این مزیت‌ها، افزایش سرانه فضاهای سبز تاب‌آور و پایدار در شهرهای در حال توسعه در ایران امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود (Ghafarimoghadam et al., 2021). تغییرات اقلیمی، افزایش دما و خشکسالی‌های ناشی از آن در دهه‌های اخیر سبب شده تا در غالب نقاط شهری کشور مشکلاتی چون بحران کمبود آب، شوری منابع آب، شوری خاک (Mansouri Daneshvar et al., 2019) ، میزان بالای تبخیر و تعرق (Jamali et al., 2021) و پدیده طوفان و ریزگردها (Rashki et al., 2021) ، مانع از ایجاد و توسعه فضاهای سبز پایدار گردد. علاوه بر آن وجود آلودگی‌های محیطی نیز در نتیجه فعالیت‌های انسانی مانند آلودگی آب (Ghazavi & Arast, 2016)، خاک (Yaghoubi et al., 2022) و هوا (Ali Ahmad Karuri et al., 2011) و عدم مبارزه و کنترل به موقع با آفات و بیماری‌های گیاهان در فضاهای شهری (Kassiri et al., 2020; Sjöman et al., 2024) موجب شده تا نگهداری و حفاظت از فضاهای سبز شهری امری دشوار و هزینه‌بر باشد. در چنین شرایطی طراحان و برنامه‌ریزان توسعه فضاهای سبز شهری، نیازمند شناخت و به کارگیری گیاهان سازگار و تاب‌آور نسبت به شرایط محیطی شهرها هستند تا بتوانند با بهره‌گیری الگوی کاشت مناسب از گیاهان در اشکال مختلف سبز شهری، پایداری آن‌ها را ارتقاء بخشند.

گیاهان پوششی و فصلی با تنوع گونه‌ای بسیار زیاد، جزو مهمی از گیاهان مورد کاربرد در فضای سبز شهری هستند. گیاهان پوشـشی[1] به گونه‌های گیاهی گفته می‌شود که غالباً تند رشد بوده و به بیشینه ارتفاعی در حدود یک متر خواهند رسید. گیاهان پوششی در ایجاد و توسعه سطوح سبز شهری کاربرد گسترده‌ای دارند و عادت رشدی آن‌ها غالباً به اشکال خزنده[2]، رونده[3]، درهم فرورفته[4]، خوابیده با ساقه‌های نیمه افراشته[5] یا توده‌ای[6] است. در تقسیم‌بندی‌های جدید می‌توان درختچه‌های کوتاه‌رشد[7] و چندساله را نیز در صورتی که سطحی از زمین را پوشش دهند، جزو گیاهان پوششی محسوب نمود. در طراحی منظر بیشترین تأکید بر روی گیاهان پوششی، مربوط به برگساره آن‌ها است. این در حالی است که برخی از گیاهان پوششی، زیبایی دائمی یا فصلی از گل‌ها را نیز به فضاهای سبز می‌افزایند و این موضوع پتانسیل زینتی آن‌ها را دوچندان می‌کند (Shooshtarian & Tehrani Far, 2011). گل‌های فصلی[8] نیز در فضاهای سبز به دو گروه گیاهان یک‌ساله[9] و چندساله یا دائمی[10] تقسیم می‌شوند. گیاهان یک‌ساله دوره زندگی خود را از جوانه زدن بذر تا تولید مجدد بذر طی یک سال به اتمام می‌رسانند. این گیاهان در دو گروه گل‌های یکساله حساس به سرما (بهاره و تابستانه) و گل‌های یک‌ساله مقاوم به سرما (پاییزه و زمستانه) طبقه‌بندی می‌گردند. گل‌های چندساله به نسبت مقاوم‌تر از گیاهان یک‌ساله‌اند و شامل کلیه گیاهان علفی گل‌دار و حتی برخی از گیاهان زینتی چوبی نیز هست

1. Ground cover plants
2. Creeping
3. Trailing
4. Sprawling
5. Decumbent
6. Clumping
7. Sub shrub
8. Seasonal flowers
9. Annual plants
10. Herbaceous perennials

(Ghasemi Gehsare & Kafi, 2011). کاربرد گیاهان پوششی و گل‌های فصلی تاب‌آور در طراحی کاشت فضاهای سبز شهری، به دلایلی چون ایجاد زیبایی بصری، کنترل رواناب سطحی و جلوگیری از فرسایش خاک، افزایش نفوذپذیری سطح زمین، تعدیل دما و بهبود میکروکلیمای شهری اهمیت می‌یابد (Schlautman et al., 2021). انتخاب و گزینش این گیاهان در فضاهای سبز شهری مناطق خشک، با توجه به محدودیت شدید منابع آب و آسیب‌پذیری[1] بالای اکوسیستم‌های این مناطق در برابر فشارها و تغییرات محیطی (مانند تغییرات اقلیمی، تداوم خشکسالی و آلودگی‌های موجود)، نیازمند به کارگیری رویکردی علمی و جامع مبتنی بر معیارهای تاب‌آوری بوم‌شناختی[2] است. مفهوم تاب‌آوری بوم‌شناختی بیانگر ظرفیت یک اکوسیستم برای بازیابی ساختار، فرایندها و عملکردهای اساسی آن در مواجهه با تنش‌ها و اختلالات محیطی موجود است (Holling, 1973; Folke et al., 2004; Chambers et al., 2019). در مناطق شهری، تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان در ارتباط با معیارهای مختلفی از جمله سازگاری به تغییرات دما، شوری آب، رطوبت خاک، آلودگی شهری و همچنین مقاومت در برابر سیل و خشکسالی قابل بررسی و سنجش است (Hunter 2011; Darabi et al., 2023). از این رو ارزیابی و رتبه‌بندی از گونه‌های گیاهی پوششی و فصلی تاب‌آور جهت کاربرد در فضاهای سبز شهری امری ضروری به نظر می‌رسد.

اطلاع از وضعیت تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان در فضاهای سبز مناطق خشک و بیابانی، یکی از داده‌های مهم و اولیه جهت برنامه‌ریزی و توسعه مناظر سبز شهری است. شهر زاهدان به عنوان مرکز استان سیستان و بلوچستان و یکی از کلان‌شهرهای واقع در اقلیم فوق‌العاده خشک و بیابانی ایران، با ویژگی‌هایی محیطی نظیر میانگین بارندگی کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در سال، تبخیر و تعرق سالانه بسیار بالا، گرمای شدید در تابستان، وزش بادهای ۱۲۰ روزه، شرایط نامناسب خاک (خاک‌های شور و شنی) و بروز مکرر ریزگردها شناخته می‌شود (Mansouri Daneshvar et al., 2019). این شرایط سبب شده تا ایجاد و نگهداری فضاهای سبز پایدار در این شهر امری دشوار و پرهزینه باشد. در این خصوص پژوهش حاضر بر آن است تا با بررسی و رتبه‌بندی معیارها و زیرمعیارهای تاب‌آوری بوم‌شناختی از دیدگاه کارشناسان فضای سبز و باغبانی شهری در شرایط محیطی شهر زاهدان بتواند راهگشای انتخاب گونه‌های سازگار از گیاهان پوششی و فصلی مناسب، جهت کاربرد در فضای سبز شهری باشد؛ بنابراین مهم‌ترین سؤالاتی که می‌بایست در این تحقیق به آن‌ها پاسخ داده شوند عبارت‌اند از این‌که: کدام معیارها و زیرمعیارهای تعیین‌کننده تاب‌آوری بوم‌شناختی در انتخاب گیاهان در فضاهای سبز شهری زاهدان اهمیت می‌یابند؟ بر اساس مفهوم تاب‌آوری بوم‌شناختی، کدام گونه‌های گیاهان پوششی و گل‌های فصلی، رتبه بالاتری را به لحاظ مقاومت و سازگاری بیشتر نسبت به شرایط محیطی شهر زاهدان کسب می‌کنند؟

اصطلاح تاب‌آوری[3] برای نخستین بار در دهه ۱۹۷۰ میلادی توسط هولینگ (Holling, 1973)، برای مطالعه سیستم‌های بوم‌شناختی مطرح شد (Narooei et al., 2020). اساساً به ظرفیت سازگاری و حفظ ساختار و عملکرد یک سامانه در مواجهه با آشفتگی‌ها و تغییرات ناشی از تأثیرات طبیعی یا فعالیت‌های انسانی، تاب‌آوری گفته می‌شود (Wang and Pan, 2024). تاب‌آوری بوم‌شناختی شهری[4]، یک راه‌حل مؤثر برای بهبود زیست‌پذیری شهرها در مقابله با بلایای طبیعی، تغییرات اقلیمی و فشارهای انسانی است (Shi et al., 2022; Zhang et al., 2023). بدون تردید نقش توسعه زیرساخت‌های سبز[5] (شامل پارک‌ها و باغ‌ها، درختان خیابانی، بام‌های سبز، دیوارها و نماهای سبز) و همچنین افزایش میزان انعطاف‌پذیری[6] گونه‌های گیاهی تشکیل‌دهنده آن‌ها در ارتقاء تاب‌آوری بوم‌شناختی شهری غیر قابل انکار بوده و توسط مطالعات و پژوهش‌های متعددی قابل تأیید است (Hunter, 2011; Asgarzadeh et al., 2014; Conway and Vander Vecht, 2015; Farrell et al., 2022; Priya and Senthil, 2024). در واقع ویژگی انعطاف‌پذیری در گیاهان در ارتباط با واکنش سریع آن‌ها به تغییرات محیطی قابل بررسی است. به عنوان مثال گیاهان با تغییر در صفات ظاهری خودشان در شرایط محیطی نامساعد (Bongers et al., 2017)، یا با بستن روزنه‌های برگ خودشان در دماهای بالا و شرایط خشکی (Seleiman et al., 2021; Yang et al., 2023) به علت کاهش هدررفت آب از طریق فرایند تعرق و همچنین با گسترش شبکه ریشه‌ای در خاک جهت دسترسی بیشتر به منابع آب و مواد غذایی موجود (Zheng et al., 2023; Haghpanah et al., 2024) می توانند نسبت به تغییرات محیطی انعطاف‌پذیر باشند. بر این اساس به کارگیری گونه‌های گیاهی با انعطاف‌پذیری بالا در ایجاد و توسعه فضاهای سبز تاب‌آور در شهرها اهمیت می‌یابد. از سویی دیگر

1. Fragility
2. Ecological resilience
3. Resilience
4. Urban ecological resilience
5. Green infrastructure
6. Plasticity

افزایش تنوع گیاهان مورد استفاده در طرح‌های کاشت مناظر شهری به دلیل تعدد فراوانی عملکرد گونه‌ها و کثرت واکنش آن‌ها نسبت به تغییرات محیطی، می‌تواند سبب ارتقاء تاب‌آوری بوم‌شناختی شهری شود (Darabi et al., 2021).

به لحاظ بوم‌شناختی می‌بایست دو گروه از محدودیت ها در شرایط محیطی مناطق شهری گرم و خشک برای انتخاب گیاهان مناسب و تاب‌آور در فضاهای سبز مورد توجه قرار گیرند؛ گروه اول شامل محدودیت‌های ناشی از عوامل غیر زنده (مانند پارامترهای اقلیمی، آب، خاک و آلودگی‌ها) هستند و گروه دوم محدودیت‌های مرتبط با عوامل زنده (مانند آفات، بیماری‌های گیاهی، علف‌های هرز و گونه‌های مهاجم) هستند (Farrell et al., 2022; Darabi et al., 2023). نتایج مطالعات متعددی نشان داده‌اند که انتخاب و به‌کارگیری گونه‌های گیاهی بومی هر منطقه و همچنین معرفی گونه‌های جدید مقاوم و غیرمهاجم در زیرساخت‌های سبز مناطق شهری گرم و خشک، می‌تواند نقش مهمی در ارتقای عملکردهای بوم‌شناختی و خدمات اکوسیستمی آن‌ها ایفا کند (Zadegan et al., 2008; Hunter 2011; Liu et al., 2017; Rihn et al., 2022; Darabi et al., 2023; Hardberger et al., 2025)، اگرچه که این امر در شکل مطلوب، نیازمند به کارگیری دانش طراحان و متولیان امر در ارائه طرح‌های کاشت مناسب از گیاهان در فضاهای سبز شهری مناطق گرم و خشک است تا بتواند هم‌راستا با در نظر گرفتن رتبه گیاهان در بحث تاب‌آوری بوم‌شناختی، به نکات دیگری چون نقش آن‌ها در بهبود شرایط خرداقلیم سایت، ارائه حداکثری خدمات اکوسیستمی در فضاهای سبز شهری (مانند کاهش رواناب سطحی، خنک‌سازی و پالایش هوا، کمک به حفظ تنوع زیستی)، ارتقاء جنبه‌های زیبایی‌شناختی فضا (از جمله به کارگیری ویژگی‌هایی چون فرم، بافت و رنگ گیاه) و عدم سمی و آلرژی‌زا بودن آن‌ها نیز توجه نماید (Asgarzadeh et al., 2014; Farrell et al., 2022).

