Technical Strategies in Water Systems
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
ISSN (Online): 2981-1449
Summer 2024: Vol 2, Issue 2, 154-173
https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.1183435

Review Article

Applying the principles of designing sponge greenways in the management of water resources in desert cities (Case study: Maddis of Isfahan)

Mozhdeh Jamshidi [1,2]

1 Assistant Professor, Department of Urbanism, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
2 Assistant Professor, Tourism, Architecture and Urban Research Center, Isfahan (Khorasghsn) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
* *Corresponding author email*: Mojdeh.jamshidi.84@gmail.com

© The Author(s) 2024

Received: 10 Sept 2024 Accepted: 16 Nov 2024 Published: 24 Dec 2024

Abstract

This article examines the principles of the "sponge city" concept, proposing it as a sustainable solution for water resource recovery, specifically through the application of its principles to revive one of the rare water management systems in Iranian cities: the Maddies of Isfahan. Desert cities in Iran, including Isfahan, are facing serious challenges such as water shortages, pollution, climate changes (including urban heat islands and atmospheric inversions), and prolonged droughts, all of which make urban and human life increasingly difficult. Adopting an approach to mitigate these problems and restore natural elements is essential. The Maddies of Isfahan serve to direct, drain, and store water, playing a crucial role in protecting underground water resources. The emerging concept of sponge cities-designed to absorb and retain rainwater-coupled with the development of urban greenways as natural pathways within cities, can enhance the role of these linear natural elements. This research employs an analytical-descriptive method, reviewing existing literature on sponge cities principles and greenway characteristics. By extracting the principles of both approaches and aligning them, this study explores their application in the restoration and regeneration of the Maddies in Isfahan.

The findings suggest that the concept of "spongy greenways" represents an innovative approach to revitalizing ancient water systems. Through design solutions and practical interventions, this approach can enhance environmental functions, social vitality, economic sustainability, and public health. These solutions fall into seven categories: shell design, spatial form and structure, materials and color, natural resource management, vegetation, functionality, and management and maintenance. Together, these strategies contribute in realizing the vision of sustainable urban water management.

Keywords: Sponge city, Sponge greenway, Urban design guidline, Maddies of Isfahan

مجله راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
شاپا الکترونیکی: ۱۴۴۹-۲۹۸۱
تابستان ۱۴۰۳، دوره دو، شماره۲، ۱۵۴-۱۷۳
https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.1183435

مقاله مروری

کاربست اصول طراحی مسیرهای سبز اسفنجی در مدیریت منابع آب در شهرهای کویری (موردپژوهی: مادی‌های شهری اصفهان)

مژده جمشیدی[۱و۲]

۱. استادیار گروه شهرسازی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.
۲. استادیار، مرکز تحقیقات گردشگری معماری و شهرسازی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: Mojdeh.Jamshidi.84@gmail.com

© The Author(s) 2024

دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶ چاپ: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴

