Geography and Environmental Sustainability
Homepage: http://ges.razi.ac.ir/

Identification and Prioritization of Effective Criteria for Establishing Sponge Cities Using the Intuitionistic Fuzzy SWARA Method

Zahra Tangestani[1] | **Hassan Izady**[2] | **Mojtaba Arasteh**[3]

1. Department of Urban Planning and Design, Faculty of Arts and Architecture , Shiraz University, Shiraz, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Urban Planning and Design, Faculty of Arts and Architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: izady@shirazu.ac.ir
3. Department of Urban Planning and Design, Faculty of Arts and Architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 12 Jun 2025
Received in revised form: 10 Sep 2025
Accepted: 21 Sep 2025
Available online: 21 Mar 2026

Keywords:
Sponge city,
Intuitionistic fuzzy SWARA method,
Runoff management,
Sustainable urban development.

ABSTRACT

Sponge Cities have emerged as an innovative strategy for managing surface water and mitigating its impacts in China. This approach, which integrates natural systems with urban environments, seeks to enhance urban resilience, improve the absorption and storage of runoff, and reduce the risks associated with urban flooding—particularly those intensified by climate change and development patterns dominated by impermeable, hard infrastructure.Despite the growing international attention to Sponge Cities, domestic research has yet to provide a comprehensive and integrated analysis of the criteria required for their effective implementation. This gap underscores the need to identify and evaluate the key factors that influence their successful adoption. Accordingly, the present study aims to identify and prioritize the criteria shaping the establishment of Sponge Cities using the intuitionistic fuzzy SWARA method based on circular logic. Relevant criteria were extracted from both domestic and international scientific literature, and their weights were determined through the expert judgments of nine specialists. The results indicate that among the 36 identified criteria, rainfall intensity, the availability of comprehensive data and information systems, the permeability of urban spaces, runoff monitoring systems, and the integration of gray, green, and blue infrastructure received the highest weights, marking them as the most critical factors in realizing Sponge Cities. These findings provide a robust scientific foundation for urban planners and policymakers, enabling them to advance the implementation of Sponge Cities in Iran more systematically and purposefully by identifying and prioritizing the essential criteria of this approach.

Cite this article: Tangestani, Z., Izady, H., & Arasteh, M. (2026). Identification and Prioritization of Effective Criteria for Establishing Sponge Cities Using the Intuitionistic Fuzzy SWARA Method. *Geography and Environmental Sustainability*, *16*(1), 1-28. https://doi.org/10.22126/GES.2025.12324.2887

© The Author (s).
DOI: https://doi.org/10.22126/GES.2025.12324.2887
Publisher: Razi University

جغرافیا و پایداری محیط
وبگاه نشریه: http://ges.razi.ac.ir/

شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر بر ایجاد شهرهای اسفنجی با استفاده از روش سوارای فازی شهودی

زهرا تنگستانی[۱]| حسن ایزدی[۲]| مجتبی آراسته[۳]

۱. بخش شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۲. نویسنده مسئول، بخش شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: izady@shirazu.ac.ir
۳. بخش شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
شهر اسفنجی،
روش سوارای فازی شهودی،
مدیریت رواناب،
توسعه شهری پایدار.

چکیده

شهرهای اسفنجی به‌عنوان یک راهکار نوین در راستای مدیریت آب‌های سطحی و کاهش اثرات آن در کشور چین مطرح گردید. این رویکرد که با تلفیق عناصر طبیعی با عناصر محیط‌های شهری انجام شده بود به دنبال افزایش تاب‌آوری شهری، بهبود جذب و ذخیره رواناب‌ها و کاهش خطرات ناشی از سیلاب‌های شهری است تا اثرات منفی تغییرات اقلیمی و رویکرد توسعه‌ای مبتنی بر زیرساخت‌های سخت و غیر قابل نفوذپذیر را کاهش دهد. باوجود توجه گسترده به شهرهای اسفنجی در مطالعات بین‌المللی، تحلیل جامع و یکپارچه‌ای دررابطه‌با معیارهای اجرایی آن در پژوهش‌های داخلی ارائه نشده است. این خلأ، ضرورت تعیین معیارهای مؤثر بر اجرای آن را برجسته می‌سازد. به همین منظور هدف پژوهش حاضر، شناسایی و رتبه‌بندی معیارهای مؤثر بر ایجاد شهرهای اسفنجی با استفاده از روش سوارای فازی شهودی با منطق دایره‌ای است. در همین راستا در مطالعه حاضر، معیارهای مرتبط با شهر اسفنجی از مطالعات علمی داخلی و خارجی استخراج و با دریافت نظر ۹ متخصص، وزن‌دهی آن‌ها انجام شده است. یافته‌های پژوهش نشان داد که از میان ۳۶ معیار مستخرج شده، شدت بارش، وجود پایگاه‌های جامع داده اطلاعات، میزان نفوذپذیری فضاهای شهری، سیستم‌های سنجش میزان رواناب و یکپارچگی میان زیرساخت‌های خاکستری؛ سبز و آبی با بیشترین میزان وزن تخصیص‌یافته، از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تحقق شهرهای اسفنجی محسوب می‌شوند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند مبنای علمی قابل‌اتکایی برای برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران فراهم کند تا با شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای کلیدی این رویکرد، فرایند اجرایی شهرهای اسفنجی را در ایران به‌صورت نظام‌مند و هدفمند پیش برند.

استناد: تنگستانی، زهرا؛ ایزدی، حسن؛ آراسته، مجتبی (۱۴۰۵). شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر بر ایجاد شهرهای اسفنجی با استفاده از روش سوارای فازی شهودی. *جغرافیا و پایداری محیط*، *۱۶*(۱)، ۱-۲۸. https://doi.org/10.22126/GES.2025.12324.2887

نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22126/GES.2025.12324.2887
ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

در دهه‌های اخیر، رشد سریع شهرها به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه، منجر به گسترش بی‌رویه و بدون برنامه بافت‌های شهری شده است. این روند باعث کاهش قابل‌توجه سطوح نفوذپذیر زمین در شهرها و افزایش فشار بر منابع طبیعی و زیست‌محیطی شده است (Hibbs & sharp, 2012; Jiang et al., 2024). پیامدهای این تغییرات شامل افزایش دمای محیط، بروز پدیده‌های جزیره گرمایی شهری، تغییرات نامتوازن در الگوهای بارش، کاهش ظرفیت جذب و ذخیره‌سازی آب باران و افزایش رواناب سطحی است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم، به تشدید مخاطراتی چون سیلاب‌های شهری و خشکسالی‌های پی‌درپی منجر شده‌اند (Roseen et al., 2011; Higashiyama et al., 2016).

در ایران نیز این چالش‌ها به دلیل توسعه گسترده و ناهماهنگ با اصول برنامه‌ریزی شهری و مدیریت پایدار به‌شدت نمود یافته‌اند (پرهیزگار و همکاران، ۱۴۰۰). سیلاب‌های شهری که بخش عمده‌ای از آن ناشی از ساخت‌وسازهای غیر اصولی و کاهش سطح‌های نفوذپذیر است، همراه با اثرات تغییرات اقلیمی، ضرورت بازنگری اساسی در شیوه‌های مدیریت منابع آب و رواناب‌های شهری را بیش از پیش مطرح ساخته است (Liu et al, 2015; Jia et al., 2017). اختلال در چرخه طبیعی آب و کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی و نفوذ آب باران، معضلاتی هستند که مدیریت سنتی شهری قادر به پاسخگویی به آن‌ها نیست و به راهکارهای نوین و جامع در مدیریت پایدار آب نیازمند است.

رویکرد شهر اسفنجی[1] که نخستین‌بار در سال ۲۰۱۳ معرفی شد، به‌عنوان یک راهکار نوین و جامع برای مدیریت پایدار آب باران در مناطق شهری مطرح گردیده است (Zhiliang, 2012; Ji & Bai, 2021). این رویکرد ضمن افزایش ظرفیت جذب و ذخیره رواناب، کیفیت آب را بهبود داده و از وقوع سیلاب‌های شهری جلوگیری می‌کند (Wang et al., 2021; Gu & Cui, 2017). علاوه بر این، شهرهای اسفنجی سامانه‌هایی با توان بالا در کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی هستند که تاب‌آوری و پایداری شهری را افزایش می‌دهند (Demuzere et al., 2014; Jiao et al., 2017; Lashford et al., 2019; Koster, 2021; Zha et al., 2024).

باوجود کاربرد گسترده رویکرد شهر اسفنجی در بسیاری از کشورها، این مفهوم در ایران هنوز به طور جامع و عملیاتی مورد بهره‌برداری قرار نگرفته است. نبود یک چارچوب علمی منسجم برای شناسایی عوامل کلیدی، تعیین معیارهای مؤثر و اولویت‌بندی آن‌ها، مانعی جدی در تدوین سیاست‌های کارآمد و اجرای برنامه‌های مؤثر جهت پیاده‌سازی این رویکرد به شمار می‌رود. در این راستا، این پژوهش با بهره‌گیری از روش نوآورانه سورای فازی شهودی با منطق دایره‌ای که برای نخستین بار در این حوزه به کار گرفته می‌شود، تلاش دارد معیارهای کلیدی مؤثر بر ایجاد شهرهای اسفنجی را که از طریق مطالعات نظری شناسایی شده‌اند، اولویت‌بندی کند. هدف این پژوهش، شناسایی و رتبه‌بندی معیارهای تأثیرگذار در شکل‌گیری شهر اسفنجی با استفاده از این روش نوین و داده‌محور است. براین‌اساس، پژوهش حاضر دو پرسش اساسی را مورد بررسی قرار می‌دهد:

۱. معیارهای مؤثر بر ایجاد شهر اسفنجی کدام‌اند؟

۲. هر یک از معیارهای مؤثر در ایجاد شهر اسفنجی چه میزان نقش و اهمیت در تحقق این رویکرد دارند؟

در مواجهه با چالش‌هایی نظیر سیلاب‌های مکرر شهری، بحران تأمین آب و مسائل مربوط به امنیت منابع آبی، کشور چین با بهره‌گیری از تجربیات کشورهای توسعه‌یافته در مدیریت آب شهری، رویکرد شهر اسفنجی را در سال ۲۰۱۳ معرفی کرد و دو سال بعد از آن، دستورالعمل کاملی به نام «راهنمای فنی در مورد ساخت‌وساز شهر اسفنجی» توسط وزارت مسکن و توسعه شهری و روستایی صادر شد (Song et al., 2020; Hamidi et al., 2021; Zhou et al., 2021) و این‌گونه تبیین شد که اساس پایه‌گذاری آن، استفاده از طبیعت در طراحی، اجرای زیرساخت‌های شهری در مقیاس‌های مختلف برای کنترل کمیت، مدیریت کیفیت، تأمین منابع آب و جلوگیری از آلودگی استفاده می‌شود (Hao et al., 2023). این رویکرد، به‌عنوان نسل نوینی از شیوه‌های مدیریت آب شهری، بر افزایش ظرفیت شهرها در جذب، ذخیره‌سازی، تصفیه و استفاده مجدد از

1. Sponge City

آب‌های سطحی تأکید دارد (صمیمی و همکاران، ۱۴۰۱).

در چارچوب این راهبرد، مجموعه‌ای از اقدامات ساختاری و محیطی، شامل سلول‌های نگهدارنده زیستی، سطوح نفوذپذیر در فضاهای شهری مانند میادین، پارکینگ‌ها و پیاده‌روها، پوشش‌های گیاهی گسترده و سایر عناصر طبیعی، به کار گرفته می‌شود. هدف از این طراحی، عملکرد شهر به‌عنوان یک اسفنج در هنگام بارندگی است، به‌گونه‌ای که بتواند ضمن کاهش خطر سیلاب، آب‌گرفتگی و تخلیه آلاینده‌ها، تاب‌آوری شهری را در برابر تغییرات محیطی افزایش داده و زمینه‌ساز تطبیق‌پذیری بهتر شهر با مخاطرات طبیعی، به‌ویژه سیلاب‌های ناگهانی باشد (Hao et al., 2023). مفهوم «شهر اسفنجی» تعاریف متعددی دارد که هر یک از زوایای مختلف به تبیین این مفهوم پرداخته‌اند. در جدول ۱، این مفاهیم بر اساس دیدگاه‌ها و تحقیقات مختلف کارشناسان و پژوهشگران ارائه شده است.

جدول ۱. مفهوم شهر اسفنجی از دیدگاه‌ها و تحقیقات مختلف (Shang et al., 2023)

پژوهشگر	تاریخ	تعریف
The MOHURD (وزارت مسکن و توسعه شهری و روستایی چین)	نوامبر ۲۰۱۴	شهر مانند یک اسفنج با «انعطاف‌پذیری» خوب در انطباق با تغییرات محیطی و مقابله با بلایای طبیعی ساخته شده است که می‌تواند آب را در هنگام بارش جذب، ذخیره، تراوش و تصفیه کند و تأثیر کمی دارد.
Qiu	ژانویه ۲۰۱۵	ماهیت این است که مفهوم سنتی ساخت‌وساز شهری را تغییر دهد و از یک مدل توسعه کم‌تأثیر یعنی هماهنگ با طبیعت پیروی کند. ساخت‌وساز شهر اسفنجی به‌عنوان طراحی کم‌تأثیر و توسعه کم‌تأثیر نیز شناخته می‌شود.
Che et al.	آوریل ۲۰۱۵	زیرساخت‌های «خاکستری» و «سبز» باید به‌عنوان زیرساخت‌های انعطاف‌پذیر برای آب باران ساخته شوند. این می‌تواند از آب به طور مؤثر استفاده کند و شهرها را قادر می‌سازد تا طوفان‌های شدید باران و همچنین تغییرات آب‌وهوایی را مدیریت کنند و اکوسیستم‌های شهری را حفظ کند.
Yu et al.	ژوئن ۲۰۱۵	«شهر اسفنجی» به‌عنوان یک رویکرد اکولوژیک مدیریت آب شهری، احداث زیرساخت‌های هیدرواکولوژیکی چند مقیاسی است.
The MOHURD (وزارت مسکن و توسعه شهری و روستایی چین)	اکتبر ۲۰۱۵	ساخت‌وساز شهر اسفنجی باید اقدامات «نفوذ، نگهداری، نگهداری، تصفیه، بهره‌برداری و تخلیه» را انجام دهد تا تأثیر فعالیت‌های توسعه شهری و ساخت‌وساز بر محیط‌زیست را به حداقل برساند.
Wang	سپتامبر ۲۰۱۷	در شهر اسفنجی غرقابی وجود ندارد و آلودگی ناشی از طوفان باران تحت کنترل است. آب باران قابل‌استفاده مجدد است.
Xia	اکتبر ۲۰۱۷	احداث شهر اسفنجی مستلزم برنامه‌ریزی یکپارچه، اتصال شفاف و هماهنگی اقدامات و روابط اسفنجی بین بخش‌های مختلف است.
Ren	ژوئیه ۲۰۱۷	شهر اسفنجی به‌عنوان یک مفهوم و مدل نوین ساخت‌وساز توسعه شهری، بخشی از بهبود همه‌جانبه منابع آب شهری و محیط‌زیست آب با تمرکز بر حل غرقابی شهری و زوال محیط‌زیست آب شهری است.
The MOHURD (وزارت مسکن و توسعه شهری و روستایی چین)	دسامبر ۲۰۱۸	ساخت شهر اسفنجی از مفهوم «کاهش منبع، کنترل فرایند و اصلاح سیستماتیک» پیروی می‌کند، بر نقش اکولوژی آب شهری و عملکرد محیط‌زیست آب تأکید می‌کند و بهبود کلی عملکرد منطقه شهری را برجسته می‌کند.
وزارت مالیه به طور مشترک با وزارت اطلاعات و فرهنگ و وزارت منابع آب چین	ژوئن ۲۰۲۱	شهر اسفنجی ساخت‌وساز زهکشی و تأسیسات کنترل سیل، بهبود محیط‌زیست آب شهری، ترمیم اکولوژیکی شهری، ساخت فضای سبز و... را هماهنگ می‌کند.