به طور کلی معیارهای بوم‌شناختی مرتبط با انتخاب گیاهان مناسب جهت کاربرد در زیرساخت‌های سبز شهری در کشورهای مختلف متفاوت است (Asgarzadeh et al., 2014; Ghafari et al., 2020; Darabi et al., 2023). به عنوان مثال در بریتانیا سازگاری گیاهان با ویژگی‌های خاک بیش از دیگر عوامل در انتخاب گیاهان زینتی در فضاهای سبز شهری اهمیت می‌یابد، همچنین در کشورهای اروپای شمالی تاب‌آوری گیاهان نسبت به شرایط اقلیمی و مقاومت آن‌ها در برابر آفات و بیماری‌ها، در آمریکا در ایالت یوتا تحمل گیاهان به خشکی و کم نیاز بودن به آب، در هند سازگاری گیاهان به خشکی و به سرما، در سیاتل آمریکا، توانایی گیاهان در سازگاری با خاک‌هایی با بافت نامناسب و کنترل فرسایش خاک (Ghafari et al., 2020) و در سنگاپور و استرالیا فاکتور عدم آلرژی‌زا و سمی بودن گیاهان در راستای حفظ سلامت عمومی شهروندان (Radhakrishnan et al. 2019) از مهم‌ترین معیارهای انتخاب گیاهان تاب‌آور در فضاهای سبز شهری به شمار می‌روند. این در حالی است که در ایران معیارهای تاب‌آوری بوم‌شناختی غالباً در انتخاب گیاهان زینتی جهت کاربرد در فضاهای سبز شهری در نظر گرفته نمی‌شوند و عمدتاً افراد شاغل در شهرداری‌ها و سازمان‌های متولی بر پایه تجارب شخصی و مشاهدات کیفی، بدون توجه به یافته‌های علمی حاصل از بررسی‌های واکنش گیاهان به عوامل استرس‌زای محیط شهری، مبادرت به ارائه طرح‌های کاشت می‌نمایند (Asgarzadeh et al., 2014; Darabi et al., 2023).

مطالعات متعددی در نقاط مختلف دنیا در ارتباط با ضرورت استفاده از گیاهان تاب‌آور در فضاهای سبز شهری وجود دارد. به عنوان مثال گوزون و همکاران (۲۰۲۵) به مطالعه اهمیت کاربرد گونه‌های درختچه‌ای کم‌ارتفاع و مقاوم به خشکی در فضاهای شهری با محدودیت منابع آب پرداخته‌اند. این مطالعه به کاهش نیاز آبی فضاهای سبز شهری و ارتقاء پایداری آن‌ها از طریق انتخاب گونه‌های درختچه‌ای تاب‌آور تأکید دارد (Guzzon et al. 2025). همچنین یافته‌های مطالعه پرسیوال (۲۰۲۳) بیانگر اهمیت انتخاب گونه‌های درختی مقاوم به دماهای بالا و تابش نور شدید در فضاهای شهری مناطق گرم و خشک در راستای افزایش میزان آسایش حرارتی و بهبود خرداقلیم است (Percival., 2023). در مطالعه‌ای دیگر کلینگمن (۲۰۰۹)، به اهمیت انتخاب گیاهان زینتی در فضاهای سبز شهری بر اساس مقاومت به آفات و بیماری‌ها اشاره داشته و بیان می‌کند که گونه‌های مقاوم، نیاز به نگهداری و استفاده از سموم را کاهش داده و سبب ارتقاء پایداری اکوسیستم می‌شوند (Klingeman., 2009). در بررسی دیگر تبسم و همکاران (۲۰۲۳) جهت انتخاب گیاهان تاب‌آور در فضاهای سبز شهری بر قابلیت و دوام رشد گیاه در انواع خاک‌های شهری، با توجه به میزان شوری، pH و زهکشی تأکید کرده و پایداری فضاهای سبز شهری را در به کارگیری گونه‌های گیاهی مقاوم به شوری و فشردگی بافت خاک، امکان‌پذیر می‌دانند (Tabassum et al., 2023). همچنین در مطالعه توسکانو و همکاران (۲۰۲۵)، به بررسی اهمیت تنوع زیستی گیاهان در فضاهای سبز شهری پرداخته شده است. نتایج مطالعه آنان بیان می‌کند که به کارگیری گونه‌های غیر بومی و چندساله در

فضاهای سبز شهری در صورت انتخاب مناسب و در نظر گرفتن ویژگی غیر مهاجم بودن آن‌ها، می‌تواند بیشترین حمایت را از حیات جانوری و خدمات اکوسیستمی در شهرها فراهم آورد (Toscano et al., 2025).

در ایران نیز مطالعات محدودی در این خصوص وجود دارد. به عنوان مثال در مطالعه‌ای که توسط احمدی و کریمی (۲۰۲۵) در خصوص معیارهای انتخاب درختان و درختچه‌های تاب‌آور در پارک‌های شهری اصفهان انجام شده است، به معیارهایی چون مقاومت گیاهان به خشکی، آفات و بیماری‌ها، آلودگی‌های محیطی و همچنین ویژگی طول عمر گونه‌ها و هزینه‌های نگهداری آن‌ها اشاره شده است (Ahmadi & Karimi; 2025). در پژوهشی دیگر عسکرزاده و همکاران در شهر تهران، به بررسی روش‌های انتخاب گیاهان برای مناظر شهری در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک پرداختند. این تحقیق بر معیارهایی چون سازگاری گیاهان با تغییرات اقلیمی، تنش خشکی و مقاومت به آلودگی‌ها محیطی تأکید دارد (Asgarzadeh et al., 2014). همچنین در مطالعه‌ای که توسط دارابی و همکاران (۲۰۲۳) در شهر قم انجام شد، معیارهایی چون مقاومت به شوری خاک، تبخیر و تعرق بالا و تنش آبی به عنوان مهم‌ترین معیارهای تاب‌آوری انتخاب گونه‌های درختی و درختچه‌ای تعیین شده‌اند (Darabi et al., 2023).

به طور کلی نوآوری این تحقیق در ارائه روشی مدون جهت انتخاب گیاهان مناسب پوششی و فصلی در فضاهای سبز شهری بر پایه معیارها و زیرمعیارهای مرتبط با مفهوم تاب‌آوری بوم‌شناختی است. برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که عمدتاً معیارهای انتخاب درختان و درختچه‌های زینتی در فضاهای سبز شهری را مورد بررسی قرار داده‌اند، این پژوهش قصد دارد تا با توجه به اهمیت گیاهان پوششی و فصلی در راستای ارتقاء تنوع زیستی گیاهی و ایجاد فضاهای سبز پایدار در مناطق شهری گرم و خشک، به ارزیابی و رتبه‌بندی لیستی از تاب آورترین این گیاهان جهت استفاده در فضاهای سبز شهر زاهدان بپردازد. نتایج این تحقیق می‌تواند راهنمایی عملی برای شهرداری‌ها و نهادهای متولی امر حفاظت و توسعه فضاهای سبز در شهر زاهدان باشد به گونه‌ای که امکان به کارگیری تاب‌آورترین گونه‌هایی گیاهان پوششی و فصلی را در طرح‌های کاشت فضای سبز فراهم کند (شکل ۱).

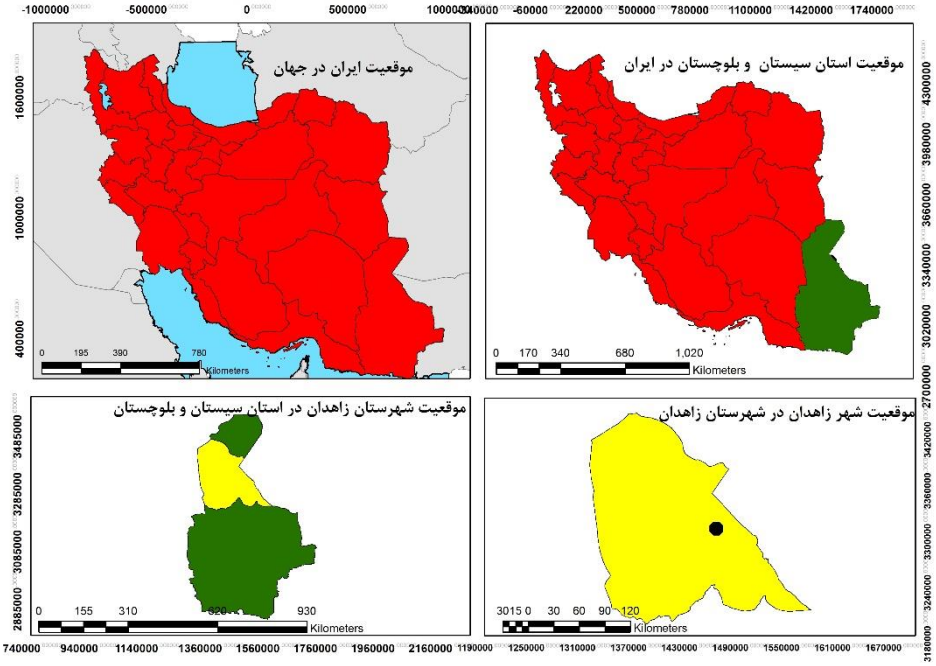
۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر زاهدان در مرکز استان سیستان و بلوچستان با اقلیم گرم و خشک برای پیشبرد این پژوهش انتخاب شد. این شهر در جنوب شرقی ایران، در طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۵۱ دقیقه و ۲۵ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۵ ثانیه شمالی واقع شده است (شکل۱) و ارتفاع آن از سطح دریا به ۱۳۷۸ متر می‌رسد (Azari tabas & Rakhshaninasab, 2023). با توجه به موقعیت جغرافیایی این شهر که در عرض‌های جغرافیائی پایین کشور قرار دارد، تأثیر سامانه‌های بارش‌زای مدیترانه‌ای روی آن ناچیز و نسبت به شهرهای جنوبی استان سیستان و بلوچستان از رطوبت کمتری برخوردار است و در اغلب سال‌ها با کمبود بارش و در نتیجه خشکسالی مواجه است (Ranjbarshoorabadi et al., 2023). میانگین سالانه رطوبت نسبی در این شهر ۳۳ درصد و میانگین سالانه دما در آن ۱۸/۴ درجه سانتی‌گراد است. این شهر یکی از کم باران‌ترین شهرهای ایران محسوب می‌شود به گونه‌ای که میزان بارندگی سالیانه آن به طور میانگین ۷۵ میلیمتر است و عمده بارش‌ها در فصل زمستان و بهار صورت می‌گیرد (Narooei et al., 2020). جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۵ به میزان ۵۸۷۷۳۰ نفر اعلام شده است (Statistical Center of Iran, 2016).