چکیده

این مقاله به بررسی اصول «شهر اسفنجی» و پیشنهاد آن به عنوان یک راه‌حل پایدار برای بازیابی منابع آبی و کاربست اصول آن در احیای نقش یکی از منابع نادر در شهرهای ایران؛ مادی‌های شهر اصفهان؛ پرداخته است. شهرهای کویری در ایران اعم از اصفهان با چالش‌های جدی مانند کمبود آب، آلودگی، تغییرات اقلیمی (اعم از جزایر حرارتی و وارونگی هوا) و خشکسالی مواجه هستند که حیات جمعی و زیست انسانی را در این شهرها با مشکل روبرو ساخته و لزوم اتخاذ رویکردی برای کاهش اثرات این معضلات و احیای عناصر طبیعی موجود را ضروری کرده است. سیستم تقسیم آب مادی‌ها در شهر اصفهان علاوه بر تقسیم آب رودخانهٔ زاینده‌رود دارای عملکرد هدایت، زهکشی و ذخیرهٔ آب برای حفاظت از آب‌های زیرزمینی بوده است. ایدهٔ جدید طراحی شهرهای اسفنجی با رویکرد جذب و نگهداشت آب باران از یکسو و طراحی مسیرهای سبز شهری به عنوان ایده‌ای برای طراحی مسیرهای طبیعی در شهرها از سویی دیگر می‌تواند به بهبود نقش این عناصر طبیعی خطی کمک کند. در این پژوهش، از روش تحلیلی- توصیفی و مرور ادبیات موجود در زمینه شهرهای اسفنجی و استخراج اصول آن و بررسی ویژگی‌های مسیرهای سبز و استخراج اصول آن از سویی دیگر و تطابق اصول این دو رویکرد برای کاربست در احیا و بازآفرینی مادی های شهر اصفهان استفاده شده است. نتایج این مقاله حاکی از آن است که ایدهٔ مسیرهای سبز اسفنجی یکی از ایده‌های نوین در احیای سیستم‌های باستانی مادی‌ها است که از طریق پیاده‌سازی و راهکارهای طراحی می‌تواند به ارتقاء نقش محیط زیستی، پویایی اجتماعی، کارایی اقتصادی و سلامت و بهداشت بیانجامد. این راهکارها در ۷ گروه طراحی پوسته‌ها، فرم و شکل‌گیری فضایی، مصالح و رنگ، مدیریت منابع طبیعی، پوشش گیاهی، عملکرد و مدیریت و نگهداری به تحقق این ایده کمک می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: شهر اسفنجی، مسیر سبز اسفنجی، راهکارهای طراحی شهری، مادی‌های اصفهان

۱- مقدمه

در حالی که جمعیت شهرها به سرعت در حال افزایش است، مشکلاتی از قبیل سیلاب‌ها، آلودگی آب و کمبود منابع آبی در حال تشدید است. شهرها برای تأمین نیاز شهروندان خویش دائماً در حال توسعه هستند، که مشکلات زیست محیطی را به چالشی برای آنها بدل کرده‌است. از این رو زندگی شهری و فعالیت‌های اجتماعی با چالش‌های زیست محیطی متعددی ناشی از توسعه‌های شهری روبرو هستند؛ این چالش‌ها شامل مدیریت منابع زیست محیطی اعم از منابع آب، تغییرات اقلیمی، آلودگی، خشکسالی، فرونشت و نظایر آن می‌باشد. در این میان تغییرات اقلیمی این چالش‌ها را سخت‌تر کرده و تأثیرات آن شامل بارش‌های ناپیوسته و شدید، گرماهای شدید و روندهای خشکسالی متناوب می‌باشد. به همین دلیل، روش‌های سنتی مدیریت آب دیگر کارایی لازم را ندارند و شهرها نیاز به راهکارهایی دارند که نه تنها به مدیریت منابع آب کمک کند بلکه در بهبود کیفیت زندگی ساکنان نیز مؤثر باشد.

در راستا، ایدهٔ «شهرهای اسفنجی» به عنوان یک رویکرد نوین برای مدیریت منابع آبی و به عنوان راه حلی برای محدودیت منابع آبی در شهر مطرح گردیده است. بررسی‌های(Shu et al., 2023) نشان داد که در سال ۲۰۱۲ ایدهٔ شهر اسفنجی برای برخورد با پدیدهٔ سیل در چین پیشنهاد شده‌است. شهرهای اسفنجی، بر مبنای جذب، ذخیره و تصفیه آب باران طراحی شده و به عنوان یک راه‌حل پایدار برای توسعه شهری به ویژه بر اساس اصول توسعهٔ کم اثر[1] می‌توانند استفاده شوند. (Hinman, 2005) توسعهٔ کم اثر را به عنوان یکی از روش‌های مدیریت منابع آب شهری (به ویژه رولناب‌ها) معرفی می‌کند که توسط اقداماتی نظیر جوی باغچه، آسفات متخلل، روسازی متخلخل، ترانشه‌های نفوذ، فیلترهای نواری و سیستم‌های ماند بیولوژیکی می‌تواند در طراحی تحقق یابد(Kabarfard et al., 2017) و راهکارهای آن در راستای تحقق شهر اسفنجی نقش مهمی ایفا کند. افزون بر این «شهرهای اسفنجی» تنها در برخورد با رواناب‌ها در شرایط بحرانی سیل مطرح نمی‌شوند، بلکه به عنوان راهکاری برای هدایت و ذخیرهٔ آب‌های سطحی در شرایط خشکسالی نیز کارآمد هستند. خشکسالی یکی از وقایع محیطی و بخش جدایی ناپذیر نوسانات اقلیمی است که شهرهای کویری با ویژگی خاص را تحت تأثیر قرار داده است. راهکارهای توسعهٔ کم اثر برخاسته از اصول شهر اسفنجی که در اشکال گوناگون مدیریت فضاهای سبز مطرح می‌شود، موضوعی است که در این پژوهش برای یکی از شهرهای ایران که دارای یکی از منحصربه فردترین عناصر تاریخی سبز است، استفاده گردید.