مفهوم «شهر اسفنجی» به یک رویکرد جامع برای مدیریت منابع آبی و بهبود کارایی اکولوژیکی در مقیاس‌های مختلف اشاره دارد. این رویکرد به سه مقیاس کلان، متوسط و خرد تقسیم می‌شود (شکل ۱) که هر کدام به نوبه خود نقش مهمی در ایجاد یک شهر مقاوم در برابر سیلاب و مدیریت پایدار منابع آب دارند که این سلسله‌مراتب در هر مقیاس به دنبال تحقق ساختار پایدار و مقاوم برای شهر اسفنجی است که می‌تواند در برابر تغییرات اقلیمی و بحران‌های آبی پاسخگو باشد (Jiang et

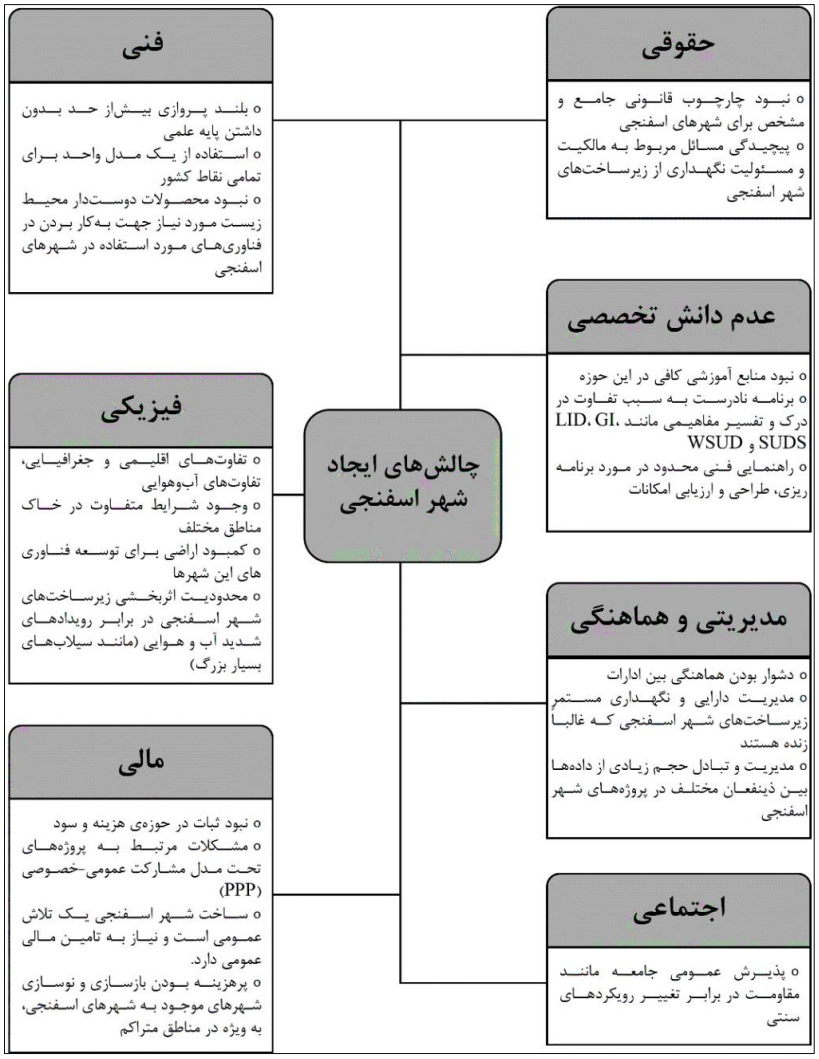
.al., 2022)

شکل ۱. حوزه عملکردی شهر اسفنجی در مقیاس‌های مختلف (Jiang et al, 2022)

در مسیر دست‌یابی به پایداری شهری، هر رویکرد متشکل شده از مجموعه‌ای از اهداف و مزایا است که شهر اسفنجی به‌عنوان یکی از نمودهای پایداری شهری در مدیریت آب‌های سطحی شهری، نیز از این اصل مستثنا نیست. شکل ۲ به طور ساختاریافته به تبیین اهداف و مزایا این رویکرد پرداخته است.

شکل ۲. مزایا و اهداف شهر اسفنجی (تنگستانی و همکاران، ۱۴۰۴، با استناد از صمیمی و همکاران، ۱۴۰۲؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲؛ Shao et al., 2018; Li, 2024; Yin et al., 2021; Nguyen, 2020; Yuan, 2024;)

رویکرد شهر اسفنجی، علی‌رغم نوپایی خود، توانسته است در کشورهای مختلف از جمله چین، سنگاپور و نیوزلند، تأثیرات اجرایی قابل‌توجهی را به نمایش بگذارد (Han & Wu., 2019; Qiao et al., 2020; Zhang et al., 2022; Peng & Reilly, 2021; Wang et al., 2022 ; Chen et al., 2021 ;Liu & Dai, 2019 ; sun, 2019; Jiayu et al., 2018)با این حال، این راهکار نوین مانند سایر رویکردها با چالش‌هایی مواجه است که در شکل ۳ به بررسی آن پرداخته شده است. شناسایی دقیق چالش‌ها بدون شک می‌تواند نقش بسزایی در موفقیت فرایند پیاده‌سازی داشته باشد. در این راستا، توجه به این چالش‌ها نه‌تنها برای طراحی و اجرای زیرساخت‌های شهری مبتنی بر اصول شهر اسفنجی ضروری است، بلکه می‌تواند در افزایش اثربخشی اقدامات مدیریتی، بهبود تاب‌آوری شهری و کاهش تبعات ناشی از بحران‌های محیطی مؤثر باشد. رویکردی که بدون درنظرگرفتن موانع و محدودیت‌های اجرایی اتخاذ شود، ممکن است با مشکلات عملیاتی مواجه شده و دست‌یابی به اهداف پایدار مدیریت منابع آب شهری را با دشواری همراه سازد؛ بنابراین، دانستن این چالش‌ها از جنبه‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.



شکل ۳. چالش‌های ایجاد شهر اسفنجی (تنگستانی و همکاران، ۱۴۰۴، با استناد از ;Guan et al., 2021؛ صمیمی و همکاران، ۱۴۰۱؛ جانی‌پور و امینی‌فرد، ۱۴۰۲؛ He et al., 2019؛ Li et al., 2017)

افزون بر این، بسیاری از پژوهشگران به ابعاد و مؤلفه‌های ایجاد شهر اسفنجی و تأثیر آن پرداخته‌اند؛ مثلاً نوری و رضایی (۱۴۰۲)، در پژوهشی به ارزیابی تحلیل فرصت‌ها و چالش‌های اجرایی سیاست بازیافت آب در طرح شهر اسفنجی پرداختند. آن‌ها در این پژوهش به ارزیابی معیارهای همچون وجود دوره‌ها و کمپین‌ها برای افزایش آگاهی عمومی درباره مسائل

زیست‌محیطی و اهمیت پروژه‌های پایدار، فناوری‌های نوین، وجود فضاهای نفوذپذیر شهری و... اشاره کرده‌اند. زیاری و منصوری اطمینان (۱۴۰۲)، در پژوهشی به واکاوی نقش شکل‌گیری شهرهای اسفنجی بر کاهش آسیب‌پذیری‌های ناشی از سیلاب‌های شهری در شهر مشهد پرداختند. آن‌ها در این پژوهش به دنبال بررسی تأثیر معیارهای اصلی شهر اسفنجی مانند روسازی‌های نفوذپذیر و متخلخل، تأسیسات بیولوژیکی (تالاب‌ها و گودال‌های نفوذ)، وجود سیستم‌های سبز شهری (بام سبز، فضاهای سبز، باغ‌های بارانی، دیوار سبز) در میزان کاهش آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب‌های شهری بودند.

لی و همکاران، در پژوهش خود به بررسی چالش‌ها و فرصت‌های مرتبط با ساخت شهر اسفنجی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که تحقق و بهره‌گیری کامل از این رویکرد شهری مستلزم توجه به مجموعه‌ای از معیارهای کلیدی است. از جمله این معیارها می‌توان به توسعه زیرساخت‌های شهری مناسب، ایجاد برنامه‌های آموزشی و کمپین‌های آگاهی‌بخش برای ارتقای دانش عمومی در زمینه مسائل زیست‌محیطی، تأکید بر اهمیت پروژه‌های پایدار، انجام ارزیابی‌های اقتصادی جامع برای سنجش کارآمدی پروژه‌ها و ضرورت هماهنگی میان نهادهای مختلف دولتی و غیردولتی اشاره کرد (Li et al., 2017). نگوین و همکاران در پژوهش خود به بررسی فرایند پیاده‌سازی رویکرد مدیریت آب شهری مبتنی بر مفهوم شهر اسفنجی پرداخته‌اند. این مطالعه به ارزیابی معیارهای کلیدی از جمله میزان یکپارچگی میان زیرساخت‌های خاکستری، سبز و آبی، سطح مدیریت کیفیت منابع آبی (نظیر رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی) و تدوین استراتژی‌های بلندمدت در راستای بهره‌برداری پایدار از منابع آب شهری اختصاص‌یافته است (Nguyen et al., 2020).

هی و همکاران، در پژوهش خود به بررسی رویکرد منافع مشترک در راستای ایجاد فرصت‌هایی برای پیاده‌سازی شهر اسفنجی و کاهش اثر جزیره گرمایی شهری پرداختند. این مطالعه به ارزیابی مجموعه‌ای از معیارهای کلیدی، از جمله میزان یکپارچگی میان زیرساخت‌های خاکستری، سبز و آبی، توسعه سیستم‌های سبز شهری نظیر بام سبز و دیوار سبز، برگزاری دوره‌ها و کمپین‌های آموزشی با هدف ارتقای آگاهی عمومی درباره مسائل زیست‌محیطی و اهمیت پروژه‌های پایدار و نقش کمیته‌های مشترک میان دولت و بخش خصوصی در بهبود هماهنگی و اجرای مؤثر این اقدامات، پرداخته است (He et al., 2019).

یانگ و ژنگ، در پژوهش خود به برنامه‌ریزی ساختار فضایی و تدوین استراتژی‌های بهینه‌سازی شهر اسفنجی در مناطق ساحلی پرداختند. این مطالعه به بررسی معیارهای کلیدی در مدیریت آب شهری، از جمله توسعه و بهینه‌سازی زیرساخت‌های شهری، توزیع مطلوب فضاهای نفوذپذیر و نفوذناپذیر و مقاوم‌سازی محیط‌های شهری و سازه‌ها در برابر سیلاب‌ها و رواناب‌های سطحی پرداخته است (Yang & Zheng, 2020). علاوه بر این بررسی‌های تفصیلی، تحلیل‌های گسترده‌تری بر اساس مرور منابع متعدد انجام شده است که در جدول ۲ ارائه شده‌اند. در این جدول، معیارهای استخراج‌شده از مطالعات مختلف به تفکیک معرفی شده‌اند و همچنین تعداد تکرار ارجاع به هر معیار در پژوهش‌های موجود مشخص گردیده است. این جدول مبنای مناسبی برای سنجش میزان تأکید مقالات علمی بر هر معیار است.

جدول ۲. معیارهای موثر بر ایجاد شهر اسفنجی

معیار	منابع	تعداد تکرار
زیرساخت‌های شهری	(اسدی و اخترکاوان، ۱۳۹۹؛ حاجی الیاسی، ۱۳۹۷؛ هاشم‌پور و شجاع رضوی، ۱۳۹۶؛ جانی‌پور و امینی فرد، ۱۴۰۲؛ Li et al.,2017;Zhao et al., 2021;Xia et al., 2017)	۷
جنس خاک و ویژگی‌های فیزیکی آن	Liu & Jensen, 2018; Chen et al., 2021; Liu & Dai, 2017 ; Shao et al., 2018; Song, 2022; Yao et al., 2022; Luo et al., 2022	۷
سیستم‌های سنجش میزان رواناب	Han & Wu, 2019; Huang et al., 2020; Zhang et al., 2022; Liu & Jensen, 2018; Zhao et al., 2021; Wang et al., 2022; Li et al., 2017; Mei et al., 2018	۸
وجود سازه‌های (حوضچه‌ها و مخازن) ذخیره آب	Zhang et al, 2022; Zaręba et al., 2022; Liu & Dai, 2017; Chen et al., 2021; Chan et al., 2018; Nguyen et al., 2020	۶

ادامه جدول ۲.

معیار	منابع	تعداد تکرار
فناوری‌های نوین (بتن متخلخل و تصفیه آب باران)	(جانی‌پور و امینی فرد، ۱۴۰۲؛ خسروی و همکاران، ۱۴۰۱؛ زیاری و منصوری اطمینان ، ۱۴۰۲؛ صمیمی و همکاران، ۱۴۰۱؛ یمانی و همکاران، ۱۴۰۰؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲: پ Guan et al., 2021; Shao et al., 2018; Yao et al., 2022; Luo et al., 2022; Liu & Jensen, 2018 ; Chan et al., 2018; Nguyen et al., 2020	۱۳
وجود فضاهای نفوذپذیر شهری (پارکینگ‌ها، میدان، جاده‌ها و پیاده‌روهای دارای شرایط نفوذپذیر آب‌های سطحی)	Chen et al., 2021; Liu & Dai, 2017; Shao et al., 2018; Song, 2022;Yao et al., 2022; Luo et al., 2022; Liu & Jensen, 2018; Chan et al., 2018 جمشیدی، ۱۴۰۳؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲: پ	۱۰
وجود زهکش‌های زیستی (گودال‌های بیو - رینگ، گذرگاه‌های گیاهی، استخرهای تصفیه طبیعی)	Zhang et al., 2022; Liu & Jensen, 2018; Zaręba et al., 2022; Liu & Dai, 2017; Xia et al., 2017; Wang et al., 2017	۶
یکپارچگی میان زیرساخت‌های خاکستری، سبز و آبی	نوری و همکاران، ۱۴۰۲؛ He et al., 2019; Nguyen et al., 2020; Yin et al.,2021; Zhang et al., 2022; Zaręba et al., 2022; Xia et al., 2017; Liu & Jensen, 2018	۸
توزیع بهینه فضاهای نفوذپذیر و نفوذناپذیر	Zaręba et al., 2022; Wang et al., 2022; Liu & Dai, 2017	۳
لایه‌های خارجی نفوذپذیر ساختمان (پوسته‌های نفوذپذیر)	جمشیدی، ۱۴۰۳؛ Zhao et al., 2021; Liu & Dai, 2017	۳
مقاوم‌بودن فضا و سازه در برابر سیلاب و رواناب‌ها (فرم فضاهای شهری و ساختمان‌ها)	جمشیدی، ۱۴۰۳؛ Zaręba et al., 2022	۲
توجه به اشکال مختلف زمین (شیب زمین، سطوح مقعر و محدب و...) در ایجاد فضاها و ساختمان‌ها	Zaręba et al., 2022); Chen et al., 2021	۲
میزان بارش	Zhao et al., 2021; Xia et al., 2017	۲
میزان تبخیر	Zhao et al., 2021; Xia et al., 2017	۲
حفاظت از منابع آبی طبیعی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و منابع آب زیرزمینی)	هاشم‌پور و شجاع رضوی، ۱۳۹۶؛ جانی‌پور و امینی‌فرد، ۱۴۰۲؛ نوری و همکاران، ۱۴۰۲؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲:پ؛ Liu & Jensen, 2018; Chen et al., 2021; Liu & Dai, 2017	۷
حفاظت از تأسیسات بیولوژیکی (تالاب، مناطق حائل گیاهی)	جانی‌پور و امینی‌فرد، ۱۴۰۲؛ زیاری و منصوری اطمینان ، ۱۴۰۲؛ صمیمی و همکاران، ۱۴۰۱؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲:پ؛ Nguyen et al., 2020; Zhang et al., 2022; Liu & Jensen, 2018; Zaręba et al., 2022; Liu & Dai, 2017; Chan et al., 2018	۱۰
وجود سیاست‌های حمایتی دولت‌ها و نهادهای محلی	جمشیدی، ۱۴۰۳؛ Luo et al., 2022; Li et al.,2017; Xia et al., 2017; Liu & Jensen, 2018; Jiang et al., 2018	۶
وجود فضای سبز و محوطه‌های سبز	جانی‌پور و امینی فرد، ۱۴۰۲؛ زیاری و منصوری اطمینان، ۱۴۰۲؛ جمشیدی، ۱۴۰۳؛ هاشم‌پور و شجاع رضوی، ۱۳۹۶؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲ ب؛ Zaręba et al., 2022; Shao et al., 2018 ; Liu & Dai, 2017	۸
وجود زیستگاه‌های آبی (مانند تالاب‌ها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها)	جانی‌پور و امینی‌فرد، ۱۴۰۲؛ زیاری و منصوری اطمینان، ۱۴۰۲؛ صمیمی و همکاران، ۱۴۰۱؛نوری و رضایی، ۱۴۰۲: پ ؛ نوری و همکاران، ۱۴۰۲؛ Nguyen et al., 2020; Zhang et al., 2022; Liu & Jensen, 2018; Zaręba et al., 2022; Liu & Dai, 2017 ; Chen et al., 2021	۱۱
مدیریت کیفیت آب (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، آب‌های زیرزمینی)	He et al., 2019; Han & Wu, 2019; Nguyen et al., 2020; Huang et al., 2020; Zhang et al., 2022;Liu & Jensen, 2018; Wang et al., 2022; Chen et al., 2021; Liu & Dai, 2017	۹

ادامه جدول ۲.