بر اساس مطالعات موجود، خصوصیات فیزیکی خاک در محدوده جغرافیایی شهر زاهدان متغیر است. به طور مثال در محدوده‌های جنوبی شهر فراوانی رسوبات دانه درشت شن و ماسه در بافت خاک افزایش می‌یابد، در حالی که در نیمه شمالی شهر رسوبات ریزدانه رسی سیلیسی و دانه درشت شنی را می‌توان در نمونه‌های خاک مشاهده کرد (Kazemi & Kaykha, 2014). میزان درصد شن در بافت خاک از ۶۹ تا ۷۸ درصد، سیلت از ۱۱/۶ تا ۲۰/۶ درصد، و تخلخل خاک از ۲۹/۶ تا ۴۵ درصد در نمونه‌های مختلف خاک در سطح شهرستان زاهدان متغیر است. همچنین ویژگی‌های شیمیایی خاک نیز در نمونه‌های مختلف، بیانگر تغییر در میزان PH خاک از ۷/۸ تا ۸/۲ ، شوری خاک از ۱/۵ تا ۳/۹ دسی زیمنس بر متر، رطوبت نسبی خاک از ۸/۴ درصد تا ۱۲/۳ درصد، و آهک خاک از ۸/۳ تا ۱۲/۳ درصد هستند (Saberi et al., 2025). میزان شوری آب‌های زیرزمینی آبخوان زاهدان بیش از حد مجاز است، به گونه‌ای که برای سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به ترتیب برابر ۷۶۲۸، ۷۵۱۹ و ۷۰۲۹ میکروموس بر سانتی‌متر بوده و میانگین این پارامتر در کل این دوره برابر با ۷۳۹۲ میکروموس بر سانتی‌متر برآورد شده است و در محدوده شوری بسیار زیاد قرار دارد

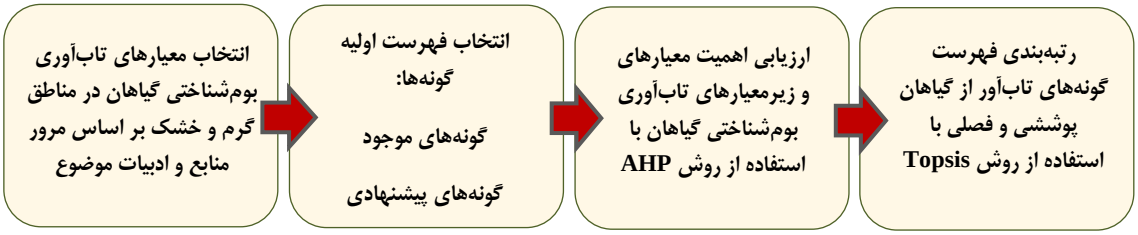
(Bazdidi & Hashemi Monfared, 2021). PH آب نیز در محدوده ۷/۰۱ تا ۷/۹۵ در نقاط مختلف شهر متغیر است، همچنین میزان TDS یا سختی آب نیز در رده‌بندی آب‌های نسبتاً شور (۳۰۰۰– ۱۰۰۰۰) قرار می‌گیرد (Belarak et al., 2021).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر زاهدان در کشور و استان

۲-۲- روش پژوهش

این پژوهش به دنبال ارائه یک چارچوب روش‌شناختی برای ارائه الگوی کاشت تاب‌آور از گیاهان پوششی و فصلی مناسب جهت کاربرد در فضاهای سبز شهری مناطق گرم و خشک است. روش مورد استفاده در این تحقیق ترکیبی از بررسی توصیفی–تحلیلی و مطالعات میدانی است. با توجه به هدف پژوهش حاضر، این پژوهش در چهار گام کلیدی تدوین شده است (شکل ۲):



شکل ۲. چارچوب اجرائی تحقیق

۲-۲-۱- تعیین معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان در مناطق گرم و خشک

بر اساس مرور منابع و ادبیات موضوع، معیارها و زیر معیارهای تعیین‌کننده تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان در مناطق شهری گرم و خشک تعیین شدند (جدول ۱). در این خصوص ۵ معیار تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان از جمله مقاومت آن‌ها به شرایط اقلیمی، خاک، آلودگی‌های شهری، شرایط آب و وضعیت بوم‌شناختی منطقه به عنوان معیارهای اصلی تحقیق مشخص شدند. همچنین در خصوص معیارهای مورد مطالعه، ۲۱ زیر معیار از جمله زیرمعیارهای مرتبط با اقلیم (مقاومت به تنش دمایی، مقاومت به شرایط تابش نور شدید، مقاومت به شرایط تبخیر و تعرق، مقاومت به وزش باد)، خاک (مقاومت به شوری خاک، مقاومت به کمبود رطوبت خاک، مقاومت به کمبود عناصر غذایی خاک، مقاومت به بافت نامناسب خاک و مقاومت به pH خاک)، آلودگی‌ها (مقاومت به آلودگی آب، مقاومت به ریزگردها و غبار، مقاومت به آلودگی خاک، مقاومت به آلاینده‌های فلزات سنگین در هوا و مقاومت به آلاینده‌های گازی)، آب (مقاومت

به کمبود آب، مقاومت به شوری آب، مقاومت به سختی آب و مقاومت به تنش آبی)، شرایط بوم‌شناختی (مقاومت نسبت به علف‌های هرز و گونه‌های مهاجم، مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها و سازگاری با سایر گونه‌ها) تعیین شدند.

جدول ۱. معیارهای قابل بررسی در انتخاب گیاهان پوششی و فصلی تاب‌آور در فضاهای سبز شهری

معیار	زیرمعیار	منبع
اقلیم	مقاومت به تنش دمایی	*Manea et al. (2016); Yuan et al. (2022)*
	مقاومت به شدت تابش نور	*Francini et al. (2023)*
	مقاومت به شرایط تبخیر و تعرق	*Sapkota et al. (2023)*
	مقاومت به وزش باد	*Asgarzadeh et al. (2014) ; Shang et al. (2024)*
شرایط خاک	مقاومت به شوری خاک	*Hooks & Niu (2019); Liu et al. (2023)*
	مقاومت به کمبود رطوبت خاک	*Nektarios et al. (2014); Sapkota et al. (2023)*
	مقاومت به کمبود عناصر غذایی خاک	*Liu et al. (2024)*
	مقاومت به بافت شنی و نامناسب خاک	*Wei et al. (2022); Darabi et al. (2023)*
	مقاومت به pH بالای خاک	*Sastre et al. (2024)*
آلودگی شهری	مقاومت به آلودگی آب	*Kaya et al. (2024)*
	مقاومت به ریزگردها و غبار	*Garcia et al. (2016); Liu et al. (2024)*
	مقاومت به آلودگی خاک	*Gladkov et al. (2021); Francini et al. (2022)*
	مقاومت به آلاینده‌های فلزات سنگین در هوا	*Nadgórska-Socha et al. (2017)*
	مقاومت به آلاینده‌های گازی	*Singh et al. (2024)*
آب	مقاومت به کمبود آب	*Pichakum & Pichakum. (2021)*
	مقاومت به شوری آب	*Hooks & Niu. (2019); Wang et al. (2025)*
	مقاومت به سختی آب	*Xing et al. (2021)*
	مقاومت به تنش آبی	*Sjöman et al. (2023)*
شرایط بوم‌شناختی	مقاومت در برابر عوامل نامساعد محیط (علف‌های هرز و گونه‌های مهاجم)	*Pyšek et al. (2012); Poland et al. (2021)*
	مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها	*Nighswander et al. (2021); Coleman et al. (2023)*
	سازگاری با سایر گونه‌ها	*Tartaglia & Aronson (2024); Priya & Senthil (2024)*

۲-۲-۲- تدوین فهرست گیاهان پوششی و فصلی موجود و پیشنهادی

با توجه به هدف اصلی مطالعه، گونه‌های گیاهی پوششی و فصلی موجود (غالب) و پیشنهادی برای این منطقه شناسایی شدند. بر این اساس ابتدا فهرست گیاهان موجود (شامل ۱۹ گونه گیاهی) در فضاهای سبز شهر زاهدان تهیه شد. سپس لیست گونه‌های گیاهی پیشنهادی این تحقیق (۵۰ گیاه اعم از گیاهان پوششی و فصلی)، با استفاده از مرور منابع و همچنین بررسی گونه‌های گیاهان پوششی و فصلی بکار رفته در فضاهای سبز شهرهایی چون کرمان، بیرجند و قم که دارای شرایط اقلیمی و محیطی مشابه با شهر زاهدان هستند، مشخص گردید. در نهایت پس از بررسی گونه‌های موجود و پیشنهادی، ۴۵ گونه گیاهی (اعم از گیاهان موجود و پیشنهادی)

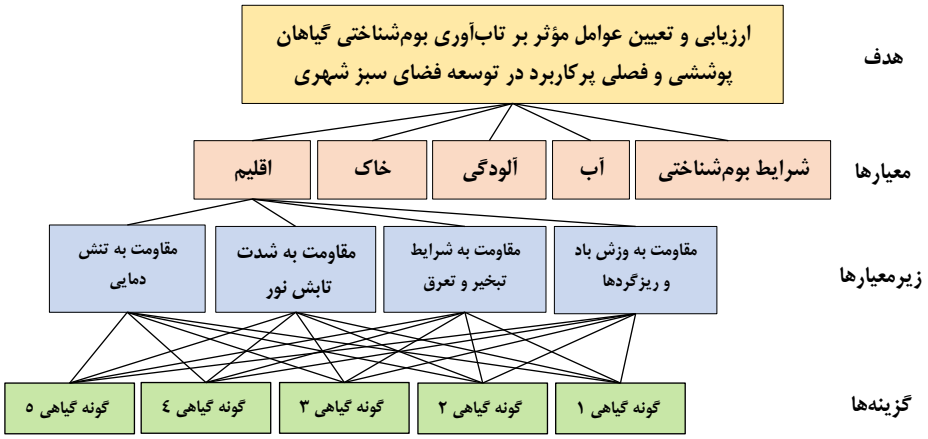
جهت پیشبرد این تحقیق انتخاب شدند. در واقع ۱۵ گیاه پوششی (شامل ۵ گیاه موجود و ۱۰ گیاه پیشنهادی) و ۳۰ گیاه زینتی دائمی و فصلی (از جمله ۱۴ گیاه موجود و ۱۶ گیاه پیشنهادی) از نظر خبرگان مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۲-۲-۳- ارزیابی اهمیت معیارها و زیر معیارهای تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان با استفاده از روش AHP

با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[1]، وزن معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان در شرایط محیطی شهر زاهدان تعیین شد. روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند منظوره است که توسط توماس ساعتی[2] در دهه ۱۹۷۰ ابداع شد (Saaty, 1987). این روش یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است؛ چرا که امکان فرموله ساختن مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و در این خصوص با بررسی و تحلیل معیارهای و زیرمعیارهای مختلف کمی و کیفی، امکان دخالت گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری فراهم می‌سازد. برای ارزیابی تعداد زیادی از معیارها و زیرمعیارها از دیدگاه خبرگان، روش AHP به صورت گسترده به کار می‌رود. اساس روش AHP بر پایه مقایسه‌های زوجی یا دو به دویی آلترناتیوها (گزینه‌ها) و معیارهای تصمیم‌گیری بنا شده است (Saaty, 2008). اجرای روش AHP شامل مراحل ذیل است:

- **ایجاد درخت سلسله مراتب تصمیم**

در این روش ابتدا درخت سلسله مراتب تصمیم (تعریف هدف کلی و تفکیک کامل آن در حد ممکن از طریق نشان دادن معیارها و گزینه‌های تصمیم‌گیری) شکل می‌گیرد. برای تسهیل استفاده از فرایند سلسله مراتبی، هدف پژوهش به سلسله مراتب چند سطحی تجزیه می‌شود (Yousefpour et al., 2016). بر این اساس در سطح اول، هدف از این مطالعه (شامل ارزیابی و تعیین عوامل مؤثر بر تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان پوششی و فصلی پرکاربرد در توسعه فضای سبز شهری زاهدان) تعیین می‌شود. در سطح دوم، پنج معیار تصمیم‌گیری قرار می‌گیرند و عبارتند از: مقاومت به شرایط اقلیمی، خاک، آلودگی‌های شهری، آب و شرایط بوم‌شناختی. در سطح سوم زیرمعیارها در رابطه با هریک از معیارها تعریف شده‌اند، ۲۱ زیر معیار از جمله زیرمعیارهای اقلیم، خاک، آلودگی‌ها، آب و شرایط بوم‌شناختی را شامل می‌شوند. در سطح چهارم، گونه‌های گیاهان پوششی و فصلی موجود و پیشنهادی جهت بررسی رتبه تاب‌آوری بوم‌شناختی آن‌ها قرار می‌گیرند (شکل ۳).