فضاهای سبز در معنای عام و ساختارهای سبز در معنای خاص نقش مهمی در ادبیات شهرهای اسفنجی و توسعهٔ کم اثر دارند. زیرساخت‌های سبز با اجرای پیاده‌روهای نفوذپذیر، باغ‌های بارانی و سیستم‌های زهکشی پایدار برای مدیریت مؤثر آب به ویژه آب‌های سطحی و آب باران بسیار مهم هستند. زیرساخت سبز چارچوبی برای حفاظت و توسعه خودپایدار است(Benedict & McMahon, 2012) که تحقق آن می‌تواند نقش مهمی در حفاظت از منابع زیستی به ویژه خاک وآب ایفا کند.

رودخانهٔ زاینده‌رود و نهرهای منشعب از آن در شهر اصفهان مهمترین جریان سطحی در مرکز فلات ایران بوده است که متاسفانه در دو دههٔ اخیر با پدیدهٔ خشکسالی روبرو شده است. هرچند مدیریت سنتی توسعهٔ شهری کارایی لازم برای احیا و بازآفرینی این جریان را به دنبال نداشته‌است و احیای کامل این جریان امری تقریباً غیر ممکن به نظر می‌رسد، تلاش برای احیای این رودخانه همچنان مورد توجه این مقاله است. از این رو این پژوهش با تمرکز بر یکی از مهمترین عناصر سبز این شهر که در ادبیات شهر اسفنجی به عنوان یکی از راهکارهای مدیریت منابع آب مطرح می‌شود، به دنبال احیای هر چند اندک این منبع و کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از نبود این جریان در شهر اصفهان به ویژه حفاظت از منابع آبی سطحی و زیرسطحی می‌پردازد.

[1] LID: Low Impact Development

در این مقاله با استناد به اهمیت و ضرورت شهرهای اسفنجی برای آینده توسعه شهری به ویژه در زمینهٔ پایداری منابع آب، به بسط مبانی این رویکرد و تحقق زیرساخت سبز به عنوان یکی از راهکارهای آن پرداخته شد سپس راهکارهایی برای مادی‌های شهر اصفهان به عنوان یک ساختار سبز شهری بر اساس اصول شهر اسفنجی ارائه گردید. از این رو این مقاله به بررسی سوالات زیر می‌پردازد: ویژگی‌های شهرهای اسفنجی چیست؟ روش‌های کاربردی این الگو برای توسعهٔ زیرساخت‌های سبز شهری کدام‌ها هستند؟ راهکارهای طراحی برای احیای مادی‌های شهر اصفهان براساس اصول شهر اسفنجی و تحقق مسیرهای سبز اسفنجی کدام‌ها می‌باشند؟