معیار	منابع	تعداد تکرار
وجود سیستم‌های سبز شهری (بام سبز و دیوار سبز)	راسی، ۱۳۹۶؛ جانی‌پور و امینی‌فرد، ۱۴۰۲؛ خسروی و همکاران، ۱۴۰۱؛ صمیمی و همکاران، ۱۴۰۱؛ هاشم‌پور و شجاع رضوی، ۱۳۹۶؛زیاری و منصوری اطمینان، ۱۴۰۲؛ جمشیدی، ۱۴۰۳؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲:ب ؛ Zaręba et al., 2022; He et al., 2019; Shao et al., 2018; Song, 2022; Yao et al., 2022 ;Chen et al.,2021; Nguyen et al., 2020; Luo et al., 2022 ; Liu & Dai, 2017; Chan et al., 2018; Liu & Jensen, 2018; Wang et al., 2017	۲۰
تعامل و همکاری میان شهروندان، برنامه‌ریزان و دولت مرکزی از طریق افزایش مشارکت عمومی در تصمیم‌گیری‌ها و اجرای پروژه‌های شهر اسفنجی	جانی‌پور و امینی‌فرد، ۱۴۰۲؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲: الف ؛ He et al., 2019; Jiang et al., 2018; Li et al.,2017;Wang et al., 2022; Wang et al., 2021; Liu & Jensen, 2018;	۸
وجود دوره‌ها و کمپین‌ها برای افزایش آگاهی عمومی درباره مسائل زیست‌محیطی و اهمیت پروژه‌های پایدار	(جمشیدی، ۱۴۰۳؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲: الف ؛ He et al., 2019؛ Luo et al., 2022؛ Liu & Dai, 2017; Wang et al., 2022; Li et al., 2017,)	۸
مشارکت و حمایت بخش خصوصی (ارائه مشوق‌ها و تسهیلات ویژه برای بخش خصوصی در پروژه‌های زیست‌محیطی و شهری)	(خسروی و همکاران، ۱۴۰۱؛ جمشیدی، ۱۴۰۳؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲: الف؛ Li et al.,2017؛ Liu & Dai, 2017؛ Liu & Jensen, 2018؛ Wang et al., 2017)	۷
وجود یارانه‌ها و تسهیلات مالی دولتی (برای پروژه‌های زیست‌محیطی و شهری)	(He et al., 2019؛ Jiang et al., 2018؛ Luo et al., 2022؛ Liu & Dai, 2017؛)	۴
ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها (تحلیل‌های مالی برای سنجش کارایی و توجیه اقتصادی پروژه‌ها)	(Huang et al., 2020؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲:پ؛ Li et al.,2017؛ Liu & Dai, 2017؛ Xia et al., 2017؛ Li et al., 2017؛ Mei et al., 2018؛ Liu & Jensen, 2018)	۸
محاسبه هزینه‌های بلندمدت (بررسی هزینه‌های نگهداری و اجرای پروژه‌ها در بلندمدت و بهینه‌سازی منابع مالی)	(Huang et al., 2020؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲:پ؛ Li et al.,2017؛ Liu & Dai, 2017؛ Li et al., 2017؛ Mei et al., 2018؛ Liu & Jensen, 2018)	۷
وجود استراتژی‌های بلندمدت برای مدیریت منابع آبی	(جمشیدی، ۱۴۰۳؛ Wang et al., 2022؛ Jiang et al., 2018؛ Chen et al., 2021؛ Liu & Dai, 2017؛ Nguyen et al., 2020؛ Liu & Jensen, 2018؛ Wang et al., 2017)	۸
وجود اولویت‌بندی پروژه‌های زیست‌محیطی و شهری و تخصیص منابع	(جمشیدی، ۱۴۰۳؛ Wang et al., 2022؛ Jiang et al., 2018؛ Chen et al., 2021؛ Liu & Dai, 2017؛ Liu & Jensen, 2018؛ Wang et al., 2017)	۷
وجود هماهنگی میان بخش‌های نهادهای مختلف دولتی (راه و شهرسازی، نیرو، شهرداری و...)	صمیمی و همکاران، ۱۴۰۱؛ جمشیدی، ۱۴۰۳؛ هاشم‌پور و شجاع رضوی، ۱۳۹۶؛ نوری و رضایی، ۱۴۰۲: الف؛ He et al., 2019; Li et al.,2017؛ Liu & Dai, 2017; Xia et al., 2017; Liu & Jensen, 2018; Jiang et al., 2018	۱۰
وجود کمیته‌های مشترک دولت و بخش خصوصی برای بهبود هماهنگی و اجرای پروژه‌ها	He et al., 2019; Li et al.,2017; Liu & Dai, 2017; Jiang et al., 2018	۴
ارزیابی منظم و دوره‌ای پروژه‌ها برای اطمینان از انطباق با اهداف و برنامه‌ها.	Yin et al.,2021; Huang et al., 2020; Zhang et al., 2022; Li et al., 2017; Liu & Dai, 2017	۵
وجود سیستم‌هایی برای گزارش دقیق هزینه‌ها و درآمدهای پروژه‌ها به‌صورت شفاف	Yin et al.,2021; Huang et al., 2020; Zhang et al., 2022; Li et al.,2017; Liu & Dai, 2017; Li et al., 2017	۶
وجود پایگاه‌های جامع داده اطلاعات محیط زیستی (هواشناسی، هیدرولوژی) و پشتیبانی از تحلیل داده‌های علمی	Wang et al., 2017; Huang et al., 2020; Li et al.,2017; Zhao et al., 2021; Wang et al., 2022; Xia et al., 2017	۶

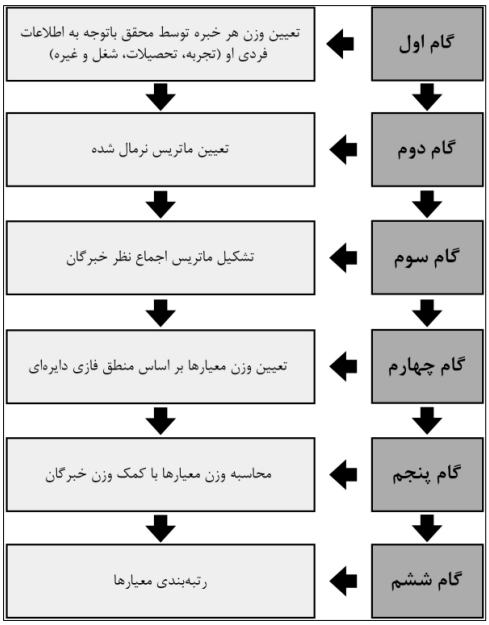
ادامه جدول ۲.

معیار	منابع	تعداد تکرار
وجود کارگروه‌های تخصصی برای هر بخش زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی	جانی‌پور و امینی‌فرد، ۱۴۰۲؛ نوری و همکاران، ۱۴۰۳؛ Wang et al., 2022; Liu & Jensen, 2018	۴
وجود نیروی انسانی در نهادهای دولتی و خصوصی به‌منظور ارتقای توانمندی‌ها و اجرای بهتر پروژه‌ها	جانی‌پور و امینی‌فرد، ۱۴۰۲؛ جمشیدی، ۱۴۰۳؛ Jiang et al., 2018; Liu & Dai, 2017; Xia et al., 2017; Liu & Jensen, 2018; Wang et al., 2017	۷

مواد و روش‌ها

این پژوهش، از منظر هدف در زمره تحقیقات کاربردی قرار دارد و از حیث روش تحقیق در دسته مطالعات توصیفی - تحلیلی با روش آمیخته (کیفی و کمی) جای می‌گیرد. جامعه آماری شامل اساتید و خبرگانی است که در حوزه رویکرد شهر اسفنجی دارای دانش تخصصی یا سوابق پژوهشی معتبر هستند. فرایند تعیین نمونه آماری از طریق نمونه‌گیری غیراحتمالی هدفمند انجام شده‌اند، بدین صورت که از میان ۱۵ نفر از خبرگان تخصصی‌که صرفا در حوزۀ شهر اسفنجی فعالیت داشته اند تنها ۹ نفر به پرسش‌نامه ارسالی پاسخ داده‌اند. به‌منظور گردآوری داده‌ها، از پرسش‌نامۀ محقق‌ساخته بهره گرفته شد. روایی این پرسش‌نامه از طریق تحلیل محتوای صوری مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور سنجش پایایی ابزار، از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد که با بهره‌گیری از نرم‌افزارSPSS نسخه ۲۶ محاسبه گردید. این ضریب بر پایۀ ۳۶ گویه به‌دست آمده و مقدار آن برابر با ۰/۸ گزارش شده است؛ که نشان‌دهندۀ انسجام درونی قابل قبول و اعتبار آماری مناسبِ ابزار پژوهش می‌باشد.

در این روش گردآوری، نظرات خبرگان از طریق عبارات کلامی انجام شده است که پس از تکمیل پرسشنامه، جهت انجام محاسبات، متغیرهای کلامی به اعداد فازی شهودی با منطق دایره‌ای تبدیل می‌گردند، علاوه بر آن، میان خبرگان نیز رتبه بندی صورت گرفته است که شکل ۴ بیانگر مراحل پیش رو جهت محاسبه وزن معیارها است. همچنین در این پژوهش، وزن معیارها با استفاده از رابطه‌های استخراج‌شده از منابع علمی و با بهره‌گیری از نرم‌افزاراکسل محاسبه شده‌اند. این رابطه‌ها در محیط اکسل پیاده‌سازی شده‌اند تا داده‌های کلامی خبرگان به اعداد فازی شهودی تبدیل و وزن هر معیار به‌صورت دقیق محاسبه شود.



شکل ۴. فرایند انجام روش سوارای فازی شهودی با منطق دایره‌ای (Atanassov, 2020)

گام اول: رتبه‌بندی و تعیین ضریب اهمیت نظر متخصصین

در این مرحله، فرایند رتبه‌بندی متخصصان بر اساس میزان سابقه و تجربه مرتبط با رویکرد مـوردنظر، بادقـت انجـام می‌شـود. این رتبه‌بندی به‌گونه‌ای طراحی شده است که متخصص دارای بیشترین سابقه و تجربه در حوزه تخصصی خود، در مقایسـه بـا سایر متخصصان، بالاترین رتبه، یعنی رتبه ۹ را دریافت می‌کند؛ درحالی‌که متخصص با کمترین میزان سابقه و تجربـه، رتبـه ۱ را به خود اختصاص می‌دهد. به‌منظور تعیین وزن تأثیرگذاری و میزان اعتبار هر متخصص، ضریب اهمیت آنـان بـا اسـتناد بـه جدول ۳ محاسبه شده است. در این جدول، مقادیر $\boldsymbol{\mu}$ و $\mathbf{v}$ به ترتیب نمایانگر درجه اطمینان (عضویت) و درجه عـدم اطمینـان (عدم عضویت) نسبت به نظر هر متخصص می‌باشند، که نقش تعیین‌کننده‌ای در فرایند ارزیابی و تحلیل داده‌هـا ایفـا می‌کننـد (Atanassov,2020).

جدول ۳. ضریب اهمیت متخصصین (Xu & Wen, 2023)

ردەبندی مقادیر	μ	v
(تجربه) بسیار بسیار زیاد	۰/۹	۰/۱
(تجربه) بسیار زیاد	۰/۸	۰/۱۵
(تجربه) زیاد	۰/۷	۰/۲۵
(تجربه) متوسط روبه‌بالا	۰/۶	۰/۳۵
(تجربه) متعادل	۰/۵	۰/۴۵
(تجربه) متوسط روبه‌پایین	۰/۴	۰/۵۵
(تجربه) کم	۰/۳	۰/۶۵
(تجربه) خیلی کم	۰/۲	۰/۷۵
(تجربه) خیلی خیلی کم	۰/۱	۰/۹

به‌منظور محاسبه وزن هر خبره، با استناد به داده‌های ارائه‌شده در جدول ۳ و بر اساس رابطه ۱، می‌توان فراینـد تخصـیص وزن را به‌صورت دقیق انجام داد (Atanassov, 2020).

$$\text{وزن هر خبره} = \left(\mu+(\mathbf{1}-\mu+\mathbf{v})\times\left(\mu\div(\mu+\mathbf{v})\right)\right) \qquad \text{رابطه ۱}$$

گام دوم: تعیین ضریب اهمیت نرمال شده هر متخصص

در امتداد فرایند ارزیابی متخصصین، باتوجه‌به ضریب اهمیت تعیین‌شده در مرحلـه پیشـین و بـا اسـتفاده از رابطـه شـماره ۲، ضریب اهمیت نرمال شده هر متخصص به دست آورده می شود (Atanassov, 2020). این امتیاز که بیانگر وزن نهایی خبرگـان است، نقش تعیین‌کننده‌ای در تحلیل‌های آتی پژوهش ایفا کرده و سهم هر متخصص را در تصمیم‌گیری‌ها، به‌صـورت کمـی و مبتنی بر میزان خبرگی و اعتبار آن‌ها، مشخص می‌سازد. این فرایند، علاوه بر ارتقای دقـت ارزیابی‌هـا، موجـب افـزایش اعتبـار نتایج مطالعه می‌شود.

$$\text{وزن نرمال شده هر متخصص} = \left(\text{مجموع وزن همه خبرگان} \div \text{وزن محاسبه شده هر خبره با توجه به رابطه} 1\right) \qquad \text{رابطه ۲}$$

گام سوم: رتبه‌بندی معیارها توسط هر متخصص

در این مرحله، متخصصین معیارها را بر اساس میزان تأثیرگذاری در تحقق اهداف پژوهش تعیین کرده‌انـد. معیارهـای مهم‌تـر در رده‌های بالاتر و معیارهای کم‌اهمیت‌تر در رده‌های پایین‌تر قرار گرفتند. این رتبه‌بنـدی امکـان وزن‌دهـی کمـی معیارهـا را فراهم کرده و مبنای تحلیل‌های آتی قرار می‌گیرد.

گام چهارم: تعیین ضریب معیارها بر اساس منطق فازی شهودی دایره‌ای

در این مرحله از تحلیل، اهمیت نسبی هر یک از معیارها که پیش‌تر توسط متخصصین بر اساس میـزان تأثیرگـذاری آن‌هـا در تبیین رویکرد موردنظر، از «کاملاً بااهمیت» تا «کاملاً بی‌اهمیت» مشخص شده بود، به‌دقت تعیین گردید. ایـن فراینـد تعیـین اهمیت، با استناد به مقادیر عددی مشخص شده در جدول ۴ به اعداد فازی شهودی تغییر وضعیت داده‌اند. این جدول، مقـادیر μ (درجه اطمینان)، v (درجه عدم اطمینان) و r (درجه ابهام) را برای هر سطح از اهمیت کیفی تخصیص می‌دهد.

جدول ۴. ضریب اهمیت معیارها

	μ	v	r
کاملاً بااهمیت	۰/۹	۰/۰۵	۰/۰۵
بااهمیت	۰/۷	۰/۲	۰/۱
متوسط	۰/۵	۰/۳	۰/۲
بی‌اهمیت	۰/۳	۰/۶	۰/۱
کاملاً بی‌اهمیت	۰/۱	۰/۸۵	۰/۰۵

گام پنجم: محاسبه امتیاز هر معیار باتوجه‌به اجماع نظر متخصصین

در این گام نهایی از فرایند ارزیابی معیارها، ابتدا ضریب‌های اهمیت معیارها که بر اساس منطق فازی شهودی دایره‌ای استخراج شده بودند، در یک جدول مشخص سازماندهی می شوند. سپس، این ضرایب به‌صورت متوالی در وزن نرمال‌شده متخصصین ضرب خواهد گردید. نتیجه این عملیات، منجر به تولید دو ستون جدید μ و V در یک جدول مجزا برای هر معیار است که نمایانگر مقادیر اطمینان و عدم اطمینان تلفیق‌شده بر اساس نظر تمامی متخصصین می‌باشد. در ادامه، برای هر معیار، پارامتر r با استناد به رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Xu & Wen, 2023):

$$r_i=\max_{I<j<k_i}\sqrt{\left(\mu_c(C_i)-m_{ij}\right)^2+\left(v_c(C_i)-n_{ij}\right)^2} \qquad \text{رابطه ۳}$$

این شعاع به‌عنوان یک معیار برای نمایش سطح عدم قطعیت یا تردید در مجموعه‌های فازی دایره‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرد. دراین‌رابطه:

k_i: تعداد تصمیم‌گیرندگان است.$u(C_i)$ و $v(C_i)$: به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر تجمیع شده اطمینان (یا همان μ جدید) و مقدار تجمیع شده عدم اطمینان (یا همان V جدید) ترکیبی؛ m_{ij} و nij : بیانگر مقادیر عضویت و عدم عضویت فردی برای هر تصمیم‌گیرنده؛ max: بزرگ‌ترین مقدار از میان مقادیر حاصل شده و سپس محاسبه جذر آن.