شکل ۳. ساخت سلسله مراتبی مدل AHP

- **تعیین اولویت‌ها بر اساس مقایسات زوجی**

در این بخش تعیین اولویت‌ها از طریق انجام یک‌سری مقایسات زوجی (در راستای مشخص ساختن وزن هر یک از معیارها در برابر گزینه‌ها) انجام می‌شود. در مقایسه زوجی ترجیح هر معیار بر خود برابر با یک است. در ماتریس مقایسه زوجی تمامی معیارهای قرار

1. Analytic Hierarchy Process
2. Thomas. L. Saaty

گرفته بر روی قطر اصلی برابر با یک در نظر گرفته می‌شوند و اگر معیار سطر نسبت به معیار ستون اهمیت بیشتری داشته باشد با استفاده از اعداد ۱ تا ۹ (۱ به منزله اهمیت یکسان و ۹ به منزله کاملاً مهم‌تر) نشان داده می شود (جدول ۲)؛ اما اگر معیار ستون نسبت به معیار سطر اهمیت بیشتری داشت با استفاده از اعداد ۱ تا ۱/۹ این اهمیت نشان داده می‌شود (Yousefpour et al., 2016). همچنین مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی و نحوه ارزش‌گذاری معیارها نسبت به هم در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۲. ماتریس مقایسات زوجی معیارها بر مبنای روش AHP

معیارها	اقلیم	خاک	آلودگی شهری	آب	شرایط بوم‌شناختی
اقلیم	۱	–	–	–	–
خاک	–	۱	–	–	–
آلودگی شهری	–	–	۱	–	–
آب	–	–	–	۱	–
شرایط بوم شناختی	–	–	–	–	۱

جدول ۳. مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی

درجه اهمیت در مقایسات زوجی	ترجیح سطر به ستون	ترجیح ستون به سطر
اهمیت یکسان	۱	۱
نسبتاً مهمتر	۳	۱/۳
اهمیت زیاد	۵	۱/۵
اهمیت بسیار زیاد	۷	۱/۷
کاملاً مهم‌تر	۹	۱/۹
مقادیر ۲، ۴، ۶ و ۸ ارزش‌های بینابین را نشان می‌دهند.		

به منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و اولویت‌بندی گونه‌ها، مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها به کمک ۱۵ نفر از خبرگان از جمله اعضای هیأت علمی و کارشناسان متخصص که در حوزه‌ی نگهداری فضای سبز و باغبانی تخصص و تجربه داشته‌اند، مورد ارزیابی قرار گرفت. این خبرگان متشکل از ۲ نفر از اعضای هیأت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان و ۲ نفر از اساتید دانشگاه آزاد اسلامی زاهدان، ۴ نفر از کارشناسان شاغل در سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهری، ۳ نفر از کارشناسان شاغل در شرکت‌های پیمان‌کار امر نگهداری فضای سبز و ۴ نفر از کارشناسان اداره فضای سبز دانشگاه سیستان و بلوچستان هستند. میزان ارزش‌گذاری ترجیحات برای هر معیار توسط کارشناسان با توجه به جدول ۳ صورت گرفته است. در پژوهش حاضر به منظور لحاظ نمودن نظرات خبرگان، از رابطه میانگین هندسی برای تجمیع مقایسات زوجی استفاده شده است (رابطه ۱).

رابطه ۱.

$$\left(\prod_{i=1}^{n} x_i\right)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{x_1 x_2 x_3 \dots x_n}$$

در این رابطه n بیانگر تعداد داده بر اساس نظر خبرگان و x نشان‌دهنده مقدار داده است (Yousefpour et al., 2016).

- **استخراج اولویت‌ها از مقایسات گروهی و انتخاب بهترین گزینه**

در این مرحله به منظور تعیین وزن نسبی عوامل موجود در هر سطح از سلسله‌مراتب، ابتدا ماتریس مقایسات زوجی تحت فرآیند نرمال‌سازی قرار می‌گیرد (رابطه ۲). سپس با محاسبه میانگین موزون مقادیر به دست آمده در هر سطر، اوزان نهایی استخراج می‌شوند (رابطه ۳). این اوزان نشان‌دهنده میزان اهمیت نسبی و اولویت هر یک از معیارها (جدول ۴) و زیرمعیارها (جدول ۵) در چارچوب مدل سلسله‌مراتبی هستند (Saaty, 2008). در این بخش از نرم‌افزار Expert Choice، جهت تحلیل داده‌ها استفاده شده است.

رابطه ۲.

$$W_i = \frac{G_i}{\sum_{j=1}^{n} G_i}$$

در این رابطه W_i = وزن نهایی نرمال شده، G_i وزن حاصل از میانگین هندسی، n= تعداد معیارها و $\sum_{j=1}^{n} G_i$= مجموع اعداد میانگین هندسی در هر ستون است.

رابطه ۳.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} (w_i \times r_{ij})$$

در این رابطه S_i = امتیاز نهایی یا اولویت گزینه i، w_i = وزن معیار j به دست آمده از ماتریس مقایسه زوجی، r_{ij}= رتبه‌بندی یا ارزش عملکرد گزینه i نسبت به معیار j، n = تعداد معیار است (Saaty, 1987).

- **کنترل منطقی بودن نتایج مقایسات زوجی از طریق محاسبه نسبت سازگاری**[1]

برای تضمین صحت و اعتبار تحلیل‌های AHP و سایر روش‌های مبتنی بر مقایسات زوجی این نسبت سنجیده می‌شود و بیانگر این موضوع است که آیا وزن‌ها و اولویت‌ها به طور منطقی تعیین شده‌اند یا خیر. در واقع این شاخص نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از مقایسات زوجی اعتماد کرد. نسبت سازگاری در مقایسات باید حداکثر برابر با ۰/۱ یا کمتر از آن باشد تا نتایج قابل پذیرش تلقی شوند. بالاترین سطح سازگاری زمانی به دست می‌آید که نسبت سازگاری به صفر نزدیک شود. بنابراین، چنانچه مقدار این شاخص کمتر از ۰/۱ باشد، می‌توان سازگاری قضاوت‌ها را معتبر دانست؛ اما اگر این مقدار بیشتر از ۰/۱ باشد، لازم است مقایسات دوباره بازبینی و اصلاح شوند (Brunelli, 2018; Salomon and Gomes, 2024). نسبت سازگاری برای ماتریس‌های عوامل مؤثر با استفاده از رابطه ۴ و ۵ به دست می‌آید.

رابطه ۴.	$CI = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)}$
رابطه ۵.	$CR = \frac{CI}{RI}$

با استفاده از رابطه ۴، ابتدا شاخص سازگاری (CI)[2] محاسبه می‌شود. در این رابطه λmax = حداکثر مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی و n = تعداد معیارهای ماتریس است. همچنین در رابطه ۵ نرخ ناسازگاری[3] از تقسیم شاخص سازگاری بر شاخص سازگاری تصادفی (RI)[4] (جدول ۶) به دست می‌آید. شاخص RI بر اساس تعداد معیارها از جدول زیر تعیین می‌شود (Saaty, 1987).

جدول ٤. ماتریس مقایسات زوجی معیارها

معیارها	اقلیم	خاک	آلودگی شهری	آب	شرایط بوم‌شناختی	میانگین هندسی (G_i)	وزن نهایی نرمال (W_i)
اقلیم	۱	۲	۴	۰/۵۰	۳	۱/۶۴	۰/۲۶۳
خاک	۰/۳۳۳	۱	۳	۰/۵۰	۲	۱/۰۰	۰/۱۶
آلودگی شهری	۰/۱۶۶	۰/۳۳۳	۱	۰/۲۵	۰/۵۰	۰/۳۶	۰/۰۵۷
آب	۲	۳	۶	۱	۴	۲/۷۰	۰/۴۳۴
شرایط بوم شناختی	۰/۲۵	۰/۵۰	۲	۰/۳۳۳	۱	۰/۵۴	۰/۰۸۶
نرخ ناسازگاری: ۰/۰۶۵							

1. Consistency Ratio
2. Consistency Index
3. Consistency Ratio
4. Random Consistency Index

جدول ۵. ماتریس مقایسات زوجی زیرمعیارها

زیر معیارها	مقاومت به وزش باد و ریزگردها	مقاومت به شرایط تبخیر و تعرق	مقاومت به شدت تابش نور	مقاومت به تنش دمایی	میانگین هندسی (G_i)	وزن نهایی نرمال (W_i)
مقاومت به وزش باد و ریزگردها	۱	۳	۵	۳	۲٫۵۶	۰٫۵۱۶
مقاومت به شرایط تبخیر و تعرق	۳	۱	۰٫۳۳۳	۰٫۵۰	۰٫۸۴	۰٫۱۶۹
مقاومت به شدت تابش نور	۰٫۲۰	۰٫۳۳۳	۱	۰٫۳۳۳	۰٫۳۷	۰٫۰۷۵
مقاومت به تنش دمایی	۳	۲	۰٫۳۳۳	۱	۱٫۱۹	۰٫۲۴۰
نرخ ناسازگاری: ۰٫۰۳۹						

جدول ٦. شاخص سازگاری تصادفی (Saaty, 1987)

n	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
Random Consistency Index (RI)	۰	۰	۰٫۵۸	۰٫۹۰	۱٫۱۲	۱٫۲۴	۱٫۳۲	۱٫۴۱	۱٫۴۵	۱٫۴۹

۲-۳- رتبه‌بندی فهرست گونه‌های تاب‌آور از گیاهان پوششی و فصلی با استفاده از روش TOPSIS [1]

در مرحله نهایی پژوهش، ارزیابی و مقایسه گونه‌های گیاهان پوششی و فصلی با توجه به شاخص‌های تاب‌آوری بوم‌شناختی منتخب صورت گرفت. به این منظور، از تکنیک TOPSIS به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی گونه‌ها و شناسایی الگوی کشت تاب‌آور استفاده گردید (Hwang & Yoon, 1981). فرآیند امتیازدهی بر مبنای طیف لیکرت پنج‌درجه‌ای طراحی شد؛ به طوری که گزینه‌ها از «خیلی کم» تا «خیلی زیاد» طبقه‌بندی گردید و به هر سطح، امتیاز عددی ۱ تا ۵ تخصیص یافت. این امتیازدهی توسط متخصصان حوزه‌های طراحی فضای سبز و باغبانی انجام گرفت تا دقت، اعتبار و روایی نتایج تضمین شود.

پس از جمع‌آوری داده‌ها بر اساس طیف لیکرت، گونه‌های مورد بررسی براساس شاخص‌های تعیین‌شده رتبه‌بندی شدند. در این مرحله، نرم‌افزار Expert Choice، برای استخراج وزن معیارها در چارچوب روش AHP (Saaty, 2008) و نرم‌افزار TOPSIS Solver برای تحلیل نهایی و رتبه‌بندی گونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. به کارگیری ترکیبی این دو روش، امکان بهره‌گیری هم‌زمان از قابلیت‌های وزن‌دهی سلسله‌مراتبی و تحلیل چندمعیاره را فراهم ساخت (Triantaphyllou, 2000). در نهایت، نتایج به صورت جدول و نمودار ارائه شدند، در جدول ۷ (نمونه‌ای از چگونگی رتبه‌بندی تاب‌آوری گونه‌های گیاهی بر اساس نظر خبرگان)، ارتباط میان تکنیک‌های AHP و TOPSIS جهت تعیین اولویت تاب‌آوری گونه‌های مختلف گیاهان پوششی و فصلی موجود و پیشنهادی در فضای سبز شهری زاهدان آورده شده است. در واقع وزن قطعی هر زیر معیار در این پژوهش، وزن نهایی و نرمال‌شده‌ای است که اهمیت نسبی هر زیر معیار را بر اساس روش‌های چندمعیاره AHP مشخص می‌کند. وزن قطعی از ترکیب مقایسات زوجی استخراج شده و با میانگین موزون یا میانگین هندسی وزن‌های هر تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. در روش TOPSIS، وزن قطعی معمولاً از طریق ارزیابی خبرگان (در این پژوهش مقیاس لیکرت به کار گرفته شده است) یا به صورت داده‌محور به دست می‌آید. در این پژوهش جهت ارزیابی رتبه تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان از شاخص ضریب نزدیکی[2] استفاده شده است. این شاخص بیانگر میزان نزدیکی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل مثبت و فاصله آن از راه‌حل ایده‌آل منفی است. هر چه مقادیر این ضریب به عدد ۱ نزدیک باشد نشان‌دهنده این موضوع است که گزینه مورد بررسی به راه‌حل ایده‌آل مثبت نزدیک است و عملکرد خوبی دارد و بالعکس هر چه مقادیر این

1. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
2. Closeness Coefficient

ضریب به عدد صفر نزدیکتر باشد بیانگر ضعیف بودن عملکرد گزینه مورد مطالعه است. این ضریب معیار اصلی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها در روش TOPSIS به شمار می‌رود (Triantaphyllou, 2000). پس از محاسبه ضریب نزدیکی برای تمام گونه‌های گیاهان پوششی و گل‌های فصلی مورد مطالعه در این پژوهش، گزینه‌ها بر اساس بیشترین ضریب نزدیکی به کمترین آن‌ها رتبه‌بندی شده‌اند. (جدول ۱۲ و ۱۳).

جدول ۷. ارتباط بین AHP و TOPSIS جهت رتبه‌بندی تاب‌آوری گونه‌های گیاهان پوششی و فصلی

وزن قطعی زیر معیارها	۰/۴۸	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۲۷
معیار منفی	خیر	خیر	خیر	خیر
معیار / گونه	**مقاومت به وزش باد و ریزگردها**	**مقاومت به شرایط تبخیر و تعرق**	**مقاومت به شدت تابش نور**	**مقاومت به تنش دمایی**
گل نیمروزی	۴/۱۶	۴/۳۳	۴/۱۶	۴/۶۶
چمن فرانکینیا	۳/۸۳	۳/۸۳	۲/۸۳	۴
پامپاس گراس	۳/۳۳	۳/۳۳	۲/۸۳	۳/۵
رزماری	۳/۱۶	۳	۲/۸۳	۳/۳۳
....	....	....	....	....

۳- یافته‌ها

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل دیدگاه‌های ۱۵ نفر از متخصصان و کارشناسان امر نگهداری، برنامه‌ریزی و توسعه فضاهای سبز شهری، معیارهای آب (۰/۳۶۵)، خاک (۰/۲۷۶)، اقلیم (۰/۱۷۹)، شرایط بوم‌شناختی (۰/۱۱۸) و سطح آلودگی شهری (۰/۰۶۲) به ترتیب از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر میزان تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان پوششی و فصلی در شهر زاهدان هستند (شکل ۴). این نتایج بیانگر آن است که در اقلیم خشک و بیابانی زاهدان، بحران کمبود آب و کیفیت مورد نیاز آن جهت آبیاری فضاهای سبز شهری، بیشترین نقش را در پایداری و تاب‌آوری گونه‌های گیاهی ایفا می‌کند.

همچنین وزن قطعی ۲۱ زیرمعیار مرتبط با عنصر آب، ویژگی‌های خاک، شرایط اقلیم، شرایط بوم‌شناختی و آلودگی شهری تعیین شدند. در ارتباط با معیار آب (جدول ۸)، زیرمعیار مقاومت گیاهان به کمبود آب (با وزن قطعی ۰/۱۶۹) به عنوان مهم‌ترین مؤلفه تأثیرگذار بر تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان پوششی و فصلی در فضای سبز شهری از دیدگاه کارشناسان ارزیابی شده است. زیرمعیارهایی چون مقاومت گیاهان پوششی و فصلی به میزان شوری آب، سختی آب و تنش آبی به ترتیب اولویت در رده‌های بعدی اهمیت می‌یابند. در خصوص زیرمعیارهای مرتبط با ویژگی های خاک (جدول ۹)، مقاومت گیاهان به شوری خاک (با وزن قطعی ۰/۱۱۸) در جایگاه اول اهمیت از نظر تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان مذکور قرار می‌گیرد. در اولویت‌های بعدی انتخاب گیاهان پوششی و فصلی تاب‌آور مقاومت آن‌ها به کمبود رطوبت خاک، عناصر غذایی، بافت شنی و pH قلیایی می‌بایست مورد توجه طراحان و برنامه‌ریزان فضای سبز شهری قرار گیرد. در ادامه زیرمعیار مقاومت گیاهان به شرایط تبخیر و تعرق (با وزن قطعی ۰/۰۸۷) به عنوان مهم‌ترین زیرمعیار مرتبط با اقلیم از دیدگاه کارشناسان مورد ارزیابی قرار گرفته است (جدول ۱۰). همچنین زیرمعیارهایی چون مقاومت گیاهان به وزش باد، تنش دمایی و شدت تابش نور خورشید بر حسب اولویت در رده‌های بعدی از میزان اهمیت قرار گرفتند. در ارتباط با زیرمعیارهای مرتبط با شرایط بوم‌شناختی (جدول ۱۱)، زیر معیار مقاومت گیاهان در برابر عوامل نامساعد محیط از جمله علف‌های هرز و گونه‌های مهاجم (با وزن قطعی ۰/۰۷۰) بیشترین اهمیت را از دیدگاه خبرگان در زمینه تاب‌آوری گیاهان پوششی و فصلی کسب کرده است و زیرمعیارهای مقاومت گیاهان به آفات و بیماری‌ها و سازگاری آن‌ها با سایر گونه‌ها در رتبه دوم و سوم از اهمیت قرار دارند. در نهایت زیرمعیار مقاومت گیاهان پوششی و فصلی به آلودگی آب با کسب رتبه اول وزن‌دهی (وزن قطعی ۰/۰۲۲) به عنوان مهم‌ترین زیرمعیار آلودگی شهری ارزیابی شده است (جدول ۱۲). همین طور مقاومت گیاهان به گرد و غبار و ریزگردها، آلودگی خاک، آلاینده‌های فلزات سنگین در جو و آلاینده‌های گازی در رتبه‌های بعدی از اهمیت از دیدگاه کارشناسان قرار گرفتند.



شکل ٤- اولویت‌بندی معیارهای مؤثر بر تاب‌آوری بوم‌شناختی در شرایط محیطی شهر زاهدان

جدول ۸. وزن قطعی زیرمعیارهای مرتبط با معیار آب بر حسب اولویت

معیار	زیر معیار	وزن نسبی	وزن قطعی
آب	مقاومت به کمبود آب	۰/۴۶۴	۰/۱۶۹
	مقاومت به شوری آب	۰/۲۵۴	۰/۰۹۲
	مقاومت به سختی آب	۰/۱۸۴	۰/۰۶۸
	مقاومت به تنش آبی	۰/۰۹۷	۰/۰۳۵

جدول ۹. وزن قطعی زیرمعیارهای مرتبط با معیار ویژگی‌های خاک بر حسب اولویت

معیار	زیر معیار	وزن نسبی	وزن قطعی
ویژگی‌های خاک	مقاومت به شوری خاک	۰/۴۳۰	۰/۱۱۸
	مقاومت به کمبود رطوبت خاک	۰/۲۲۱	۰/۰۶۰
	مقاومت به کمبود عناصر غذایی	۰/۱۸۴	۰/۰۵۰
	مقاومت به بافت شنی خاک	۰/۱۱۶	۰/۰۳۲
	مقاومت به pH قلیایی خاک	۰/۰۴۹	۰/۰۱۳

جدول ۱۰. وزن قطعی زیرمعیارهای مرتبط با معیار اقلیم بر حسب اولویت

معیار	زیر معیار	وزن نسبی	وزن قطعی
شرایط اقلیمی	مقاومت به شرایط تبخیر و تعرق	۰/۴۹۱	۰/۰۸۷
	مقاومت به وزش باد	۰/۲۶۹	۰/۰۴۸
	مقاومت به تنش دمایی	۰/۱۴۶	۰/۰۲۶
	مقاومت به شدت تابش نور	۰/۰۹۴	۰/۰۱۶

جدول ۱۱. وزن قطعی زیرمعیارهای مرتبط با معیار شرایط بوم‌شناختی بر حسب اولویت

معیار	زیر معیار	وزن نسبی	وزن قطعی
شرایط بوم-شناختی	مقاومت در برابر عوامل نامساعد محیط (علف های هرز و گونه‌های مهاجم)	۰/۵۹۴	۰/۰۷۰
	مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها	۰/۲۴۹	۰/۰۲۹
	سازگاری با سایر گونه‌ها	۰/۱۵۷	۰/۰۱۸

جدول ۱۲. وزن قطعی زیرمعیارهای مرتبط با معیار آلودگی شهری بر حسب اولویت

معیار	زیر معیار	وزن نسبی	وزن قطعی
آلودگی شهری	مقاومت به آلودگی آب	۰/۳۶۸	۰/۰۲۲
	مقاومت به گرد و غبار خاک	۰/۲۷۷	۰/۰۱۷
	مقاومت به آلودگی خاک	۰/۱۸۰	۰/۰۱۱
	مقاومت به آلاینده‌های سنگین در هوا	۰/۱۰۷	۰/۰۰۶
	مقاومت به آلاینده‌های گازی	۰/۰۶۷	۰/۰۰۴

نتایج حاصل از ارزیابی میزان تاب آوری بوم‌شناختی ۴۵ گونه گیاهی موجود و پیشنهادی پوششی و فصلی در شهر زاهدان از دیدگاه خبرگان در جداول ۱۳ و ۱۴ ارائه شده است. یافته‌ها بیانگر این موضوع است که برخی از گیاهان پوششی موجود مانند گل نیمروزی، چمن فرانکینا، پامپاس گراس و رزماری (جدول ۱۳) و همچنین برخی از گونه‌های گیاهان فصلی مانند گل اختر(بهار و تابستان)، گازانیا (چندساله)، آفتابگردان زینتی (بهار و تابستان) و رعنازیبا (بهار و تابستان) بر حسب اولویت بالاترین رتبه را در بحث تاب‌آوری بوم‌شناختی گیاهان نسبت به معیارهای آب، خاک، اقلیم، شرایط بوم‌شناختی، آلودگی‌های شهری در شرایط محیطی شهر زاهدان از نظر کارشناسان کسب کرده‌اند که می‌توان از آنها جهت کاربرد گسترده در فضاهای سبز شهری استفاده نمود (جدول ۱۴). بر اساس نتایج حاصل از رتبه‌بندی گونه‌های گیاهی در این پژوهش، بیشترین اولویت انتخاب گیاهان تاب‌آور مربوط به گونه‌های بومی و سازگار با شرایط اقلیمی زاهدان است که می‌توانند در توسعه و گسترش سطوح سبز شهری به‌طور مؤثر مورد استفاده قرار گیرند. با این حال، این نتایج به معنای کنار گذاشتن گونه‌های پیشنهادی و غیربومی مقاوم نیست؛ چراکه افزایش تنوع زیستی از طریق ترکیب گونه‌های پوششی و فصلی تاب‌آور با ساختارهای سبز موجود می‌تواند انعطاف‌پذیری اکوسیستم‌های شهری را در برابر تنش‌های محیطی تقویت کند. در واقع تنوع گونه‌ای بالا از گیاهان در فضاهای سبز شهری موجب افزایش تنوع عملکردهای اکولوژیکی و پاسخ‌های متفاوت گیاهان به تغییرات محیطی شده و در نتیجه، به پایداری و کارایی بیشتر سیستم‌های سبز شهری کمک می‌کند (Folke et al., 2010; Elmqvist et al., 2019). نتایج نشان می‌دهد گونه‌هایی که در جداول ۱۳ و ۱۴ در رتبه‌های بالاتر قرار گرفته‌اند، از اولویت بیشتری در انتخاب برخوردار بوده و دارای سطح تاب‌آوری بالاتری در برابر شرایط محیطی نامساعد هستند.

جدول ۱۳. اولویت‌بندی میزان تاب‌آوری گیاهان پوششی براساس نظرات کارشناسان و ترکیب تکنیک AHP و TOPSIS

اولویت گونه	نام گیاه	نام علمی	نوع گیاه	ضریب نزدیکی	اولویت گونه	نام گونه	نام علمی	نوع گیاه	ضریب نزدیکی
۱-	**گل نیمروزی**	*Mesembryanthemum nodiflorum L*	موجود	**۱**	۹-	**سیب‌زمینی شیرین**	*Ipomoea batatas*	پیشنهادی	**۰/۵۱**
۲-	**چمن فرانکینیا**	*Frankenia thymifolia*	موجود	**۰/۷۷**	۱۰-	**پتنتیلیا**	*Potentilla reptans*	پیشنهادی	**۰/۵۱**
۳-	**پامپاس گراس**	*Cortaderia selloana*	پیشنهادی	**۰/۶۹**	۱۱-	**جمن دایکوندرا**	*Dichondra repens*	پیشنهادی	**۰/۴۹**
۴-	**رزماری**	*Rosmarinus officinalis*	موجود	**۰/۶۳**	۱۲-	**شمعدانی معطر**	*Pelargonium graveolens*	پیشنهادی	**۰/۳۸**
۵-	**اسطوخودوس**	*Lavandula angustifolia*	پیشنهادی	**۰/۶۲**	۱۳-	**بابونه**	*Matricaria chamomilla*	پیشنهادی	**۰/۳۵**
۶-	**فستوکا آبی**	*Festuca ovina var glauca*	پیشنهادی	**۰/۶۱**	۱۴-	**عشقه**	*Hedera helix*	پیشنهادی	**۰/۳۰**
۷-	**برگ نقره‌ای**	*Jacobaea maritima*	موجود	**۰/۵۵**	۱۵-	**چمن زینتی**	*Poa pratensis*	موجود	**۰/۰۲**
۸-	**بومادران**	*Achillea millefolium*	پیشنهادی	**۰/۵۳**					