پس از محاسبه μ، v و r برای هر معیار، یک ستون جدید به جدول اصلی معیارها اضافه می‌گردد. در این ستون، امتیاز نهایی هر معیار باتوجه‌به رابطه شماره ۴ به دست می آید (Xu & Wen, 2023):

$$S_C(C)=\left(\mu_c-v_c+\sqrt{2r}\,(2\lambda-1)\right)\div 3 \qquad \text{رابطه ۴}$$

مقدارλ از ۰ تا ۱ است که مقدار ۰ نشان‌دهنده یک دیدگاه کاملاً بدبینانه و مقدار ۱ نشان‌دهندهٔ یک دیدگاه کاملاً خوش‌بینانه است و مقدار ۰/۵ نشان‌دهندهٔ عدم تمایل سوگیری، از سوی تصمیم‌گیرنده است که در این پژوهش این مقدار ۰/۵ در نظر گرفته شده است. در نهایت، با استفاده از این امتیازات نهایی، فرایند اولویت‌بندی معیارها از بیشترین امتیاز به کمترین امتیاز انجام می‌شود (Xu & Wen, 2023).

گام ششم: تعیین وزن نهایی معیارها

معیارها پس از اولویت‌بندی اولیه بر اساس امتیازات به‌دست‌آمده، طبق اولویت‌بندی بزرگ‌تر به کوچک‌تر به‌صورت نزولی در یک جدول قرار خواهند گرفت. در این جدول، برای هر معیار، مقادیر μ،v و r، به انضمام امتیازی که در جدول قبل به‌دست‌آمده است قرار خواهد گرفت و سپس مقادیر $\tilde{S}_j$، $\tilde{K}_j$، $\tilde{q}_j$ و درنهایت $\widetilde{W}_j$ به دست آورده می شود. در ادامه، جهت استخراج وزن نهایی هر معیار، مراحل محاسباتی متعددی به ترتیب زیر دنبال گردیده است:

محاسبه فاکتور ارزیابی ($\tilde{S}_j$) :در این مرحله، برای آن معیار که بیشترین میزان امتیاز را داراست، مقدار عددی لحاظ نمی شود زیرا بیشترین ارزش را داراست و محاسبه $\tilde{S}_j$ معیار های بعد از آن با توجه به رابطه ۵، تفاضل امتیاز معیار قبل از خود با امتیاز خود آن معیار به دست می‌آید (Atanassov, 2020):

$$\tilde{S}_{j+1}=\text{ordered score}_j-\text{ordered score}_{j+1} \qquad \text{رابطه ۵}$$

محاسبه ضریب تعدیل ($\tilde{K}_j$): پس از آن، ضریب تعدیل برای هر معیار محاسبه می‌شود. این ضریب، نقش مهمی در

تنظیم وزن نهایی معیارها بر اساس ویژگی‌های خاص مدل دارد که رابطه آن مطابق رابطه ۶ است (Keršuliene et al., 2010).

$$\tilde{K}_j=\begin{cases}\tilde{I}_j=1\\ \tilde{S}_j+\tilde{I}_j\geq 1\end{cases}$$ رابطه ۶

تفسیر آن بدین‌گونه است که برای آن معیاری که بیشترین امتیاز را از میان معیارها داشته است امتیاز ۱ قرار داده خواهد شد و مقدار $\tilde{K}_j$ سایر معیار ها از مجموع عدد یک با مقدار $\tilde{S}_j$ که در رابطه شماره ۵ به دست آمده است، محاسبه می شود.

ارزش نسبی معیارها($\tilde{q}_j$): با استفاده از فاکتور ارزیابی و ضریب تعدیل، ارزش نسبی هر یک از معیارها تعیین گردید که بیانگر سهم نسبی هر معیار در ساختار کلی ارزیابی است. رابطه ۷ بیانگر ارزش نسبی معیارها است که محاسبه آن به شرح زیر است (Keršuliene et al., 2010):

$$\tilde{q}_j=\begin{cases}\tilde{I}_j=1\\ \dfrac{\tilde{x}_j-1}{\tilde{K}_j}\ j\geq 1\end{cases}$$ رابطه ۷

تفسیر آن بدین‌گونه است که برای آن معیاری که بیشترین امتیاز را از میان معیارها داشته است امتیاز ۱ قرار داده و مقدار $\tilde{q}_j$ سایر معیار ها از تفسیم مقدار $\tilde{S}_j$ معیار بر $\tilde{q}_j$ قبل آن معیار، محاسبه می‌شود.

نرمال‌سازی و استخراج وزن نهایی معیارها($\widetilde{W}_j$)

در آخرین گام، ارزش‌های نسبی معیارها نرمال‌سازی شدند تا وزن نهایی هر معیار به دست آید. این وزن‌ها، مجموعاً به ۱ می‌رسند و سهم نهایی هر معیار را در مدل‌سازی یا تحلیل‌های بعدی مشخص می‌کنند. رابطه شماره ۸ بیانگر رابطه نرمال‌سازی و استخراج وزن نهایی است که به شرح زیر می‌باشد (Keršuliene et al., 2010):

$$\widetilde{W}_j=\frac{\tilde{q}_j}{\sum_{k=1}^{n}\tilde{q}_k}$$ رابطه ۸

در نهایت، پس از استخراج وزن‌های نرمال‌شده نهایی برای هر معیار، اولویت آن‌ها مشخص می‌شود و این اولویت‌بندی نهایی، مبنایی برای تصمیم‌گیری‌ها و تخصیص منابع در راستای دستیابی به اهداف پژوهش فراهم می‌آورد.

نتایج

مطابق با مراحل ذکر شده در روش تحقیق در ابتدا خبرگان را از رتبه ۹ تا ۱، رتبه بندی کرده و عدد فازی هر رتبه مطابق با جدول ۳ وارد کرده ، سپس با توجه به رابطه ۱ ضریب هر متخصص را به دست آورده و بعد از آن با توجه به رابطه ۲ وزن نرمال شده هر خبره که بیانگر میزان اثر بخشی نظرات آن‌هاست تعیین می‌شود که حاصل آن در جدول ۵ بیان شده است.

جدول ۵. وزن نرمال شده متخصصین

خبره	رتبه	عبارت کلامی رتبه	μ	ν	ضریب متخصصین	وزن نرمال شده
خبره ۱	۹	(تجربه) بسیار بسیار زیاد	۰/۹	۰/۱	۰/۹	۰/۱۸۹۱۳۵
خبره ۲	۸	(تجربه) بسیار زیاد	۰/۸	۰/۱۵	۰/۸۴۲۱۰۵	۰/۱۷۶۹۶۸
خبره ۳	۷	(تجربه) زیاد	۰/۷	۰/۲۵	۰/۷۳۶۸۴۲	۰/۱۵۴۸۴۷
خبره ۴	۶	(تجربه) متوسط روبه‌بالا	۰/۶	۰/۳۵	۰/۷۰۵۸۸۲	۰/۱۴۸۳۴۱
خبره ۵	۵	(تجربه) متعادل	۰/۵	۰/۴۵	۰/۵۲۶۳۱۶	۰/۱۱۰۶۰۵
خبره ۶	۴	(تجربه) متوسط روبه‌پایین	۰/۴	۰/۵۵	۰/۴۲۱۰۵۳	۰/۰۸۸۴۸۴
خبره ۷	۳	(تجربه) کم	۰/۳	۰/۶۵	۰/۳۱۵۷۸۹.	۰/۰۶۶۳۶۳
خبره ۸	۲	(تجربه) خیلی کم	۰/۲	۰/۷۵	۰/۲۱۰۵۲۶	۰/۰۴۴۲۴۲
خبره ۹	۱	(تجربه) خیلی‌خیلی کم	۰/۱	۰/۹	۰/۱	۰/۰۲۱۰۱۵

به‌منظور استانداردسازی و سهولت ارجاع به معیارهای پژوهش در جداول آتی، در جدول ۶ برای هر معیار یک کد منحصربه‌فرد تخصیص‌یافته است. این کدگذاری نه‌تنها موجب افزایش دقت و انسجام در ارائه داده‌ها می‌شود، بلکه امکان تحلیل و مقایسه معیارها را در مراحل بعدی پژوهش تسهیل می‌کند.

جدول ۶. کدگذاری معیارها

کد	معیار	کد	معیار
C1	کارایی زیرساخت‌های شهری مرتبط با دفع و مدیریت رواناب‌ها	C19	ایجاد و توسعه فضای سبز و محوطه‌های سبز (پارک‌ها، فضاهای سبز مقعر، باغ‌های بارانی و...)
C2	خاک و ویژگی‌های فیزیکی آن	C20	وجود سیستم‌های سبز شهری (بام سبز و دیوار سبز)
C3	سیستم‌های سنجش میزان رواناب (سیستم‌های هیدرومتری)	C21	تعامل و همکاری میان شهروندان، برنامه‌ریزان و دولت مرکزی
C4	استفاده از فناوری‌های نوین (بتن متخلخل و تصفیه آب باران)	C22	وجود دوره‌ها و کمپین‌ها برای افزایش آگاهی عمومی
C5	وجود سازه های (حوضچه‌ها و مخازن) ذخیره آب باران	C23	مشارکت و حمایت بخش خصوصی در راستای پروژه‌های مرتبط با مدیریت رواناب‌ها (ارائه مشوق‌ها و تسهیلات ویژه برای بخش خصوصی در پروژه‌های زیست‌محیطی و شهری)
C6	وجود فضاهای نفوذپذیر آب باران	C24	وجود یارانه‌ها و تسهیلات مالی دولتی (برای پروژه‌های زیست‌محیطی و شهری) در راستای مدیریت رواناب
C7	وجود زهکش‌های زیستی (مانند گودال‌های بیو-رینک، گذرگاه‌های گیاهی، استخرهای تصفیه طبیعی)	C25	ارزیابی اقتصادی پروژه‌های مرتبط با مدیریت رواناب‌ها
C8	یکپارچگی میان زیرساخت‌های خاکستری، سبز و آبی	C26	هزینه‌های بلندمدت مرتبط با مدیریت رواناب‌ها
C9	توزیع بهینه فضاهای نفوذپذیر و نفوذناپذیر	C27	وجود استراتژی‌های بلندمدت برای مدیریت منابع آبی
C10	وجود لایه‌های خارجی نفوذپذیر ساختمان	C28	وجود اولویت‌بندی پروژه‌های زیست‌محیطی و شهری
C11	مقاوم‌بودن فرم فضاهای شهری در برابر رواناب	C29	وجود سیاست‌های حمایتی دولت‌ها و نهادهای محلی
C12	توجه به ویژگی‌های طبیعی زمین (شیب زمین، سطوح مقعر و محدب و...)	C30	وجود هماهنگی میان بخش‌های نهادهای مختلف دولتی (راه و شهرسازی، نیرو، شهرداری و...)
C13	میزان و شدت بارش	C31	وجود و اثرگذاری کمیته‌های مشترک دولت و بخش خصوصی
C14	میزان تبخیر	C32	وجود ارزیابی‌های منظم و دوره‌ای
C15	حفاظت از منابع آبی طبیعی (مانند منابع آب زیرزمینی، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها)	C33	وجود سیستم‌هایی برای گزارش دقیق
C16	حفاظت از تأسیسات بیولوژیکی (مانند مناطق حائل گیاهی، تالاب)	C34	وجود پایگاه‌های جامع داده اطلاعات مرتبط
C17	وجود زیستگاه‌های آبی (مانند وجود تالاب‌ها و دریاچه‌های مصنوعی)	C35	تعداد و عملکرد کارگروه‌های تخصصی
C18	مدیریت کیفیت آب‌های زیر زمینی	C36	وجود نیروهای انسانی

در این مرحله، خبرگان میزان اهمیت هر معیار را در تبیین و تحقق شهر اسفنجی ارزیابی کرده‌اند. نظرات ارائه‌شده توسط آنان، پس از تبدیل به اعداد فازی شهودی، مطابق اعداد تعریف شده در جدول ۴، در جدول ۷ ثبت شده است.

جدول ۷. میزان اهمیت هر معیار از دید متخصصین

خبره معیار	خبره ۱	خبره ۲	خبره ۳	خبره ۴	خبره ۵	خبره ۶	خبره ۷	خبره ۸	خبره ۹
	(μ ،ν)	(μ ،ν)	(μ ،ν)	(ν ،μ)	(μ ،ν)	(μ ،ν)	(μ ،ν)	(μ ،ν)	(μ ،ν)
C1	(۰/۹ ، ۰/۰۵)	(۰/۹ ، ۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ، ۰/۰۵)	(۰/۹ ، ۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ، ۰/۰۵)	(۰/۹ ، ۰/۰۵)	(۰/۹ ، ۰/۰۵)
C2	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۹ ، ۰/۰۵)	(۰/۹ ، ۰/۰۵)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ، ۰/۰۵)	(۰/۹ ، ۰/۰۵)

ادامه جدول ۷.

خبره معیار	خبره ۱	خبره ۲	خبره ۳	خبره ۴	خبره ۵	خبره ۶	خبره ۷	خبره ۸	خبره ۹
C3	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C4	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C5	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)
C6	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)
C7	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C8	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C9	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C10	(۰/۳ ،۰/۶)	(۰/۳ ،۰/۶)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)
C11	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)
C12	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)
C13	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)
C14	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۳ ،۰/۶)	(۰/۳ ،۰/۶)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)
C15	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C16	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)
C17	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)
C18	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)
C19	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)
C20	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۳ ،۰/۶)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C21	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C22	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C23	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C24	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۹ ،۰/۰۵)
C25	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۹ ،۰/۰۵)
C26	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)
C27	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)
C28	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)
C29	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C30	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C31	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C32	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)
C33	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۵ ،۰/۳)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C34	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۹ ،۰/۰۵)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C35	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)
C36	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)	(۰/۷ ،۰/۲)

پس از ارزیابی مستقل میزان اهمیت هر معیار توسط خبرگان، مقدار v،μ و r باتوجه‌به گام پنجم استخراج می‌شود. این مقادیر سپس در چارچوب رابطه شماره ۴ به‌کار گرفته شده تا امتیاز نهایی هر معیار تعیین گردد. این امتیاز به‌عنوان عاملی برای اولویت‌بندی معیارها بر اساس نظرات تخصصی خبرگان، مورد استفاده قرار می‌گیرد که در جدول ۸ تبیین شده است.

جدول ۸. امتیاز نهایی هر معیار

	μ	V	R	امتیاز [1 1-]	اولویت‌بندی
C1	۰/۸۳۰۳۸۵۳۶	۰/۰۹۸۳۹۷۹۳	۰/۱۶۵۲۹۷۶۸	۰/۲۷۵۱۶۴۶۴	۶
C2	۰/۳۷۲۰۷۰۱۸۸	۰/۱۷۲۴۲۸۶	۰/۲۵۴۹۱۹۱۷	۰/۲۳۰۸۲۵۷۸۱	۱۸
C3	۰/۸۳۶۲۴۴۶۶	۰/۰۴۱۲۸۲۶	۰/۱۷۲۵۴۴۰۱	۰/۲۷۹۹۰۷۳۴۵	۴
C4	۰/۷۲۰۳۸۹۴۸	۰/۱۸۴۸۹۴۱۸	۰/۲۲۴۶۲۴۹۸	۰/۲۲۰۸۵۴۱۲۴	۲۱
C5	۰/۷۹۲۶۱۵۳۹	۰/۱۲۶۸۱۲۷۵	۰/۱۳۲۰۲۸۹۹	۰/۲۴۶۸۲۹۸۳۷	۱۱

ادامه جدول ۸.

	μ	V	R	امتیاز [1 1 -1]	اولویت‌بندی
C6	۰/۸۳۶۵۹.	۰/۰۸۶۳۷۵۸۴	۰/۱۷۷۶۷۱۸۲	۰/۲۸۳۵۷۳۵۰۶	۳
C7	۰/۷۹۰۷۸۴۶۷	۰/۱۲۸۲۲۶۹۸	۰/۱۳۴۳۴۰۷۹	۰/۲۴۶۱۸۴۱۰۷	۱۲
C8	۰/۸۳۴۶۱۷۵	۰/۰۹۵۳۱۰۰۲	۰/۱۷۰۵۳۴۰۵	۰/۲۷۸۵۹۲۰۳۶	۵
C9	۰/۶۱۱۷۷۳	۰/۲۶۴۴۰۵۲۷	۰/۱۱۷۳۰۳۸۳	۰/۱۳۷۹۰۸۲۶۴	۳۲
C10	۰/۴۲۷۷۸۱۴	۰/۴۲۰۲۷۸۷۴	۰/۳۵۰۱۷۹۵۱	۰/۰۶۸۵۳۱۳۶۸	۳۶
C11	۰/۶۱۱۷۷۳	۰/۲۶۴۴۰۵۲۷	۰/۱۱۷۳۰۳۸۳	۰/۱۳۷۹۰۸۲۶۴	۳۳
C12	۰/۷۳۰۶۶۵۴۲	۰/۱۷۲۶۸۹۰۴	۰/۲۶۳۴۶۶۵۴	۰/۲۳۵۶۷۱۸۵۶	۱۷
C13	۰/۸۳۶۵۹	۰/۱۲۰۶۸۷۳۳	۰/۳۸۱۳۷۳۶۵	۰/۳۱۰۵۴۶۷۲۸	۱
C14	۰/۵۵۱۷۵۲۱۲	۰/۳۲۲۴۵۱۰۸	۰/۳۷۴۷۱۶۶	۰/۱۴۷۰۹۰۹۱۹	۳۰
C15	۰/۸۰۷۳۳۲۰۸	۰/۱۱۵۵۶۴۶۲	۰/۱۳۶۵۶۳۲	۰/۲۵۶۳۳۹۷۵۷	۹
C16	۰/۷۷۷۰۱۹۶۸	۰/۱۳۸۹۶۲۹	۰/۱۵۱۷۸۴۵۸	۰/۲۴۱۳۰۶۳۶۶	۱۴
C17	۰/۶۱۰۸۶۴۰۴	۰/۲۵۰۴۵۵۹۷	۰/۳۵۱۸۲۶۹۵	۰/۱۸۶۴۷۷۱۴۸	۲۷
C18	۰/۷۱۷۹۸۵۷۷	۰/۱۷۳۱۳۳۸۵	۰/۲۵۲۲۱۵۸۲	۰/۲۲۹۱۷۵۵۷۹	۱۹
C19	۰/۷۷۱۸۱۵۵۳	۰/۱۴۳۰۶۷۸۸	۰/۱۵۸۴۰۷۳۵	۰/۲۳۹۴۵۲۱۲۷	۱۶
C20	۰/۵۵۱۳۹۰۰۲	۰/۲۹۶۵۵۴۱	۰/۱۷۷۲۲۱۹۶	۰/۱۱۸۳۶۲۵۹۷	۳۵
C21	۰/۶۲۳۴۹۱۴۸	۰/۲۵۸۰۵۰۴۶	۰/۱۳۰۴۲۲۰۴	۰/۱۴۶۴۰۶۲۸۸	۳۱
C22	۰/۶۰۱۷۲۹۴۷	۰/۲۶۹۸۲۰۳۳	۰/۱۲۰۵۴۸۶۵	۰/۱۳۳۳۶۷۲۴۹	۳۴
C23	۰/۷۱۶۰۵۵۶۶	۰/۲۲۲۳۸۲۸۷	۰/۲۸۷۸۱۴۵۵	۰/۲۰۳۳۱۶۳۰۲	۲۵
C24	۰/۷۱۶۰۵۵۶۶	۰/۱۸۸۵۱۷۶۸	۰/۲۳۰۲۴۴۵۱	۰/۲۱۹۲۶۵۴۶۵	۲۳
C25	۰/۷۲۲۸۳۶۱۸	۰/۱۸۲۸۵۴۹۷	۰/۲۲۱۴۴۴۰۴	۰/۲۲۱۷۴۹۶۲۵	۲۲
C26	۰/۷۴۴۹۹۶۸۷	۰/۱۶۰۳۳۰۱۴	۰/۲۸۲۰۱۲۶۵	۰/۲۴۸۰۶۵۷۲۶	۱۰
C27	۰/۸۱۹۴۲۴۳۲	۰/۱۰۶۴۸۸۶۶	۰/۱۵۱۶۷۹۰۷	۰/۲۶۶۲۴۶۱	۸
C28	۰/۷۳۴۲۰۳۸۵	۰/۱۶۵۷۷۸۵۹	۰/۲۶۹۹۳۸۵۷	۰/۲۴۰۳۷۵۱۹۲	۱۵
C29	۰/۶۹۲۶۳۳۷۹	۰/۲۰۲۹۳۸۹۳	۰/۲۵۷۶۶۴۶۳	۰/۲۱۱۸۱۷۳۲۸	۲۴
C30	۰/۸۲۲۱۸۰۴۳	۰/۱۰۴۴۴۱۸۴	۰/۱۵۵۱۱۰۹۹	۰/۲۶۸۴۶۴۲۰۴	۷
C31	۰/۷۱۶۴۴۴۳۹	۰/۱۷۶۶۷۸۹۲	۰/۲۴۹۱۱۰۹۴	۰/۲۲۶۸۹۴۶۳۴	۲۰
C32	۰/۷۳۴۲۴۰۹۳	۰/۱۶۲۸۰۳۳	۰/۲۷۱۴۶۲۲۴	۰/۲۴۱۶۶۶۶۲۴	۱۳
C33	۰/۶۱۰۰۴۳۳۵	۰/۲۴۵۸۹۳۵۲	۰/۳۴۹۹۲۷۳۲	۰/۱۸۷۳۶۶۲۰۶	۲۶
C34	۰/۸۴۹۸۵۷۷۶	۰/۰۸۴۳۶۴۰۲	۰/۱۸۹۲۸۵۵۷	۰/۲۹۸۵۶۶۱	۲
C35	۰/۶۵۵۸۶۴۵۳	۰/۲۴۰۲۷۷۲۱	۰/۰۵۹۷۵۱۰۹	۰/۱۴۹۷۹۵۸۸۳	۲۸
C36	۰/۶۵۵۸۶۴۵۳	۰/۲۴۰۲۷۷۲۱	۰/۰۵۹۷۵۱۰۹	۰/۱۴۹۷۹۵۸۸۳	۲۹

در مرحله پایانی، معیارها بر اساس اولویت‌بندی، به‌صورت نزولی مرتب شده و مقادیر μ، v و r همراه با امتیازات رتبه‌بندی شده در جدول ۸ برای هر معیار، در جدول ۹ ثبت می‌شوند. سپس، با استفاده از رابطه‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ وزن نهایی هر معیار محاسبه گردیده و مبنای تحلیل‌های پژوهش قرار می‌گیرد.

جدول ۹. رتبه‌بندی نهایی هر معیار

	μ	v	r	امتیاز رتبه‌بندی‌ها	Sj	Kj	Qj	Wj	رتبه‌بندی نهایی
C13	۰/۵۳۶۵۹	۰/۰۹۵۸۷	۰/۲۶۳۴۶۷	۰/۳۱۰۵۴۶۷۲۸	---	۱	۱	۰/۰۳۰۴۰۶	۱
C34	۰/۸۴۹۸۵۷۷۶۲	۰/۰۸۴۳۶۴	۰/۱۸۹۲۸۶	۰/۲۹۰۸۵۶۶۱	-۰/۰۱۵۶۹۱۹۷	۰/۹۸۴۳۰۸	۰/۹۸۱۰۰۹	۰/۰۲۹۸۲۹	۲
C6	۰/۵۳۶۵۹	۰/۰۸۶۳۷۶	۰/۱۷۷۶۷۲	۰/۲۸۳۵۷۳۵۰۶	۰/۰۲۶۹۷۳۲۲۲	۱/۰۲۶۹۷۳	۰/۹۷۳۷۳۵	۰/۰۲۹۶۰۸	۳
C3	۰/۸۳۶۲۴۴۶۶۳	۰/۰۹۴۱۲۸	۰/۱۷۲۵۴۴	۰/۲۷۹۹۰۷۳۴۵	۰/۰۱۰۹۴۹۲۶۵	۱/۰۱۰۹۴۹	۰/۹۷۰۳۸۴	۰/۰۲۹۵۰۶	۴
C8	۰/۸۳۴۶۱۷۴۹۹	۰/۰۹۵۳۱	۰/۱۷۰۵۳۴	۰/۲۷۸۵۹۲۰۳۶	-۰/۰۱۳۲۴۵۹۴	۰/۹۸۷۶۵۴	۰/۹۶۹۲۷۳	۰/۰۲۹۴۷۲	۵

ادامه جدول ۹.

	μ	v	r	امتیاز رتبه‌بندی‌ها	Sj	Kj	Qj	Wj	رتبه‌بندی نهایی
C1	۰/۸۳۰۳۸۵۳۵۷	۰/۰۹۸۳۹۸	۰/۱۶۵۲۹۸	۰/۲۷۵۱۶۴۶۴	۰/۰۰۸۴۰۸۸۶۶	۱/۰۰۸۴۰۹	۰/۹۶۵۶۱۵	۰/۰۲۹۳۶۱	۶
C30	۰/۸۲۲۱۸۰۴۲۹	۰/۱۰۴۴۴۲	۰/۱۵۵۱۱۱	۰/۲۶۸۴۹۴۲۰۴	-۰/۰۲۷۱۸۷۸۴	۰/۹۷۲۸۱۲	۰/۹۶۰۵۳۵	۰/۰۲۹۲۰۶	۷
C27	۰/۸۱۹۴۲۴۳۲۲	۰/۱۰۶۴۸۹	۰/۱۵۱۶۷۹	۰/۲۶۶۲۲۴۶۱	۰/۰۱۳۶۶۱۲۴۵	۱/۰۱۳۶۶۱	۰/۹۵۷۳۰۶	۰/۰۲۹۱۰۸	۸
C15	۰/۸۰۷۳۳۲۰۸	۰/۱۱۵۵۶۵	۰/۱۳۶۵۶۳	۰/۲۵۶۳۳۹۷۵۷	-۰/۰۰۹۵۰۹۹۲	۰/۹۹۰۴۹	۰/۹۴۹۳۶۲	۰/۰۲۸۸۶۷	۹
C26	۰/۷۴۴۹۹۶۸۷۲	۰/۱۶۰۳۳	۰/۲۸۲۰۱۳	۰/۲۴۸۰۶۵۷۲۶	۰/۰۰۸۲۷۴۰۳۲	۱/۰۰۸۲۷۴	۰/۹۴۱۵۷۲	۰/۰۲۸۶۳	۱۰
C5	۰/۷۹۲۶۱۵۳۸۶	۰/۱۲۶۸۱۳	۰/۱۳۲۰۲۹	۰/۲۴۶۸۲۹۸۳۷	-۰/۰۰۶۴۵۴۶۴	۰/۹۹۳۵۴۵	۰/۹۴۰۳۳۴	۰/۰۲۸۵۹۲	۱۱
C7	۰/۸۱۱۹۲	۰/۱۲۸۲۲۷	۰/۱۳۴۳۴۱	۰/۲۴۶۱۸۴۱۰۷	-۰/۰۰۶۷۳۱۹۸	۰/۹۹۳۲۶۸	۰/۹۳۹۹۹۶	۰/۲۸۵۸۲	۱۲
C32	۰/۷۳۴۲۴۰۹۳۲	۰/۱۶۲۸۰۳	۰/۲۷۱۴۶۲	۰/۲۴۱۶۶۶۶۲۴	۰/۰۳۶۹۲۵۴۱۲	۱/۰۳۶۹۲۵	۰/۹۳۴۷۵۷	۰/۰۲۸۴۲۲	۱۳
C16	۰/۷۷۷۰۱۹۶۷۹	۰/۱۳۸۹۶۳	۰/۱۵۱۷۸۵	۰/۲۴۱۳۰۶۳۶۶	۰/۰۰۰۳۶۰۲۵۸	۱/۰۰۰۳۶	۰/۹۳۴۴۲	۰/۰۲۸۴۱۲	۱۴
C28	۰/۷۳۴۲۰۳۸۵۴	۰/۱۶۵۷۷۹	۰/۲۶۹۹۳۹	۰/۲۴۰۳۷۵۱۹۲	۰/۰۲۸۱۱۹۰۱۲	۱/۰۲۸۱۱۹	۰/۹۳۴۲۶۴	۰/۰۲۸۴۰۷	۱۵
C19	۰/۷۷۱۸۱۵۵۳۱	۰/۱۴۳۰۶۸	۰/۱۵۸۴۰۷	۰/۲۳۹۴۵۲۱۲۷	-۰/۰۰۸۶۲۶۳۵	۰/۹۹۱۳۷۴	۰/۹۳۳۶۶۸	۰/۰۲۸۳۸۹	۱۶
C12	۰/۷۳۰۶۶۵۴۲۴	۰/۱۷۲۶۸۹	۰/۲۶۳۴۶۷	۰/۲۳۵۶۷۱۸۵۶	۰/۰۱۰۵۱۲۲۵۱	۱/۰۱۰۵۱۲	۰/۹۳۰۲۱۸	۰/۰۲۸۲۸۴	۱۷
C2	۰/۷۲۰۷۰۱۸۸۲	۰/۱۷۲۴۲۹	۰/۲۵۴۹۱۹	۰/۲۳۰۸۲۵۷۸۱	۰/۰۱۷۲۳۹۹۴۵	۱/۰۱۷۲۴	۰/۹۲۵۶۱۴	۰/۰۲۸۱۴۴	۱۸
C18	۰/۷۱۷۹۸۵۷۷۳	۰/۱۷۳۱۳۴	۰/۲۵۲۲۱۶	۰/۲۲۹۱۷۵۵۷۹	-۰/۰۰۹۹۱۰۱۱	۰/۹۹۰۰۹	۰/۹۲۴۲۹	۰/۰۲۸۱۰۴	۱۹
C31	۰/۷۱۶۴۴۴۳۸۸	۰/۱۷۶۶۷۹	۰/۲۴۹۱۱۱	۰/۲۲۶۸۹۴۶۳۴	۰/۰۰۸۷۷۷۲۲۳	۱/۰۰۸۷۷۷	۰/۹۲۲۱۲۴	۰.۰۲۸۰۳۸	۲۰
C4	۰/۷۲۰۳۸۹۴۷۵	۰/۱۸۴۸۹۴	۰/۲۲۴۶۲۵	۰/۲۲۰۸۵۴۱۲۴	۰/۰۰۸۳۲۱۴۵۵	۱/۰۰۸۳۲۱	۰/۹۱۶۶۶۲	۰/۰۲۷۸۷۲	۲۱
C25	۰/۷۲۲۸۳۶۱۷۶	۰/۱۸۲۸۵۵	۰/۲۲۱۴۴۴	۰/۲۲۱۷۴۹۶۲۵	۰/۰۰۵۱۴۵۰۰۸	۱/۰۰۵۱۴۵	۰/۹۱۷۴۰۴	۰.۰۲۷۸۶۵	۲۲
C24	۰/۷۱۶۰۵۵۶۶۳	۰/۱۸۸۵۱۸	۰/۲۳۰۲۶۷	۰/۲۱۹۲۶۵۴۶۵	۰/۰۰۲۴۸۴۴۱۶	۱/۰۰۲۴۸۴	۰/۹۱۵۱۳۱	۰/۰۲۷۸۲۶	۲۳
C29	۰/۶۹۲۶۳۳۷۹۱	۰/۲۰۲۹۳۹	۰/۲۵۷۶۶۵	۰/۲۱۱۸۱۷۳۲۸	-۰/۰۲۵۳۴۰۱۸	۰/۹۷۴۶۶	۰/۹۰۸۹۷۸	۰/۰۲۷۶۳۹	۲۴
C23	۰/۶۶۹۵۱۹۲۸۳	۰/۲۲۲۳۸۳	۰/۲۸۷۸۱۵	۰/۲۰۳۳۱۶۳۰۲	۰/۰۱۷۵۳۷۸۲۲	۱/۰۱۷۵۳۸	۰/۹۰۰۸۶۳	۰/۰۲۷۳۹۲	۲۵
C33	۰/۶۱۰۰۴۳۳۴۹	۰/۲۴۵۸۹۴	۰/۳۴۹۹۲۷	۰/۱۸۷۳۶۶۲۰۶	۰/۰۲۴۴۵۱۱۲۲	۱/۰۲۴۴۵۱	۰/۸۸۷۲۸۳	۰/۰۲۶۹۷۹	۲۶
C17	۰/۶۱۰۸۶۴۰۳۵	۰/۲۵۰۴۵۶	۰/۳۵۱۸۲۷	۰/۱۸۶۴۷۷۱۴۸	۰/۰۱۶۸۳۹۱۵۵	۱/۰۱۶۸۳۹	۰/۸۸۵۹۴۵	۰/۰۲۶۹۳۸	۲۷
C35	۰/۶۵۵۸۶۴۵۳۵	۰/۲۴۰۲۷۷	۰/۰۵۹۷۵۱	۰/۱۴۹۷۹۵۸۸۳	۰/۰۱۶۴۸۶۳	۰/۹۸۳۵۷	۰/۸۵۵۴۲۶	۰/۰۲۶۰۱	۲۸
C36	۰/۶۵۵۸۶۴۵۳۵	۰/۲۴۰۲۷۷	۰/۰۵۹۷۵۱	۰/۱۴۹۷۹۵۸۸۳	۰	۱	۰/۸۵۵۴۲۶	۰/۰۲۶۰۱	۲۹
C14	۰/۵۵۱۷۵۲۱۱۵	۰/۳۲۲۴۵۱	۰/۳۷۴۷۱۷	۰/۱۴۷۰۹۰۹۱۹	-۰/۰۰۰۶۸۴۸۳	۰/۹۹۹۳۱۵	۰/۸۵۲۹۵۴	۰/۰۲۵۹۳۵	۳۰
C21	۰/۶۲۳۴۹۱۴۷۷	۰/۲۵۸۰۵	۰/۱۳۰۴۲۲	۰/۱۴۶۴۰۶۲۸۸	۰/۰۴۰۹۵۹۹۱۸	۱/۰۴۰۹۶	۰/۸۵۲۳۷	۰/۰۲۵۹۱۷	۳۱
C9	۰/۶۱۱۷۷۲۹۹۹	۰/۲۶۴۴۰۵	۰/۱۱۳۰۴	۰/۱۳۷۹۰۸۲۶۴	۰/۰۰۹۱۸۲۶۵۶	۱/۰۰۹۱۸۳	۰/۸۴۵۱۹۳	۰/۰۲۵۶۹۹	۳۲
C11	۰/۶۱۱۷۷۲۹۹۹	۰/۲۶۴۴۰۵	۰/۱۱۳۰۴	۰/۱۳۷۹۰۸۲۶۴	۰	۱	۰/۸۴۵۱۹۳	۰/۰۲۵۶۹۹	۳۳
C22	۰.۶۰۱۷۲۹۴۶۸	۰.۲۶۹۸۲	۰/۱۲۰۵۴۹	۰/۱۳۳۳۶۷۲۴۹	۰/۰۰۴۵۴۱۰۱۵	۱/۰۰۴۵۴۱	۰/۸۴۱۳۷۲	۰/۰۲۵۵۸۳	۳۴
C20	۰/۵۵۱۳۹۰۰۱۸	۰/۲۹۶۵۵۴	۰/۱۷۷۲۲۲	۰/۱۱۸۳۶۲۵۹۷	۰/۰۳۱۴۳۳۲۸۶	۱/۰۳۱۴۳۳	۰/۸۲۹۳۵۷	۰/۰۲۵۲۱۸	۳۵
C10	۰/۴۲۷۷۸۱۴	۰/۴۲۰۲۷۹	۰/۳۵۰۱۸	۰/۰۶۸۵۳۱۳۶۸	۰.۰۴۹۸۳۱۲۲۹	۱/۰۴۹۸۳۱	۰/۷۸۹۹۹	۰/۰۲۴۰۲۱	۳۶