جدول ۱۴. اولویت‌بندی میزان تاب‌آوری گیاهان دائمی و فصلی بر اساس نظرات کارشناسان و ترکیب تکنیک AHP و TOPSIS

اولویت گونه	نام گونه	نام علمی	نوع گیاه	ضریب نزدیکی	اولویت گونه	نام گونه	نام علمی	نوع گیاه	ضریب نزدیکی
۱-	**گل اختر** (بهار و تابستان)	*Canna indica*	موجود	**۰/۸۲**	۱۶-	**ابری آبی** (بهار و تابستان)	*Ageratum houstonianum*	پیشنهادی	**۰/۵۰**
۲-	**گازانیا** (چندساله)	*Gazania rigens*	موجود	**۰/۸۰**	۱۷-	**گل ختمی** (بهار و تابستان)	*Alcea rosea*	موجود	**۰/۴۳**
۳-	**آفتابگردان زینتی** (بهار و تابستان)	*Helianthus debilis*	پیشنهادی	**۰/۷۷**	۱۸-	**کلم زینتی** (پاییز و زمستان)	*Brassica oleraceae*	پیشنهادی	**۰/۴۲**
۴-	**رعنازیبا** (بهار و تابستان)	*Gaillardia*	موجود	**۰/۷۵**	۱۹-	**مارگریت** (چندساله)	*Argyranthemum frutescens*	پیشنهادی	**۰/۴۲**
۵-	**ناز آفتابی** (بهار و تابستان)	*Portulaca grandiflora*	پیشنهادی	**۰/۷۴**	۲۰-	**اطلسی** (بهار و تابستان)	*Petunia*	پیشنهادی	**۰/۳۶**
۶-	**همیشه بهار** (بهار و تابستان)	*Calendula officinalis*	موجود	**۰/۷۳**	۲۱-	**مینای چمنی** (پاییز و زمستان)	*Bellis perennis*	پیشنهادی	**۰/۳۲**
۷-	**لاله عباسی**	*Mirabilis jalapa*	موجود	**۰/۷۱**	۲۲-	**تاج خروس**	*Amaranthus*	موجود	**۰/۳۱**

اولویت گونه	نام گونه	نام علمی	نوع گیاه	ضریب نزدیکی	اولویت گونه	نام گونه	نام علمی	نوع گیاه	ضریب نزدیکی
	(بهار و تابستان)					(بهار و تابستان)			
-۸	**قرنفل** (پاییز و زمستان)	*Dianthus barbatus*	پیشنهادی	**۰/٦۷**	-۲۳	**گل رز** (چندساله)	*Rosa spp*	موجود	**۰/۳۱**
-۹	**اشرفی** (بهار و تابستان)	*Coreopsis*	پیشنهادی	**۰/٦٦**	-۲۴	**آهار** (بهار و تابستان)	*Zinnia elegans*	پیشنهادی	**۰/۳۰**
-۱۰	**کوکب کوهی** (بهار و تابستان)	*Rudbeckia hirta*	پیشنهادی	**۰/٦۵**	-۲۵	**گل داوودی** (چندساله)	*Chrysanthemum*	موجود	**۰/۲۸**
-۱۱	**مریم گلی (چندساله)**	*Salvia officinalis*	پیشنهادی	**۰/٦٤**	-۲۶	**گل میخک** (بهار و تابستان)	*Dianthus chinensis*	پیشنهادی	**۰/۲۷**
-۱۲	**شب بوی خیری** (چندساله)	*Erysimum cheiri*	موجود	**۰/٦۱**	-۲۷	**بنفشه** (پاییز و زمستان)	*Viola*	موجود	**۰/۲۳**
-۱۳	**شب بو معمولی** (بهار و تابستان)	*Matthiola incana*	موجود	**۰/٦۱**	-۲۸	**گل عسلی** (بهار و تابستان)	*Lobularia maritima*	پیشنهادی	**۰/۲۱**
-۱۴	**شاهپسند یکساله** (بهار و تابستان)	*verbena hybrida*	پیشنهادی	**۰/٦۰**	-۲۹	**گل تکمه‌ای** (بهار و تابستان)	*Gomphrena globosa*	موجود	**۰/۲۰**
-۱۵	**میمون** (بهار و تابستان)	*Antirrhinum majus*	موجود	**۰/۵۵**	-۳۰	**جعفری** (بهار و تابستان)	*Tagetes spp*	پیشنهادی	**۰/۰۸**

٤- بحث و نتیجه‌گیری

فضاهای سبز به عنوان سامانه‌های بوم‌شناختی-جامعه‌شناختی، نقش مؤثری در بهبود عملکردهای اکوسیستمی و ارتقای پایداری شهرها ایفا می‌کنند. در اقلیم‌های خشک و بیابانی، ایجاد ساختارهای سبز تاب‌آور در شهرها منوط به انتخاب گونه‌های گیاهی مقاوم و انعطاف‌پذیر نسبت به تنش‌های محیطی است. انتخاب گیاهان تاب‌آور به لحاظ بوم شناختی و کاربرد آن‌ها در ساختار اکوسیستم‌های طبیعی شهری، امکان جذب اختلالات زیست‌محیطی و تداوم ارائه خدمات اکوسیستمی را فراهم می‌سازد. بر این اساس پرداختن به این موضوع در پژوهش حاضر اهمیت یافته است.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که تاب‌آوری الگوهای کاشت فضای سبز در اقلیم خشک و بیابانی شهر زاهدان، بر حسب اولویت تحت تأثیر معیارهایی نظیر آب، ویژگی‌های خاک، اقلیم، شرایط بوم‌شناختی و میزان آلودگی شهری قرار دارد. طبق تحلیل‌های انجام‌شده با استفاده از روش AHP و TOPSIS در این بررسی با استفاده از نظر خبرگان، معیار آب (با وزن قطعی ۰/۳۶۵) بیشترین اهمیت را در تعیین تاب‌آوری گونه‌های گیاهی دارا بوده و پس از آن به ترتیب معیار خاک (۰/۲۷۶)، شرایط اقلیمی (۰/۱۷۹)، شرایط بوم‌شناختی (۰/۱۱۸) و سطح آلودگی شهری (۰/۰۶۲) قرار دارند. همچنین زیرمعیارهایی چون مقاومت گیاهان به کمبود آب، شوری خاک، شرایط تبخیر و تعرق، عوامل نامساعد محیطی و آلودگی آب بر حسب اولویت در این منطقه اهمیت می‌یابند. رتبه‌بندی میزان تاب‌آوری فهرست گونه‌های گیاهان پوششی و فصلی بر اساس نتایج جداول ۱۳ و ۱۴، می‌تواند به عنوان مبنایی برای ارائه طرح‌های کاشت پایدار مناظر سبز شهری در مناطق خشک و بیابانی مشابه با شرایط محیطی زاهدان مورد استفاده قرار گیرد. یافته‌های این پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش عسکرزاده و همکاران و همچنین دارابی و همکاران (Asgarzadeh et al., 2014; Darabi et al., 2023) هم راستا است؛ زیرا نشان می‌دهد که در شرایط محدودیت منابع آبی، خاک نامناسب و تنش‌های اقلیمی، انتخاب گونه‌های گیاهی بومی (از جمله گل نیمروزی، چمن فرانکینیا و گل اختر، گازانیا و ...) و مقاوم به خشکی (از جمله گیاه پوششی رزماری و گل فصلی رعنا زیبا و ...) می‌تواند بیشترین کارایی را در پایداری فضاهای سبز شهری ایفا کند. علاوه بر آن گیاهان پیشنهادی پوششی چون اسطوخودوس، فستوکای آبی، بومادران و پتنتیلیا و همچنین گیاهان پیشنهادی فصلی نیز مانند آفتابگردان زینتی، ناز زینتی، میخک، اشرفی و کوکب کوهی، رتبه تاب‌آوری بالاتری را در میان ۱۰ گیاه اول فهرست گونه‌های تاب‌آور کسب کرده‌اند و قابلیت کاربرد گسترده در فضاهای سبز شهری زاهدان در راستای ارتقای تنوع زیستی گیاهی را دارا هستند. در واقع بر اساس مطالعه فولک و همکاران و فارل و همکاران، افزایش تنوع زیستی گیاهان در زیرساخت‌های سبز شهری در نتیجه اضافه شدن گونه‌های جدید و پیشنهادی می‌تواند منجر به ارتقای تاب‌آوری اکوسیستم‌های طبیعی و تقویت خدمات اکوسیستمی گردد (Folk et al., 2004; Farrell et al., 2022). بر اساس نتایج حاصل از این ارزیابی، گیاهان پوششی چون گل نیمروزی، چمن فرانکینیا، پامپاس گراس و رزماری بیش‌ترین امتیاز را در طبقه‌بندی اولویت کشت در شرایط محیطی شهر زاهدان کسب کرده‌اند (جدول ۱۳) که قابلیت جایگزین شدن گسترده با گونه‌های چمن زینتی را در فضای سبز شهری زاهدان دارند و این موضوع می‌تواند در اولویت برنامه‌های مدیریتی کوتاه‌مدت برنامه‌ریزان فضای سبز شهر زاهدان قرار گیرد، چون که در کاهش مصرف منابع آب در دسترس و قابل استحصال (عمدتاً از منابع آب زیرزمینی) در این شهر کمک شایانی می‌کند. از سوی دیگر کاربرد گونه‌های فصلی چندساله و یکساله از جمله گل اختر (چندساله)، گازانیا (چندساله)، آفتابگردان زینتی (یکساله) و رعنازیبا (یکساله)، گل اشرفی (یکساله)، کوکب کوهی (یکساله) و شاهپسند زینتی (یکساله) و تاج خروس (یکساله)، مارگریت (چندساله)، گل ختمی (یکساله) و گل اطلسی (یکساله) نیز به علت تاب‌آوری بالا نسبت به شرایط نامساعد محیطی زاهدان و تأثیر آن‌ها بر ارتقای زیبایی بصری مناظر شهری در راستای احیاء و توسعه سطوح سبز شهری اهمیت می‌یابند. البته قابل ذکر است که سایر گونه‌های گیاهی ارزیابی شده در این پژوهش نیز بر حسب رتبه کسب شده از دیدگاه خبرگان می‌توانند جهت ایجاد تنوع زیستی گیاهان در طرح‌های فضای سبز شهر زاهدان به کار گرفته شوند. بدیهی است که در این راستا کارشناسان فضای سبز شهری می‌بایست با در نظر گرفتن اولویت‌ها، شرایط و امکانات سایت و همچنین ویژگی‌های بوم‌شناختی، اقتصادی و زیبایی‌شناختی گونه‌های گیاهی از فهرست پیشنهادی موجود، گیاهان مناسب را انتخاب کنند. در این ارتباط دانش برنامه‌ریزان و طراحان فضای سبز شهری در خصوص شرایط زیستی گیاه، شرایط محیطی و عوامل محدودکننده رشد گیاهان در فضاهای سبز شهری تعیین‌کننده است. به طور کلی، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که تقویت تاب‌آوری بوم‌شناختی در فضاهای سبز شهری مناطق خشک، نیازمند رویکردی مبتنی بر انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار با شرایط اقلیمی، خاک و منابع محدود آبی است. توجه به شاخص‌های بوم‌شناختی در طراحی منظر و کاشت گیاهان نه تنها موجب افزایش

پایداری اکوسیستم شهری می‌شود؛ بلکه هزینه‌های نگهداری را در بلندمدت کاهش داده و کارایی مصرف آب را بهبود می‌بخشد. در نهایت پیشنهادات ذیل جهت توسعه فضاهای سبز تاب‌آور در شهر زاهدان قابل ارائه است:

- نهادینه‌سازی دیدگاه بوم‌شناختی در مدیریت فضای سبز شهری.
- تدوین بانک اطلاعاتی گونه‌های گیاهی مقاوم به خشکی و شوری ویژه اقلیم شهر زاهدان.
- بازنگری در طرح‌های توسعه‌ای فضای سبز شهری زاهدان بر اساس رویکرد منظر تاب‌آور وکم نیاز به آب (زری اسکیپ) در بلندمدت.
- توجه به انتخاب مناسب از گیاهان پوششی و فصلی تاب‌آور در فضاهای سبز شهری بر اساس هدف طراحی کاشت، شناخت و تحلیل شرایط محیطی و امکانات سایت.

۵- سپاس‌گزاری

نویسندگان از حمایت‌های معنوی دانشگاه سیستان و بلوچستان و دانشگاه جامع امام حسین (ع) کمال تشکر و قدردانی را دارند.