بر اساس وزن نهایی حاصل از جدول ۹، ترتیب معیارها در جدول ۱۰ ارائه شده است که در آن، برخلاف جداول قبلی که معیارها صرفاً با کدهای تعریف‌شده نمایش داده شده بودند، این جدول نام معیارها را همراه با وزن نهایی و کد اختصاص‌یافته آن‌ها به‌صورت یکپارچه ارائه می‌دهد. این جدول را می‌توان به‌عنوان نتیجه نهایی حاصل از نظرات خبرگان در سنجش و رتبه‌بندی معیارهای شهر اسفنجی مورد استناد قرار داد.

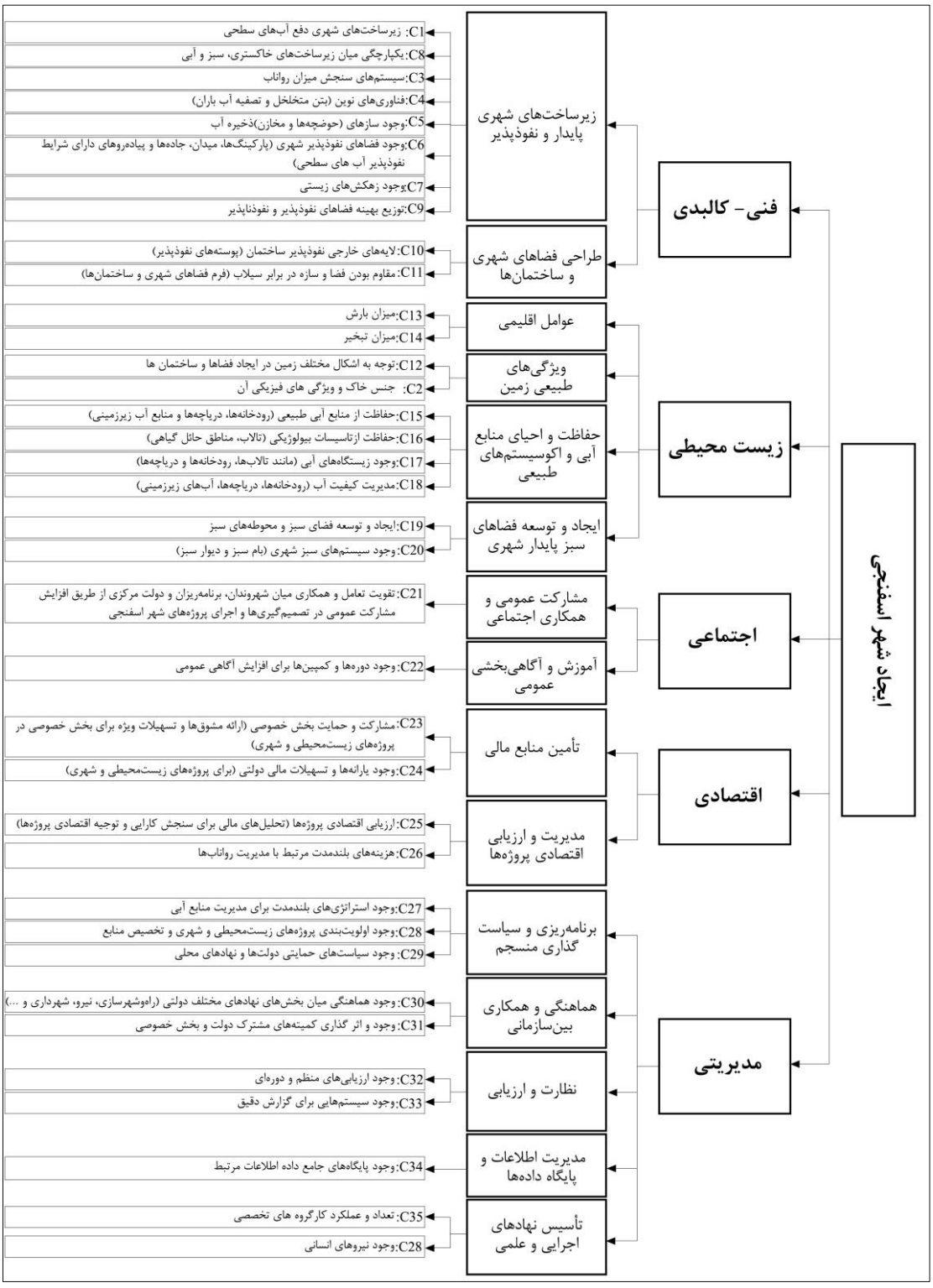
جدول ۱۰. وزن نهایی حاصل از نظر خبرگان

رتبه	معیار	وزن نهایی
C13	میزان و شدت بارش	۰/۰۳۰۴۰۶
C34	وجود پایگاه‌های جامع داده اطلاعات مرتبط	۰/۰۲۹۸۲۹
C6	وجود فضاهای نفوذپذیر آب باران	۰/۰۲۹۶۰۸
C3	سیستم‌های سنجش میزان رواناب (سیستم‌های هیدرومتری)	۰/۰۲۹۵۰۶
C8	یکپارچگی میان زیرساخت‌های خاکستری، سبز و آبی	۰/۰۲۹۴۷۲
C1	کارایی زیرساخت‌های شهری مرتبط با دفع و مدیریت رواناب‌ها	۰/۰۲۹۳۶۱

ادامه جدول ۱۰.

رتبه	معیار	وزن نهایی
C30	وجود هماهنگی میان بخش‌های نهادهای مختلف دولتی (راه و شهرسازی، نیرو، شهرداری و...)	۰/۰۲۹۲۰۶
C27	وجود استراتژی‌های بلندمدت برای مدیریت منابع آبی	۰/۰۲۹۱۰۸
C15	حفاظت از منابع آبی طبیعی (مانند منابع آب زیرزمینی، رودخانه، دریاچه)	۰/۰۲۸۸۶۷
C26	هزینه‌های بلندمدت مرتبط با مدیریت رواناب‌ها	۰/۰۲۸۶۳
C5	وجود سازهای (حوضچه‌ها و مخازن) ذخیره آب باران	۰/۰۲۸۵۹۲
C7	وجود زهکش‌های زیستی (مانند گودال‌های بیو - رینک، گذرگاه‌های گیاهی، استخرهای تصفیه طبیعی)	۰/۲۸۵۸۲
C32	وجود ارزیابی‌های منظم و دوره‌ای	۰/۰۲۸۴۲۲
C16	حفاظت از تأسیسات بیولوژیکی (مانند مناطق حائل گیاهی و تالاب‌ها)	۰/۰۲۸۴۱۲
C28	وجود اولویت‌بندی پروژه‌های زیست‌محیطی و شهری	۰/۰۲۸۴۰۷
C19	ایجاد و توسعه فضای سبز و محوطه‌های سبز (پارک‌ها، فضاهای سبز مقعر، باغ‌های بارانی و...)	۰/۰۲۸۳۸۹
C12	توجه به ویژگی‌های طبیعی زمین (شیب زمین، سطوح مقعر و محدب و...)	۰/۰۲۸۲۸۴
C2	خاک و ویژگی‌های فیزیکی آن	۰/۰۲۸۱۴۴
C18	مدیریت کیفیت آب‌های زیر زمینی	۰/۰۲۸۱۰۴
C31	وجود و اثرگذاری کمیته‌های مشترک دولت و بخش خصوصی	۰/۰۲۸۰۳۸
C4	استفاده از فناوری‌های نوین (بتن متخلخل و تصفیه آب باران)	۰/۰۲۷۸۷۲
C25	ارزیابی اقتصادی پروژه‌های مرتبط با مدیریت رواناب‌ها	۰.۰۲۷۸۶۵
C24	وجود یارانه‌ها و تسهیلات مالی دولتی (برای پروژه‌های زیست‌محیطی و شهری) در راستای مدیریت رواناب	۰/۰۲۷۸۲۶
C29	وجود سیاست‌های حمایتی دولت‌ها و نهادهای محلی	۰/۰۲۷۶۳۹
C23	مشارکت و حمایت بخش خصوصی در راستای پروژه‌های مرتبط با مدیریت رواناب‌ها (ارائه مشوق‌ها و تسهیلات ویژه برای بخش خصوصی در پروژه‌های زیست‌محیطی و شهری)	۰/۰۲۷۳۹۲
C33	وجود سیستم‌هایی برای گزارش دقیق	۰/۰۲۶۹۷۹
C17	وجود زیستگاه‌های آبی (مانند وجود تالاب‌ها و دریاچه‌های مصنوعی)	۰/۰۲۶۹۳۸
C35	تعداد و عملکرد کارگروه‌های تخصصی	۰/۰۲۶۰۱
C36	وجود نیروهای انسانی	۰/۰۲۶۰۱
C14	میزان تبخیر	۰/۰۲۵۹۳۵
C21	تعامل و همکاری میان شهروندان، برنامه‌ریزان و دولت مرکزی	۰/۰۲۵۹۱۷
C9	توزیع بهینه فضاهای نفوذپذیر و نفوذناپذیر	۰/۰۲۵۶۹۹
C11	مقاوم‌بودن فرم فضاهای شهری در برابر رواناب	۰/۰۲۵۶۹۹
C22	وجود دوره‌ها و کمپین‌ها برای افزایش آگاهی عمومی	۰/۰۲۵۵۸۳
C20	وجود سیستم‌های سبز شهری (بام سبز و دیوار سبز)	۰/۰۲۵۲۱۸
C10	وجود لایه‌های خارجی نفوذپذیر ساختمان	۰/۰۲۴۰۲۱

در پژوهش حاضر معیارهای موجود در جدول ۱، توسط نگارندگان در دسته‌بندی کلان‌تری قرار گرفته اند که در شکل ۵ به آن اشاره شده است. در راستای سنجش صحت دسته‌بندی معیارها از ضریب توافق ارزیابان (کاپا) بهره گرفته شده است. مقدار سطح معناداری، ۰/۰۰۰ گزارش شده است که به معنای معنادار بودن وجود توافق میان ارزیابان است و مقدار ضریب کاپا یا همان میزان توافق، ۰/۷۸۶ به دست آمده‌است که بیانگر توافق بسیار خوب میان ارزیابان است.



شکل ۵. دسته بندی معیارهای موثر بر ایجاد شهر اسفنجی

بحث

این پژوهش باهدف شناسایی و رتبه‌بندی معیارهای مؤثر بر تحقق شهر اسفنجی، ابتدا از تحلیل محتوای مطالعات علمی برای استخراج معیارها استفاده کرده و سپس با روش سوارای فازی با منطق دایره‌ای، وزن‌دهی معیارها را بر اساس نظر ۹ خبره تخصصی انجام داده است. یافته‌های پژوهش نشان داد که شدت بارش (وزن:۰/۰۳۰۴۰) مهم‌ترین عامل در ایجاد شهر

اسفنجی محسوب می‌شود. این معیار مستقیماً بر حجم رواناب و نیاز به زیرساخت‌های مدیریت آب تأثیر دارد. در مناطقی با بارش شدید، طراحی شهر اسفنجی ضرورت بیشتری دارد، زیرا بدون این زیرساخت‌ها، سیلاب‌های شهری افزایش‌یافته و موجب آسیب‌های ساختاری و زیست‌محیطی می‌شود.

رتبه دوم به وجود پایگاه‌های جامع داده اطلاعات مرتبط (وزن: ۰/۰۲۹۸۲۹) اختصاص دارد که نبود داده‌های دقیق هیدرولوژیکی موجب کاهش دقت مدل‌سازی‌های شهری و ناکارآمدی تصمیمات مدیریتی در کنترل رواناب می‌شود. رتبه سوم به فضاهای نفوذپذیر شهری (وزن:۰/۰۲۹۲۴) اختصاص دارد که نقش مهمی در جذب و هدایت آب‌های سطحی ایفا می‌کنند. توسعه سطوح نفوذپذیر مانند پیاده‌روهای دارای قابلیت جذب آب، پارکینگ‌های متخلخل و میدان‌های طراحی‌شده با سیستم‌های زهکشی زیستی، یکی از اولویت‌های شهرهای اسفنجی موفق است. سیستم‌های سنجش میزان رواناب (وزن: ۰/۰۲۹۳۹) رتبه چهارم را کسب کرده‌اند که این سنجنده های هوشمند و تجهیزات سنجش رواناب می‌توانند بررسی دقیق تغییرات حجم آب‌های سطحی را در محدوده‌های مختلف شهری را امکان‌پذیر سازند و در راستای برنامه‌ریزی دقیق‌تر، مدیران شهری هدایت کند.

در کشورهای پیشرفته، این سیستم‌ها در کنار داده‌های هواشناسی به‌عنوان مبنای تصمیمات شهری در مدیریت منابع آب به کار گرفته می‌شوند. رتبه پنجم نیز به معیار یکپارچگی زیرساخت‌های خاکستری، سبز و آبی (وزن: ۰/۰۲۸۹۹) اختصاص‌یافته است که این معیار نیز از معیارهای مهمی هستند که در تحقق شهر اسفنجی نقش کلیدی ایفا می‌کنند. یکپارچگی میان این زیرساخت‌ها، توانایی شهر در جذب، ذخیره و هدایت آب‌های سطحی را افزایش داده و وابستگی آن را به سیستم‌های دفع سنتی کاهش می‌دهد. همچنین رتبه ششم نیز مربوط به کارایی زیرساخت‌های شهری مرتبط با مدیریت رواناب (وزن: ۰/۰۲۹۶۱) است که نشان‌دهنده نقش حیاتی شبکه‌های جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی است. ضعف این زیرساخت‌ها منجر به انباشت رواناب، افزایش خطرات سیل و آلودگی منابع آبی می‌شود.

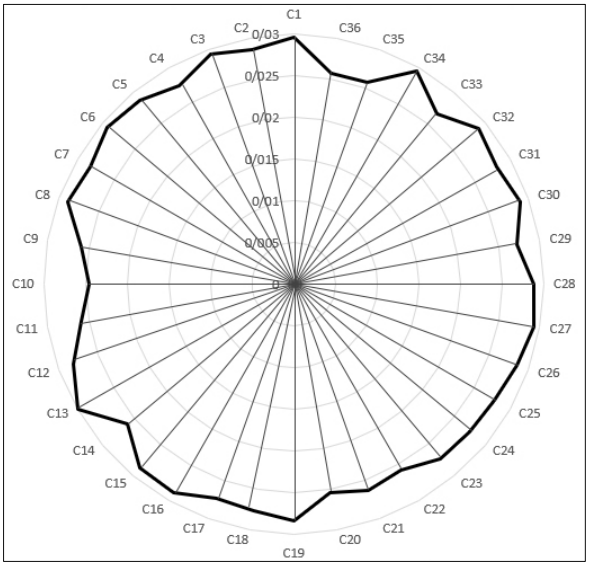
در مقابل، معیارهایی با وزن کمتر نشان‌دهنده چالش‌های اجرایی و موانع مدیریتی در تحقق شهرهای اسفنجی هستند. به‌عنوان‌مثال، زیستگاه‌های آبی (وزن: ۰/۰۲۶۹۳۸) یکی از مؤلفه‌های ارزشمند در پایداری اکوسیستم‌های شهری محسوب می‌شوند، اما توسعه و مدیریت آن‌ها با چالش‌های قابل‌توجهی همراه است. علاوه بر هزینه‌های نگهداری، تأمین منابع آب جایگزین به‌جز رواناب‌های سطحی، یکی از موانع اجرایی کلیدی در حفظ پایداری این زیستگاه‌ها است. این مسئله، به‌ویژه در شرایطی که تغییرات اقلیمی گسترده موجب کاهش بارندگی شود، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند؛ چراکه بدون منابع آب پایدار، عملکرد این زیستگاه‌ها مختل خواهد شد؛ بنابراین، استفاده از استراتژی‌های جایگزین نظیر بازچرخانی آب، تصفیه فاضلاب و بهره‌گیری از سیستم‌های ذخیره‌سازی بلندمدت، ضروری است تا این زیستگاه‌ها در شرایط ناپایدار اقلیمی همچنان کارآمد باقی بمانند. سیستم‌های سبز شهری (وزن: ۰/۰۲۵۲۱۸) مانند بام سبز و دیوار سبز، گرچه در ارتقای پایداری شهری تأثیرگذار هستند، اما اجرای آن‌ها نیازمند تخصص فنی و رعایت استانداردهای دقیق معماری است.

برخلاف تصور عمومی، هر فضای سبزی که بر روی پشت‌بام‌ها ایجاد شود، بام سبز محسوب نمی‌شود؛ بلکه یک بام سبز استاندارد باید از هفت لایه پوشش خاکی و سیستم‌های زهکشی مناسب تبعیت کند. علاوه بر این، محدودیت‌های طراحی و عدم امکان پوشش کامل پشت‌بام‌ها با فضای سبز، مانع از کنترل مؤثر حجم رواناب‌های شهری می‌شود. این سیستم‌ها عمدتاً موجب تأخیر جزئی در خروج آب شده و نمی‌توانند در برابر بارش‌های شدید، نقش کنترلی چشمگیری ایفا کنند (محمودی زرندی و پاکاری، ۱۳۹۱). لایه‌های خارجی نفوذپذیر ساختمان (وزن: ۰/۰۲۴۰۲۱) نیز گرچه یکی از روش‌های مؤثر در جلوگیری از ایجاد رواناب ها محسوب می شوند، اما هزینه‌های بالای اجرا، پیچیدگی‌های مهندسی و نیاز به تغییر مقررات ساختمانی، مانع از توسعه گسترده آن در شهرها شده است. با این حال، این فناوری می‌تواند در ساختمان‌های خاص مانند هتل‌ها، رستوران‌ها و مراکز تجاری مورد استفاده قرار گیرد تا بخشی از رواناب‌های سطحی در این فضاها کنترل شود. این تحلیل نشان می‌دهد که معیارهای با وزن بالاتر، عمدتاً در لایه‌های مدیریتی و زیرساختی قرار دارند، درحالی‌که معیارهای کم‌وزن بیشتر شامل موانع اجرایی و چالش‌های مالی هستند.

نتایج این پژوهش، چارچوبی علمی و کاربردی برای تصمیم‌گیری‌های اجرایی در راستای مدیریت آب‌های سطحی به‌وسیلهٔ توسعه شهرهای اسفنجی را فراهم می‌کند. تحلیل‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که تحقق این رویکرد مستلزم ارزیابی عملی معیارها در مقیاس شهری و بررسی جامع هزینه‌های اقتصادی زیرساخت‌های مرتبط است. علاوه بر این، تقویت سیاست‌های حمایتی، افزایش سطح مشارکت عمومی و ایجاد پایگاه‌های داده محیط‌زیستی یکپارچه، از ضروری‌ترین اقدامات برای شکل‌گیری زیرساخت‌های اسفنجی پایدار محسوب می‌شود. یافته‌های این پژوهش، مبنای علمی قابل‌اتکایی برای برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران فراهم می‌کند تا با شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای کلیدی این رویکرد، فرایند اجرای شهرهای اسفنجی را در ایران به‌صورت نظام‌مند و هدفمند پیش برند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تحقق شهر اسفنجی مستلزم توجه به مجموعه‌ای از معیارهای کلیدی در مدیریت آب‌های سطحی است. شدت بارش، نفوذپذیری فضاهای شهری، کارایی زیرساخت‌های شهری مرتبط با دفع و مدیریت رواناب‌ها و یکپارچگی میان زیرساخت‌های مختلف، مؤلفه‌های اصلی در این رویکرد محسوب می‌شوند. علاوه بر این، پایش دقیق داده‌ها و تدوین استراتژی‌های بلندمدت نقشی حیاتی در مدیریت منابع آبی شهری ایفا می‌کند. در شکل شماره ۶، معیارها بر اساس ضریب اهمیت تعیین‌شده از سوی خبرگان مرتب شده‌اند. میزان اهمیت هر معیار بر اساس فاصلهٔ آن از بیرونی‌ترین لایهٔ مدل تار تحلیل می‌شود؛ به‌گونه‌ای که معیارهای دارای وزن و اهمیت بالاتر به لایهٔ خارجی، با ضریب اهمیت ۰/۰۳، نزدیک‌تر بوده و معیارهای با وزن کمتر به لایهٔ داخلی، با ضریب اهمیت ۰، متمایل‌تر هستند. این ساختار به‌وضوح تأثیر معیارها را در فرایند تصمیم گیری جهت پیاده سازی شهر اسفنجی را نمایان می‌سازد و امکان بررسی جایگاه هر معیار در مدل ارزیابی شهر اسفنجی را فراهم می‌آورد.



شکل ۶. مدل تار ایجاد شده بر اساس وزن نهایی هر معیار

همچنین این پژوهش، به‌عنوان یک مطالعهٔ زیربنایی، می‌تواند پایهٔ نظری و اجرایی برای پژوهش‌هایی باشد که در پی امکان‌سنجی پیاده‌سازی رویکرد شهر اسفنجی در مناطق گوناگون کشور هستند. در این راستا، تلاش شده است تا مؤلفه‌های کلیدیِ مورد نیاز برای تصمیم‌گیری در فرایند اجرا، شناسایی شوند. اجرای چنین رویکردی مستلزم برنامه‌ریزی دقیق و صرف هزینه‌های قابل‌توجه است، اما برای جلوگیری از خطا یا اتلاف منابع، ضروری است که پیش از هرگونه اقدام اجرایی، سطح قابلیت اجرای این رویکرد در شهر یا منطقهٔ هدف به‌صورت علمی و دقیق سنجیده شود. چنانچه نتایج این سنجش، نشان‌دهندهٔ امکان‌پذیری در سطحی فراتر از حد متوسط باشد، می‌توان با اعتماد بیشتر وارد فاز اجرا شد.

بی‌تردید، اجرای مؤثر شهر اسفنجی نیازمند آغاز یک پروژهٔ آزمایشی در مقیاسی کوچک (همچون یک شهرک مسکونی) است. چنین اقدامی امکان دستیابی به داده‌های تجربی واقعی را فراهم می‌سازد و زمینه‌ساز تحلیل دقیق‌تر هزینه‌ها، بهینه‌سازی مدل‌های اجرایی و تبیین روشن‌تر نقش شهروندان در فرایند پیاده‌سازی خواهد بود. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود که مطالعات آتی با تکیه بر داده‌های میدانی و واقعی که حاصل از اجرای این رویکرد است باشد تا به تحلیل‌های اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی عمیق‌تری بپردازند و بستر لازم برای توسعهٔ پایدار شهرهای اسفنجی، به‌عنوان یکی از رویکردهای نوین در عرصهٔ پایداری شهری، فراهم گردد.

منابع

اسدی، محمدرضا؛ اخترکاوان، مهدی (۱۳۹۹). شهر اسفنجی گامی به سوی آینده و نقش آن در مقابله با سیلاب‌ها. *هفتمین همایش علمی‌پژوهشی توسعه و ترویج علوم معماری و شهرسازی ایران*، تهران. https://civilica.com/doc/1180510

پرهیزگار، فاطمه؛ سلطانی، علی؛ ایزدی، حسن؛ طالب‌بیدختی، ناصر (۱۴۰۰). *امکان‌سنجی به کارگیری رویکرد شهر اسفنجی در منطقه کلان شهری، نمونه موردی: شیراز*. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشگاه شیراز.

جانی‌پور، بهروز؛ امینی‌فرد، زهرا (۱۴۰۲). افزایش تاب‌آوری محیط‌زیست شهری با زیرساخت‌های سبز در شهر اسفنجی با رویکرد توسعه کم اثر (LID). *اولین همایش ملی راهبردهای توسعه فضای سبز در شهرهای حاشیه کویر*، قم. https://civilica.com/doc/2097443

جمشیدی، مژده (۱۴۰۳).رویکرد شهرهای اسفنجی برای تحقق پایداری منابع آبی در شهرهای کویری. *اولین کنفرانس ملی راهبردهای مهندسی و مدیریتی در سامانه‌های آبی*، اصفهان. https://civilica.com/doc/2120454

حاجی الیاسی، علی (۱۳۹۷). شهر اسفنجی دیدگاهی نوین از منظر آبخوانداری شهری به منظور مدیریت و بهره‌برداری از سیلاب‌های شهری. *کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران*، تهران. https://civilica.com/doc/846225

خسروی، امیررضا؛ ژاله، کیارش؛ قاضی‌مرادی، مصطفی (۱۴۰۱). مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته از تلفیق دو حوزهٔ شهر اسفنجی و تامین مالی سبز با شناسایی خلاءهای تحقیقاتی. *اولین همایش مهندسی عمران و منابع زمین*، تهران. https://civilica.com/doc/1644694

زیاری، کرامت اله؛ منصوری‌اطمینان، ابوالفضل (۱۴۰۲). واکاوی نقش شکل‌گیری شهرهای اسفنجی بر کاهش آسیب‌پذیری‌های ناشی‌از سیلاب‌های شهری (مورد پژوهی: شهر مشهد). *دومین رویداد بین‌المللی نمایشگاهی مدیریت بحران ایران قوی*، تهران. https://civilica.com/doc/1927642

صمیمی، کیانوش؛ پاکان، مهیار؛ سینایی، یحیی (۱۴۰۱). مروری بر اجزای شهرهای اسفنجی ساخته شده از بتن متخلخل در راستای توسعه پایدار. *مصالح و سازه های بتنی*، ۷(۱)، ۴۶-۵۹. https://doi.org/10.30478/jcsm.2022.344918.1270

محمودی زرندی، مهناز؛ پاکاری، ندا (۱۳۹۱). طراحی جزئیات مناسب بام سبز برای کاهش مصرف انرژی ساختمان. *معماری و شهرسازی آرمانشهر*، ۶(۱۱) ، ۱۴۱-۱۵۱ . https://www.armanshahrjournal.com/article_33471.html

نوری، محبوبه؛ رضایی، محمدرضا (۱۴۰۲: الف). ارزیابی تحلیل فرصت‌ها و چالش‌های اجرایی سیاست بازیافت آب در طرح شهر اسفنجی. *دومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و چهارمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت*، تهران. https://civilica.com/doc/1975581

نوری، محبوبه؛ رضایی، محمدرضا (۱۴۰۲: پ). کاربرد فناوری‌های زیست‌محیطی در ایجاد روسازی بوم شهر اسفنجی(نمونه موردی: شهر شیراز). برنامه ریزی فضایی(جغرافیا)، ۱۳(۴) ، ۹۷-۱۱۴. https://doi.org/10.22108/SPPL.2024.139409.1752

نوری، محبوبه؛ رضایی، محمدرضا (۱۴۰۲:ب). ارزیابی روند گسترش زیرساخت‌های شهر اسفنجی به عنوان مکانیسم موثر در مدیریت منابع آب به منظور تحقق توسعه پایدار شهر شیراز. *دومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و چهارمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت*، تهران. https://civilica.com/doc/1975493

نوری، محبوبه؛ رضایی، محمدرضا؛ عسگری، ابراهیم (۱۴۰۲). ارزیابی نقش شهر اسفنجی به عنوان شهری سبز- آبی در ارتقاء سطح خدمات اکوسیستم شهر شیراز. *پژوهش‌های جغرافیایی برنامه ریزی شهری*، ۱۳ (۴) ، ۱۳۳-۱۵۳. http://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2024.369561.1892

هاشم‌پور، رحیم؛ شجاع‌رضوی، نیلوفر (۱۳۹۶). بررسی رویکرد نوین شهر اسفنجی و عوامل مؤثر بر آن. *پنجمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری*، تهران. https://civilica.com/doc/734822

یمانی، علیرضا؛ آدرسی، مصطفی؛ کریمایی، مجتبی (۱۴۰۰). توسعهٔ پایدار شهری با تکیه‌بر مفهوم شهر اسفنجی و مطالعهٔ تخصصی روسازی با بتن متخلخل در شهر اسفنجی. *اولین کنفرانس بین‌المللی طراحی و مدیریت ساخت پایدار*، جزیره کیش. https://civilica.com/doc/1430270

References

Asadi, M., & Akhtarkavan, M. (2020). The sponge city: A step toward the future and its role in flood mitigation. *The 7th Scientific & Research Conference on the Development and Promotion of Architecture & Urbanism in Iran,* Tehran. https://civilica.com/doc/1180510 (In Persian)

Atanassov, K. T. (2020). Circular intuitionistic fuzzy sets. *Intelligent & Fuzzy Systems*, *39*(5), 5981-5986. https://doi.org/10.3233/JIFS-189072

Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Griffiths,J.A.,Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang,Y.T, Xu,Y., & Thorne, C. R. (2018). "Sponge City" in China—a breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. *Land use policy*, *76*, 772-778. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.005

Chen, S., van de Ven, F. H., Zevenbergen, C., Verbeeck, S., Ye, Q., Zhang, W., & Wei, L. (2021). Revisiting China's Sponge City planning approach: Lessons from a case study on Qinhuai District, Nanjing. *Frontiers in Environmental Science*, *9*, 20-36. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.748231

Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal., E., Geneletti, D., Orru, H., Bhave, A.G., Mittal., N., Feliu, E., & Faehnle, M. (2014). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Environmental Management*, *146*, 107-115. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.025

Gu, J., & Cui, H. (2017). Analysis on the Role of Government in the Construction of Sponge City. Taking the Construction of Wuhan Sponge City of Hunan as an Example. *In 3rd International Conference on Economics, Management, Law and Education* (EMLE 2017) (pp. 382-385). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/emle-17.2017.78