٦- فهرست منابع

آذری طبس، خدیجه؛ رخشانی نسب، حمیدرضا (۱۴۰۲). ارزیابی و تحلیل سطوح رقابت‌پذیری اقتصادی مناطق شهری، پژوهش موردی: مناطق پنجگانه شهر زاهدان. *فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۱۴(۲)، ۱۰۲-۸۵.

بازدیدی، بهنام؛ هاشمی منفرد، سید آرمان. (۱۴۰۰). تغییرات شوری آب زیر زمینی آبخوان زاهدان در اثر عبور پساب سطحی از آب شیرین کن اسمزمعکوس. *هفتمین کنفرانس بین المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری، مدیریت شهری و محیط زیست*، تهران، ایران.

بلارک، ساناز؛ پایدار، ابوذر؛ صفرزائی، عبدالواحد (۱۴۰۰). ارزیابی مخاطرات ناشی از آلودگی میکروبی و شیمیایی آب شرب روستاهای پیرامون شهر زاهدان در سال ۱۳۹۸. *مخاطرات محیط طبیعی*،۱۰(۲۷)، ۴۷-۶۶.

رنجبر شورآبادی، طه؛ امیرابادی زاده، مهدی؛ خزیمه نژاد، حسین؛ حاجی آبادی، فاطمه (۱۴۰۲). مقایسه روش‌های تجربی و داده‌مبنا در برآورد تبخیر و تعرق مرجع در شهر زاهدان. *نشریه هواشناسی و علوم جوّ*.۶ (۲)، ۱۹۹-۲۱۴.

سالنامه آماری استان سیستان و بلوچستان (۱۳۹۵)، *سرشماری نفوس و مسکن استان سیستان و بلوچستان*. برگرفته از :

شوشتریان، سلمان؛ تهرانی‌فر، علی (۱۳۹۰). *راهنمای شناسایی و کاربرد ۲۲۰ گیاه پوششی در فضای سبز ویژه مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

صابری، مرتضی؛ دهمرده قلعه نو، محمدرضا؛ خطیبی، رسول؛ کریمیان، وحید (۱۴۰۴). بررسی تأثیر فرسایش آبی بر تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک در حوضه آبخیز منزلاب، شهرستان زاهدان. *تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۶ (۷)*.

علی احمد کروری، سودابه؛ شیروانی، انوشیروان؛ متینی زاده، محمد؛ شبستانی، شهیده؛ ولی پور کهرود، حسین (۱۳۸۹). مطالعهٔ تغییرات رویش درختان چنار پنج منطقهٔ شهر تهران. *مجله جنگل ایران*، انجمن جنگلبانی ایران، سال دوم، شماره ۴، ۳۴۵-۳۵۵.

غفاری مقدم، زهرا؛ مرادی، ابراهیم؛ هاشمی تبار، محمود؛ سردارشهرکی، علی (۱۴۰۰). تحلیلی بر بحران آب در بخش کشاورزی منطقه سیستان در سناریوهای مختلف: رهیافت آینده پژوهی. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۵(۲)، ۲۰۱-۲۱۶.

فتحی الهام. ۱۳۹۹، *جمعیت شهری ایران و آینده‌ی آن با نگاهی به جمعیت کلان‌شهرها*. تهران: نشر پژوهشکده‌ی آمار.

قاسمی قهساره، م؛ کافی، م. (۱۳۹۰). *گلکاری علمی و عملی*. تهران: انتشارات مؤلف، چاپ هفتم.

قضاوی، رضا؛ ارست، مینا. (۱۳۹۵). ارزیابی اثر آبیاری با پساب شهری بر تجمع برخی عناصر شیمیایی آلاینده در گیاه و تاثیر آن بر خصوصیات اکولوژیکی گیاه (مطالعه موردی: گیاه اکالیپتوس Eucalyptus globulus). نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان. ۴(۸) :۲۹-۱۳.

کاظمی، احمدعلی؛ کیخا، امیر حمزه. (۱۳۹۳). اثرات جنس خاک در ضریب بازتاب و بررسی آن در شهر زاهدان. *دومین کنگره بین المللی سازه ، معماری و توسعه شهری. تبریز ایران.*

ناروئی، بهروز؛ معرب، یاسر؛ دارابی، حسن . (۱۳۹۹). ارزیابی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر تاب‌آوری الگوی کشت فضاهای سبز شهری در مناطق گرم و خشک (مورد شناسی: شهر زاهدان). *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*. ۱۰(۳۴)، ۲۳-۴۴.

یوسف پور، فاطمه؛ اسدپور، حسن؛ فیض آبادی، یاسر. (۱۳۹۴). مقایسه تطبیقی دومدل تصمیم گیری قطعی و فازی و کاربرد آن در اولویت گذاری ترکیب تولید زراعی. *تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*. ۴۶(۴)، ۸۳۳-۸۴۶.

References

Aburas, M. M., Ho, Y. M., Ramli, M. F., Ash'aari, Z. H. (2018). Monitoring and assessment of urban growth patterns using spatio-temporal built-up area analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(3), 156. doi: 10.1007/s10661-018-6522-9

Ahern, J. (2011). From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 341–343. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.021

Ahmadi, S. S., Karimi. N. (2025). Strategic Financial Management Approaches for Optimization and Improvement of Urban Green Spaces: A Case Study of Isfahan. *Applied Finance and Accounting*. Vol. 10, No.1. http://afa.redfame.com

Ali Ahmad Karuri, S., Shirvani, A., Matinizadeh, M., Shabestani, S., Valipour Kahroud, H. (2011). Study of increment variations in plane tree species at 5 sites in Tehran (case study: Platanus orientalis). *Iranian Journal of Forest*, 2(4), 345-355. https://www.ijf-isaforestry.ir/article_4360_en.html **[In Persian]**

Asgarzadeh, M., Vahdati, K., Lotfi, M., Arab, M., Babaei, A., Naderi, F., Soufi, M.P., Rouhani, G. (2014). Plant selection method for urban landscapes of semi-arid cities (a case study of Tehran). *Urban for. Urban Green*. 13, 450–458. doi: 10.1016/j.ufug.2014.04.006

Azari tabas, K. and Rakhshaninasab, H. R. (2023). Evaluating and Analyzing the Levels of Economic Competitiveness of Urban Zones, Case Study: Five Zones of Zahedan City. *Journal of Urban Ecology Researches*, *14*(2), 85-102. doi: 10.30473/grup.2020.50246.2473. **[In Persian]**

Bazdidi, B., Hashemi Monfared, S. A. (2021). Changes in Groundwater Salinity of the Zahedan Aquifer Caused by the Percolation of Surface Brine Discharge from a Reverse Osmosis Desalination. 7th International Conference on Modern Reasearch in Civil Engineering, Architecture, Urban Management and Environment, Tehran. Iran. https://civilica.com/doc/1669336. **[In Persian]**

Belarak, S., Paidar, A. and Safarzaei, A. (2021). Assessing the risks of microbial and chemical contamination of drinking water in villages around Zahedan in 2019. Journal of Natural Environmental Hazards, 10(27), 47-66. doi: 10.22111/jneh.2020.33056.1616. **[In Persian]**

Bongers FJ, Olmo M, Lopez-Iglesias B, Anten NP, Villar R. (2017). Drought responses, phenotypic plasticity and survival of Mediterranean species in two different microclimatic sites. *Plant Biol (Stuttg)*. 19(3):386-395. doi: 10.1111/plb.12544

Chambers J.C., Allen C.R., Cushman S.A. (2019). Operationalizing Ecological Resilience Concepts for Managing Species and Ecosystems at Risk. *Front. Ecol. Evol*. 7:241. https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00241

Coleman TW, Graves AD, Oblinger BW, Flowers RW, Jacobs JJ, Moltzan BD, Sky Stephens S, Rabaglia RJ. (2023). Evaluating a decade (2011–2020) of integrated forest pest management in the United States. *J Integr Pest Manag*. 2023;14:23. https://doi.org/1 0.1093/jipm/pmad020

Conway, T.M., Vander Vecht, J. (2015). Growing a diverse urban forest: Species selection decisions by practitioners planting and supplying trees. *Landscape and Urban Planning*. 138, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.01.007

Darabi, H.; Moarrab, Y.; Balist, J.; Naroei, B. (2023). Resilient plant species selection for urban green infrastructure development in arid regions: A case of Qom, Iran. *Urban Ecosyst. 26*, 1753–1768. doi: 10.1007/s11252-023-01410-3

Elmqvist, T., Andersson, E., Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Olsson, P., Gaffney, O., Takeuchi, K., Folke, C. (2019). Sustainability and resilience for transformation in the urban century. *Nat Sustain*. 2019;2(4):267–73.

Farrell, C., Livesley, S. J., Arndt, S. K., Beaumont, L., Burley, H., Ellsworth, D., Esperon-Rodriguez, M., Fletcher, T. D., Gallagher, R., Ossola, A., Power, S. A., Marchin, R., Rayner, J. P., Rymer, P. D., Staas, L., Szota, C., Williams, N. S. G., & Leishman, M. (2022). Can we integrate ecological approaches to improve plant selection for green infrastructure? *Urban Forestry and Urban Greening*, 76, 1-11. Article 127732. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127732

Fathi, E. (2020). *Iran's urban population and its future with a look at the metropolitan population*. Tehran: Statistics Research Institute press .**[In Persian]**

Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society*, *15*(4). http://www.jstor.org/stable/26268226

Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., & Gunderson, L. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 557–581. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711

Francini, A., Toscano, S., Ferrante, A., & Romano, D. (2023). Method for selecting ornamental species for different shading intensity in urban green spaces. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1271341. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1271341

Francini, A., Toscano, S., Ferrante, A., Romano, D. (2022). Screening and selection of heavy metal tolerant ornamental plants for urban or peri-urban areas. *Acta Hortic*. 1345, 321-326. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1345.43

Garcia M.J.G., Medina A.S., Corzo E.A., Garcia C.G. (2016). An index to identify suitable species in urban green areas. *Urban for Urban Green*, 16:43–49. https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2016.01.006

Ghafari, S., Kaviani, B., Sedaghathoor, S., & Sadegh Allahyari, M. (2020). Ecological potentials of trees, shrubs and hedge species for urban green spaces by multi criteria decision making. *Urban Forestry and Urban Greening*, 55, 126824. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126824

Ghafarimoghadam, Z., moradi, E., hashemi tabar, M. and Sardar Shahraki, A. (2021). An Analysis of the Water Crisis under Different Scenarios in the Agriculture Sector of Sistan Region: The Approach of Future Studies. *Journal of Water Research in Agriculture*, *35*(2), 201-216. doi: 10.22092/jwra.2021.354315.864. **[In Persian]**

Ghasemi Gehsare, M., Kafi, M. (2011). *Scientific and Practical Floristry*. Tehran: Moalef Press, 7th edition. **[In Persian]**

Ghazavi, R., Arast. M. (2016). Investigation the Effect of Irrigation with Municipal Waste Water on Accumulation of Some Pollutants and Chemicals Elements in Plant and Its Effect on their Ecological Characteristics (A Case Study: Eucalyptus Globulus). *Journal of Plant Ecosystem Conservation* (JPEC); 4 (8) :13-29. http://pec.gonbad.ac.ir/article-1-169-fa.html. **[In Persian]**

Gladkov, E.A., Tashlieva, I.I. & Gladkova, O.V. (2021). Correction to: Ornamental plants adapted to urban ecosystem pollution: lawn grasses and painted daisy tolerating copper. *Environ Sci Pollut Res* 28, 67908. https://doi.org/10.1007/s11356-021-17225-8

Guzzon, G., Kühn, a. N., Hertle, B., & Sjöman, H. (2025). Guidance for Practitioners When Selecting Low-growing Shrubs for Challenging Urban Sites: A Systematic Literature Review of Information on Drought Tolerance and Ecosystem Services. *HortScience, 60(9),* 1453-1461. https://doi.org/10.21273/HORTSCI18664-25

Hardberger, A., Craig, D., Simpson, C., Cox, R.D., Perry, G. (2025). Greening up the City with Native Species: Challenges and Solutions. *Diversity*. 17, 56. https://doi.org/10.3390/d17010056

Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics, 4*(1), 1–23. https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245

Hooks, T., & Niu, G. (2019). Relative Salt Tolerance of Four Herbaceous Perennial Ornamentals. *Horticulturae*, *5*(2), 36. https://doi.org/10.3390/horticulturae5020036