Guan, X., Wang, J., & Xiao, F. (2021). Sponge city strategy and application of pavement materials in sponge city. *Journal of Cleaner Production*, *303,*127022. https://doi.org/10.1016/ j.jclepro. 2021.127022

Haji Elyasi, A. (2018). The sponge city: A new perspective on urban aquifer management for controlling and utilizing urban floods. *International Conference on civil engineering, architecture and urban development management in Iran*, Tehran. https://civilica.com/doc/846225 (In Persian)

Hamidi, A., Ramavandi, B., & Sorial, G. A. (2021). Sponge City—An emerging concept in sustainable water resource management: A scientometric analysis. *Resources, Environment and Sustainability*, *5*,100028. https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100028

Han, X., & Wu, Y. (2019). Construction and application of "the Sponge City" in different precipitation regions: case studies in Pingxiang and Ji'nan, China. *Energy Procedia*, *159*, 207-212. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.12.052

Hao, W., Sohn, D. W., & Wan, D. (2023). Development and Research Regarding Stormwater Runoff Management: Bibliometric Analysis from 2001 to 2021. *Buildings*, *13*(4), 901. https://doi.org/10.3390/buildings13040901

Hashempour, R., & Shoja-Razavi, N. (2017). A study on the novel sponge city approach and its influencing factors. *The 5th international Congress on civil engineering, architecture and urban development*, Tehran. https://civilica.com/doc/734822 (In Persian)

He, B. J., Zhu, J., Zhao, D. X., Gou, Z. H., Qi, J. D., & Wang, J. (2019). Co-benefits approach: Opportunities for implementing sponge city and urban heat island mitigation. *Land use policy*, *86*, 147-157. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.003

Hibbs, B. J., & Sharp, J. M. (2012). Hydrogeological impacts of urbanization. *Environmental And Engineering Geoscience*, *18*(1), 3-24. https://doi.org/10.2113/gseegeosci.18.1.3

Higashiyama, H., Sano, M., Nakanishi, F., Takahashi, O., & Tsukuma, S. (2016). Field measurements of road surface temperature of several asphalt pavements with temperature rise reducing function. *Case Studies in Construction Materials*, *4*, 73-80. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2016.01.001

Hou, J., Fan, X., & Xu, Y. (2018). The reference of Singapore ABC water plan to China's sponge city: A case study of Singapore Interlaced Building. *Science Discovery*, *6*(6), 305–313. https://doi.org/10.11648/j.sd.20180606.25

Huang, W., Lin, W., Huang, L., Weng, H., Huang, P., & Xia, Q. (2020). Discussion of application of low impact development technology in the construction of sponge city in China. *Desalination and Water Treatment*, *188*, 297-302. https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25283

Jamshidi,M.(2024). *The sponge city approach for achieving water resource sustainability in desert cities*. The First National Conference on Engineering and Managerial Strategies in Water Systems, Isfahan, Iran. https://civilica.com/doc/2120454/ (In Persian)

Janipour, B., & Amini-Fard, Z. (2023). Enhancing urban environmental resilience through green infrastructure in sponge cities with a Low Impact Development (LID) approach. *The first national conference on strategies for the development of green space in cities on the edge of the desert*, Qom. https://civilica.com/doc/2097443 (In Persian)

Ji, M., & Bai, X. (2021). Construction of the sponge city regulatory detailed planning index system based on the SWMM model. *Environmental Technology & Innovation*, *23*. https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101645

Jia, H., Wang, Z., Zhen, X., Clar, M., & Yu, S. L. (2017). China's sponge city construction: A discussion on technical approaches. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, *11*(4), 1-18. https://doi.org/10.1007/s11783-017-0984-9.

Jiang, C., Li, J., Hu, Y., Yao, Y., & Li, H. (2022). Construction of water-soil-plant system for rainfall vertical connection in the concept of sponge city: a review. *Journal of Hydrology*, *605*, 127327. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127327

Jiang, C., Zhang, Y., Zhang, X., Han, Q., & Xiao, Y. (2024). Research on the carbon profit and loss correlation mechanism of sponge city construction life cycle in urban built up areas. *Ecohydrology & Hydrobiology*, *25*(1), 126-137. https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2024.01.011

Jiang, Y., Zevenbergen, C., & Ma, Y. (2018). Urban pluvial flooding and stormwater management: A contemporary review of China's challenges and "sponge cities" strategy. *Environmental science & policy*, *80*, 132-143. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.016

Jiao, S., Zhang, X., & Xu, Y. (2017). A review of Chinese land suitability assessment from the rainfall waterlogging perspective: Evidence from the Su Yu Yuan area. *Journal of Cleaner Production*, 144, 100-106. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.162

Jiayu, H., Xiaohui, F., & Yang, S. "The Reference of Singapore ABC Water Plan to China's Sponge City: A Case Study of Singapore Interlaced Building." *Science Discovery* 12.2 (2018): 471-476.

Keršuliene, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, *11*(2), 243-258. https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12

Khosravi, A., Zhaleh, K., & Ghazi-Moradi, M. (2022). A review of studies integrating sponge city and green financing: Identifying research gaps. *The first civil engineering and land resources conference*, Tehran. https://civilica.com/doc/1644694 (In Persian)

Koster, S. (2021). How the Sponge City becomes a supplementary water supply infrastructure. *Journal of Water-Energy Nexus*, *4*, 35-40. https://doi.org/10.1016/j.wen.2021.02.002

Lashford, C., Rubinato, M., Cai, Y., Hou, J., Abolfathi, S., Coupe, S., Charlesworth, S., & Tait, S. (2019). SuDS & Sponge Cities: a comparative analysis of the implementation of pluvial flood management in the UK and China. *Sustainability*, *11*, 1-14. https://doi.org/10.3390/su11010213

Li, H., Ding, L., Ren, M., Li, C., & Wang, H. (2017). Sponge city construction in China: A survey of the challenges and opportunities. *Water*, *9*(9), 594. https://doi.org/10.3390/w9090594

Li, Y. (2024). Sponge city construction and population health. *Frontiers in Public Health*, *12*, 1285568. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1285568

Liu, C. M., Chen, J. W., Hsieh, Y. S., Liou, M. L., & Chen, T. H. (2015). Build sponge eco-cities to adapt hydroclimatic hazards. In *Handbook of climate change adaptation* (pp. 1997-2009). Springer, Berlin, Heidelberg.https://doi.org/10.1007/978-3-642-38670-1_69

Liu, H., & Dai, L. (2017). Sponge City Strategies and Practices in Weihai, China. *Localities*, *7*, 247-259. https://doi.org/10.15299/local.2017.11.7.247

Liu, L., & Jensen, M. B. (2018). Green infrastructure for sustainable urban water management: Practices of five forerunner cities. *Cities*, *74*, 126-133. https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.11.013

Luo, J., Hu, P., Sun, J., Yang, N., Liu, Q., Qin, N.,Yuan,Y., & Xu, G. (2022). Research on Multiobjective Optimization of Sponge City Based on SWMM Model. *Mobile Information Systems*, *2022*(1). https://doi.org/10.1155/2022/2677518

Mahmoudi Zarandi, M., & Pakari, N. (2013). Extracting Optimized Detail of Green Roof for Decreasing Building Energy Consumption. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, *6*(11), 151-141. https://www.armanshahrjournal.com/article_33471.html (In Persian)

Mei, C., Liu, J., Wang, H., Yang, Z., Ding, X., & Shao, W. (2018). Integrated assessments of green infrastructure for flood mitigation to support robust decision-making for sponge city construction in an urbanized watershed. *Science of the Total Environment*, *639*, 1394-1407. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.199

Nations, U. (2017). World population prospects: The 2017 revision, key findings and advance tables, *Department of economic and social affairs, population division*. https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2017_keyfindings.pd

Nguyen, T. T., Ngo, H. H., Guo, W., & Wang, X. C. (2020). A new model framework for sponge city implementation: Emerging challenges and future developments. *Journal of environmental management*, *253*, 109689. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109689

Nouri, M., & Rezaei, M. (2023). Application of Environmental Technologies in the Creation of the Pavement of the Sponge Eco-City (Case Study: Shiraz City).*Spatial Planning*,*13*(4),97 - 114. . https://doi.org/10.22108/SPPL.2024.139409.1752 (In Persian)

Nouri, M., & Rezaei, M. (2023). Evaluating opportunities and implementation challenges of water recycling policy in the sponge city plan. *The second national conference on water quality management and the fourth national conference on water consumption management with reduced consumption and recycling*, Tehran. https://civilica.com/doc/1975581 (In Persian)

Nouri, M., & Rezaei, M. (2023). Evaluation of the Expansion Process of Sponge City Infrastructure as an Effective Mechanism in Water Resources Management in Order to Realize the Sustainable Development of Shiraz City. *The second national conference on water quality management and the fourth national conference on water consumption management with reduced consumption and recycling*, Tehran. https://civilica.com/doc/1975493/ (In Persian)

Nouri, M., Rezaei, M., & Asgari,E. (2023) Evaluation of the Role of Sponge City as a Green-Blue City in Improving the Level of Ecosystem Services of Shiraz City. Geographical

Urban Planning Research *Quarterly*,*11*(4),133-153. http://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2024.369561.1892(In Persian)

Parhizgar, F., Soltani, A., Izadi, H., & Taleb-Bidokhti, N. (2021). *Feasibility Study of Applying Sponge City Approach in Metropolitan Area, Case Study: Shiraz*, Master's thesis in Regional Planning, Shiraz University. (In Persian)

Peng, Y., & Reilly, K. (2021). Using nature to reshape cities and live with water: an overview of the Chinese Sponge City programme and its implementation in Wuhan. *Report for the EU Project GROWGREEN—Green Cities for Climate and Water Resilience, Sustainable Economic Growth, Healthy Citizens and Environments (Grant Agreement No 730283)*. growgreenproject.eu

Qiao, X. J., Liao, K. H., & Randrup, T. B. (2020). Sustainable stormwater management: A qualitative case study of the Sponge Cities initiative in China. *Sustainable Cities and Society*, *53*, 101963. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101963

Roseen, R. M., Ballestero, T. P., Houle, J. J., Briggs, J. F., & Houle, K. M. (2011). Water quality and hydrologic performance of a porous asphalt pavement as a storm-water treatment strategy in a cold climate. *Journal Of Environmental Engineering*, 138, 81-89. https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000459

Samimi, ,K. Pakan, M., & Sinaei, Y. (2022), A Review of the Components of Sponge Cities based onPervious Concrete for Sustainable Development, *Journal of Concrete Structures and Materials*, *7*(1), 46-59. https://doi: 10.30478/jcsm.2022.344918.1270 (In Persian)

Shang, S., Wang, L., Wang, Y., Su, X., Li, L., & Xia, X. (2023). Exploration of sponge city construction in China from the perspective of typical cases. *Frontiers in Earth Science*, *11*. https://doi.org/10.3389/feart.2023.1238203

Shao, W., Liu, J., Yang, Z., Yang, Z., Yu, Y., & Li, W. (2018). Carbon reduction effects of sponge city construction: A case study of the city of Xiamen. *Energy Procedia*, *152*, 1145-1151. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.09.145

Song, C. (2022). Application of nature-based measures in China's sponge city initiative: Current trends and perspectives. *Nature-Based Solutions*, *2*. https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100010

Song, P., Guo, J., Xu, E., Mayer, A. L., Liu, C., Huang, J., Tian,G.& Kim, G. (2020). Hydrological effects of urban green space on stormwater runoff reduction in Luohe, China. *Sustainability*, *12*(16). https://doi.org/10.3390/su12166599

Sun, T. (2019). *The sponge city in New Zealand.* Master's thesis in Unitec Institute of Technology, Auckland, New Zealand. https://hdl.handle.net/10652/4633

Wang, J., Xue, F., Jing, R., Lu, Q., Huang, Y., Sun, X., & Zhu, W. (2021). Regenerating sponge city to sponge watershed through an innovative framework for urban water resilience. *Sustainability*, *13*(10), 5358. https://doi.org/10.3390/su13105358

Wang, Y., Jiang, Z., & Zhang, L. (2022). Sponge city policy and sustainable city development: The case of Shenzhen. *Frontiers in Environmental Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.772490

Wang, Y., Sun, M., & Song, B. (2017). Public perceptions of and willingness to pay for sponge city initiatives in China. *Resources, Conservation and Recycling*, *122*, 11-20. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.002

Xia, J., Zhang, Y., Xiong, L., He, S., Wang, L., & Yu, Z. (2017). Opportunities and challenges of the Sponge City construction related to urban water issues in China. *Science China Earth Sciences*, *60*, 652-658. https://doi.org/doi/10.3934/math.20231226

Xu, C., & Wen, Y. (2023). New measure of circular intuitionistic fuzzy sets and its application in decision making. *AIMS Math*, *8*(10), 24053-24074. https://doi.org/10.1007/s11430-016-0111-8

Yang, J., & Zheng, B. (2020). Spatial structure planning and optimization strategy of sponge city in coastal area. *Journal of Coastal Research*, *103*(SI), 561-565. https://doi.org/10.2112/SI103-114.1

Yao, Y., Hu, C., Liu, C., Yang, F., Ma, B., Wu, Q., Li,X., & Soomro, S. E. H. (2022).

Comprehensive performance evaluation of stormwater management measures for sponge city construction: A case study in Gui'an New District, China. *Journal of Flood Risk Management*, *15*(4), e12834. https://doi.org/10.1111/jfr3.12834

Yemani, A., Adrasi, M., & Kerimaei, M. (2021*).* Urban sustainable development based on the sponge city concept with a technical study on pervious concrete pavement. *The First International Conference on Sustainable Design and Construction Management*, Kish Island. https://civilica.com/doc/1430270 (In Persian)

Yin, D., Chen, Y., Jia, H., Wang, Q., Chen, Z., Xu, C., Li,Q.,Wang,W.,Yang,Y.,Fu,G.,& Chen, A. S. (2021). Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance. *Journal of Cleaner Production*, *280,* 124963. https://doi. org/10.1016/j.jclepro.2020.124963

Yuan, Y., Zhang, Q., Chen, S., & Li, Y. (2022). Evaluation of comprehensive benefits of sponge cities using meta-analysis in different geographical environments in China. *Science of The Total Environment*, *836,*155755. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022. 155755

Yuan, Y., Zheng, Y., Huang, X., & Zhai, J. (2024). Climate resilience of urban water systems: A case study of sponge cities in China. *Journal of Cleaner Production*, *451,*141781. https://doi.org/10.1016/ j.jclepro.2024.141781

Zaręba, A., Krzemińska, A., Adynkiewicz-Piragas, M., Widawski, K., van der Horst, D., Grijalva, F., & Monreal, R. (2022). Water Oriented City—A '5 Scales' System of Blue and Green Infrastructure in Sponge Cities Supporting the Retention of the Urban Fabric. *Water*, *14*(24), 4070. https://doi.org/10.3390/w14244070

Zha, X., Fang, W., Zhu, W., Wang, S., Mu, Y., Wang, X., Luo,P.,Zainol,M.R.R.M.A., Zawawi,M.H.,Chong,K.L., & Apip, A. (2024). Optimizing the deployment of LID facilities on a campus-scale and assessing the benefits of comprehensive control in Sponge City. *Journal of Hydrology*, *635, 131189*. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024. 131189

Zhang, J., Fu, D., & Zevenbergen, C. (2022). Moving towards water sensitive cities: a planning framework, underlying principles, and technologies—case study Kunshan Sponge City. *Encyclopedia of Inland Waters (Second Edition)*, *4*, 399-416 https://doi.org/10.1016/ B978-0-12-819166-8.00185-7

Zhao, X., Zhang, Z., Hu, W., & Qi, X. (2021). Classification of sponge city construction modes based on regional features. *Water Science and Technology*, *84*(9), 2180-2193. https://doi.org/ 10.2166/wst.2021.417

Zhiliang, L. (2012). *Water Sensitive Urban Design: Cost balance model through life cycle costing methods*, Masters Thesis, University of Western Australia, Perth, Australia. https://watersensitivecities.org.au/content/water-sensitive-urban-design-cost-balance-model -through-life-cycle-costing-methods/

Zhou, H., Li, H., Zhao, X., & Ding, Y. (2021). Emergy ecological model for sponge cities: A case study of China. *Journal of Cleaner Production*, *296,*126530. https://doi.org/10.1016/ j.jclepro.2021.126530

Ziyari, K., & Mansouri-Etminan, A. (2023). Exploring the role of sponge city development in reducing urban flood vulnerability: The case of Mashhad. *The second international exhibition event of crisis management in Iran 1402*, Tehran. https://civilica.com/ doc/1927642 (In Persian)