Hunter, M. (2011). Emerging Landscapes: Using Ecological Theory to Guide Urban Planting Design: An adaptation strategy for climate change. Landscape Journal, 30(2), 173–193. http://www.jstor.org/stable/43324373

Hwang, C. L., Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making, Methods and Application: A State –of –The Art Survey, Berlin, Springer- Verlag. https://www.springer.com/gp/book/9783540105589

Jamali, F. S., Khaledi, S., & Razavian, M. T. (2021). Priority Areas for Developing Green Infrastructure in Semi-Arid Cities: A Case Study of Tehran. *Environment and Urbanization ASIA*, *12*(1), 118-135. doi: 10.1177/0975425321990326

Kaya, S., Kaya, M. Y., Çoban, Ö. F., Turan, F., Özgen, N., & Eroğlu, E. (2024). Gray water conditions on the growth of some natural ground cover plants and the water quality of plants. *Forestist*, 74(3), 342-353. https://forestist.org/Content/files/sayilar/453/FRSTST_September_2024-342-353(1).pdf

Kazemi, A. A., Kaykha, A. H. (2014). Effects of soil type on the reflectance coefficient and its investigation in Zahedan city.2nd international congress of structure, architecture and urban development. Tabriz, Iran. https://civilica.com/doc/353185. **[In Persian]**

Klingeman, W. E. (2009). Lawn care and landscape maintenance professional acceptance of insect- and disease-resistant ornamental plants. *HortScience, 44*(6), 1608–1612. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.6.1608

Liu, X., Li, C., Zhao, X., & Zhu, T. (2024). Arid Urban Green Areas Reimagined: Transforming Landscapes with Native Plants for a Sustainable Future in Aksu, Northwest China. *Sustainability*, *16*(4), 1546. https://doi.org/10.3390/su16041546

Liu, Y., Oduor, A. M. O., Zhang, Z., Manea, A., Tooth, I. M., Leishman, M. R., Xu, X., & van Kleunen, M. (2017). Do invasive alien plants benefit more from global environmental change than native plants? *Global Change Biology*, 23, 3363–3370. doi: 10.1111/gcb.13579

Manea, A., Leishman, M. R., & Downey, P. O. (2016). Exotic C4 grasses have increased tolerance to extreme high temperatures compared to co-occurring native C3 grasses. *Biological Invasions, 18*(2), 597–609. https://doi.org/10.1007/s10530-015-1039-2

Mansouri Daneshvar, M.R., Ebrahimi, M. & Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environ Syst Res*, 8(7). https://doi.org/10.1186/s40068-019-0135-3

Nadgórska-Socha A, Kandziora-Ciupa M, Trzęsicki M, Barczyk G. (2017). Air pollution tolerance index and heavy metal bioaccumulation in selected plant species from urban biotopes. *Chemosphere*. Sep; 183:471-482. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.05.128

Narooei, B., Moareb, Y. and Darabi, H. (2020). Evaluation of Effective Components on Resilience of Urban Green Spaces planting Pattern in Hot and Dry Areas (Case Study: Zahedan City). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 10(34), 23-44. **[In Persian]**

Nighswander, G. P., Sinclair, J. S., Dale, A. G., Qiu, J., Iannone B. V. (2021). Importance of Plant Diversity and Structure for Urban Garden Pest Resistance. *Landscape and Urban Planning.* 215:104211. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan. 2021.10421.

Percival, G. C. (2023). Heat tolerance of urban trees − A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, *72*, 127533. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127533

Poland TM, Juzwik J, Rowley A, Huebner CD, Kilgo JC, Lopez VM, et al. (2021). Management of landscapes for established invasive species. In: Poland TM, Patel-Weynand T, Finch DM, Miniat CF, Hayes DC, Lopez VM, editors. Invasive species in forests and rangelands of the United States. Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-45367-1_7

Priya, U.K.; Senthil, R. (2024). Framework for Enhancing Urban Living Through Sustainable Plant Selection in Residential Green Spaces. *Urban Sci*. 8, 235. doi:10.3390/urbansci8040235

Radhakrishnan, M., Kenzhegulova, I., Eloffy, M.G., Ibrahim, W.A., Zevenbergen, C., Pathirana, A. (2019). Development of context specific sustainability criteria for selection of plant species for green urban infrastructure: The case of Singapore. *Sustainable Production and Consumption*, 20, 316–325. doi: 10.1016/j.spc.2019.08.004

Ranjbarshoorabadi, T., Amirabadizadeh, M., khozeymehnezhad, H. and hajiabadi, F. (2023). Comparison of experimental and data-based methods in estimating potential evapotranspiration in Zahedan city. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, *6*(2), 199-214. doi: 10.22034/2645-7261.2024.451030.1228. **[In Persian]**

Rashki, A., Middleton, N.J., Goudie, A.S. (2021). Dust Storms in Iran–Distribution, Causes, Frequencies and Impacts. *Aeolian Res*. 48:100655. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100655

Rihn, A.L., Knuth, M.J., Peterson, B.J., Torres, A.P., Campbell, J.H., Boyer, C.R., Palma, M.A., Khachatryan, H. (2022). Investigating Drivers of Native Plant Production in the United States Green Industry. *Sustainability*, 14, 6774. https://doi.org/10.3390/su14116774

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3), 161–176. https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8

Saaty, Thomas L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–. doi: 10.1504/IJSSCI.2008.017590

Saberi, M., Dahmardeh Ghaleno, M. R., Khatibi, R. and Karimian, V. (2025). Assessment of the Effects of Water Erosion on Changes in Soil Physical, Chemical, and Biological Properties in the Monzelab Watershed, Zahedan County. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *56*(7), 1781-1798. doi: 10.22059/ijswr.2025.395713.669946. **[In Persian]**

Salomon, V.A.P.; Gomes, L.F.A.M. (2024). Consistency Improvement in the Analytic Hierarchy Process. *Mathematics*, 12, 828. https://doi.org/10.3390/math12060828

Sapkota, A., Haghverdi, A., Merhaut, D., Singh, A., & Iradukunda, J. C. (2023). Response of landscape groundcovers to deficit irrigation: An assessment based on Normalized Difference Vegetation Index and Visual Quality Rating. *HortScience*, *58*(3), 274–285. https://doi.org/10.21273/HORTSCI16915-22

Sastre, B., Antón-Iruela, O., Moreno-Delafuente, A., Navas, M. J., Marques, M. J., González-Canales, J., Martín-Sanz, J. P., Ramos, R., García-Díaz, A., & Bienes, R. (2024). Groundcovers improve soil properties in woody crops under semiarid climate. *Agriculture*, *14*(12), 2288. https://doi.org/10.3390/agriculture14122288

Schlautman, B., Bartel, C., Diaz-Garcia, L., Fei, S., Flynn, S., Haramoto, E., Moore, K., Raman, D.R. (2021). Perennial groundcovers: an emerging technology for soil conservation and the sustainable intensification of agriculture. *Emerg Top Life Sci*. 21;5(2):337-347. doi: 10.1042/ETLS20200318

Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H.H., Battaglia, M.L. (2021). Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants*, 10, 259. https://doi.org/10.3390/plants10020259

Shang, X., Zhang, P., Li, X., Wang, Y., & Wu, Z. (2024). Key traits influencing the resistance of Eucalyptus camaldulensis to wind damage in coastal areas of South China. Frontiers in Plant Science, 15, Article 1433670. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1433670

Shi, C.; Zhu, X.; Wu, H.; Li, Z. (2022). Assessment of Urban Ecological Resilience and Its Influencing Factors: A Case StudyoftheBeijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration of China. *Land.* 11, 921. https://doi.org/10.3390/land11060921

Shooshtarian, S., & Tehrani Far, A. (2011). Guide to Identification and Application of 220 Ground Cover Plants for Green Spaces in Tropical and Semi-Tropical Regions**.** *Tehran: University of Tehran Press.* **[In Persian]**

Si, B., Noor, A. I. B. M., & Wen, K. (2024). Linking University Campus Green Space and Students' Mental Health and Well-Being: A Systematic Literature Review. *International Journal of Academic Research in Environment & Geography*, 10(1), 31–47. doi: 10.46886/IJAREG/v10-i1/9120

Singh, L., Sindhu, S.S., Singh, M.C., Jaiswal, S., Ankit Kumar S., Sharma, D.K., Singh, B. A. (2024). Evaluation of tree species using Air Pollution Tolerance Index for urban landscaping in Delhi. *Indian J Agric Sci*. 94(1):86-91. doi: 10.56093/ijas.v94i1.139605

Sjöman, H., Watkins, H., Kelly, L. J., Hirons, A., Kainulainen, K., Martin, K. W. E., & Antonelli, A. (2024). Resilient trees for urban environments: The importance of intraspecific variation. *Plants, People, Planet*. 6(6):1180-1189. doi: 10.1002/ppp3.10518

Statistical Center of Iran. (2016). *Statistical Yearbook of Sistan and Baluchestan Province: Population and Housing Census*. Tehran: Statistical Center of Iran. https://amar.org.ir/population-and-housing-census. **[In Persian]**

Tabassum, S., Beaumont, L. J., Shabani, F., Staas, L., Griffiths, G., Ossola, A., & Leishman, M. R. (2023). Which plant where: A plant selection tool for changing urban climates. *Arboriculture & Urban Forestry*, *49*(4), 190–209. https://doi.org/10.48044/jauf.2023.014

Tartaglia, E.S., Aronson, M.F. (2024). Plant native: comparing biodiversity benefits, ecosystem services provisioning, and plant performance of native and non-native plants in urban horticulture. *Urban Ecosyst.* 27, 2587–2611. https://doi.org/10.1007/s11252-024-01610-5

Toscano, S.; Romano, D.; Lazzeri, V.; Leotta, L.; Bretzel, F. (2025). How Can Plants Used for Ornamental Purposes Contribute to Urban Biodiversity? *Sustainability*, 17(9), 4061. https://doi.org/10.3390/su17094061

Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-Criteria Decision Making: A Comparative Study*. Springer: New York, NY, USA. doi: 10.1007/978-1-4757-3157-6

Wang, Y., and Pan, J. (2024). Landscape-based ecological resilience and impact evaluation in arid inland river basin: a case study of Shiyang River Basin. *Appl. Geogr*. 167, 103299. doi: 10.1016/j.apgeog.2024.103299

Wang, Z., Nepal, P., Kelly, M., Porter, A., Sun, Y., & Zhang, Y. (2025). Morphological and Physiological Responses of Three Ornamental Species to Saline Water Irrigation. *HortiScience*, 60(6), 940–952. https://doi.org/10.21273/HORTSCI18286-24

Wei, Z., Maxwell, T., Robinson, B., Dickinson, N. (2022). Plant Species Complementarity in Low-Fertility Degraded Soil. *Plants* **2022**, *11*(10), 1370. https://doi.org/10.3390/plants11101370

Yaghoubi, S.Z., Hosseini, S.A., Bidhendi, G.N. *et al.* (2022). Assessment of heavy metals in contaminated soils of urban parks in Tehran, Iran. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 19, 12303–12314. https://doi.org/10.1007/s13762-022-04454-8

Yang, M., He, J., Sun, Z., Li, Q., Cai, J., Zhou, Q., Wollenweber, B., Jiang, D., Wang, X. (2023). Drought Priming Mechanisms in Wheat Elucidated by In-Situ Determination of Dynamic Stomatal Behavior. *Front. Plant Sci*. 14, 1138494. https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1138494/full

Yousefpour, F., Asadpour, H., Feizabadi, Y. (2016). Comparison between Definitive and Fuzzy decision models and their application in appointing the priority of agricultural production Combination. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *46*(4), 833-846. doi: 10.22059/ijaedr.2016.58036 **[In Persian]**

Yuan, J., Liu, J., Wang, Y., & Zhang, Y. (2022). Heat tolerance of urban landscape plants under climate change: Implications for species selection in arid cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, *74*, 127650. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127650

Zadegan, Y. R., Behe, B. K., and Gough, R. (2008). Consumer preferences for native plants in Montana residential landscapes and perceptions for naturalistic designs. *J. Environ. Hortic*. 26, 109–114. doi: 10.24266/0738-2898-26.2.109

Zhang F, Qian H. (2024). A comprehensive review of the environmental benefits of urban green spaces. *Environ Res*. 1;252(Pt 2):118837. doi : 10.1016/j.envres.2024.118837

Zhang, Q.; Huang, T.; Xu, S. (2023). Assessment of Urban Ecological Resilience Based on PSR Framework in the Pearl River Delta Urban Agglomeration, China. *Land*, 12, 1089. doi: 10.3390/land12051089