۲- روش پژوهش

این پژوهش از یک رویکرد مروری برای ارزیابی مفهوم شهرهای اسفنجی به عنوان یک راه‌حل پایدار در مدیریت منابع آبی استفاده کرده است. در این میان یکی از مهمترین روش‌های شهر اسفنجی احیای ساختارهای سبز می‌باشد که اصول آن نیز مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه شامل سه مرحله اصلی: مرور ادبیات، مطالعه و تحلیل تجربی و راهکارهای طراحی برای مادی‌ها است.
در مرحله اول، مرور جامع ادبیات انجام شد تا دانش موجود درباره اصول، مزایا و چالش‌های مرتبط با شهرهای اسفنجی جمع‌آوری گردد. این مرحله شامل تحلیل مقالات علمی، گزارش‌های دولتی و مطالعات موردی از شهرهایی بود که به‌طور موفقیت‌آمیز اصول شهر اسفنجی را اجرا کرده‌اند. اطلاعات جمع‌آوری‌شده، نظری پایه‌ایی برای درک مفاهیم کلیدی و ویژگی‌های شهرهای اسفنجی فراهم کرد. مرحله دوم شامل تحلیل مقایسه‌ای بین دو مفهوم شهر اسفنجی و زیرساخت سبز است. این مطالعات نشان می‌دهد که اساس ارتباط و موفقیت شهرها در بهبود تاب‌آوری شهری و مدیریت آب، می‌تواند راهکارهای شهر اسفنجی و زیرساخت‌های سبز باشد. مرحلهٔ سوم شامل ارائهٔ راهکارهای طراحی برای مادی‌های شهر اصفهان برگرفته از اصول شهر اسفنجی جهت مدیریت مناسب منابع آب و کاهش اثرات خشکسالی در ترکیب با ایدهٔ مسیرهای سبز شهری می‌باشد.

۳- مبانی نظری

۳-۱- مفهوم‌شناسی شهر اسفنجی

۳-۱-۱- مفهوم شهر اسفنجی

شهر اسفنجی با تعابیر مختلف دیگری نظیر اسفنج شه، اسفنج سبز و بدن اسفنجی در ادبیات شهری به کار رفته است. این مفهوم کاربردهای بسیاری در حوزهٔ صنعت و دانشگاه دارد. اسفنج که واژهٔ مشترک این کلمات است، برای توصیف عملکرد و توانایی شهرها در یک اسفنج می‌باشد(Sallustio et al., 2019; Sun et al., 2020). در کشورهای مختلف این ایده با اشکال گوناگون تعابیر توسعه مطرح شده‌است. به عنوان مثال، طراحی توسعه کم تاثیر در ایالات متحده، طراحی شهری حساس به آب[۲] در استرالیا، سیستم زهکشی پایدار شهری[3] در بریتانیا، طراحی شهری غیرمتمرکز[٤] در آلمان، سیستم هیدرولوژیکی متعادل[٥] در ژاپن و شهر چرخه آب سالم[٦] در کره جنوبی (Sun et al, 2020). طراحی توسعه کم تأثیر عمدتاً از طریق مدیریت منابع آلودگی فضای سبز، آب باران و فناوری انجام می‌شود. نکته اصلی طراحی شهری حساس به آب، انطباق با تغییرات اقلیمی، تقویت مدیریت و استفاده از رواناب باران است. سیستم زهکشی شهری پایدار عمدتاً بر وحدت بین کمیت، کیفیت و راحتی در مهندسی واقعی تمرکز دارد. طراحی شهر غیرمتمرکز بر تفکر توزیع شده متمرکز است و از دو بخش مدیریت غیرمتمرکز آب باران و مدیریت رواناب آب طوفان تشکیل شده است. سیستم هیدرولوژیکی متعادل بر تعادل بین مصرف آب، کنترل سیل و محیط زیست در حوضه تمرکز

[2] WSUD: Water Sensitive Urban Design
[3] SuDs: Sustainable urban Drainage system
[4] DUD: Decentralized Urban Design
[5] BHS: Balanced Hydrological System
[6] HWC: Healthy Water Cycle

دارد. شهرهای چرخه آب سالم عمدتاً با ایجاد یا تغییر زیرساخت‌های سبز آب باران، شهر باران و دهکده باران محقق می‌شوند. شهر اسفنجی چین به طور شهودی زهکشی، جذب و استفاده مجدد از آب باران را از طریق طبیعت بیان می‌کند(Sun et al., 2020).

۳-۱-۲- عملکرد شهر اسفنجی

مفهوم «شهر اسفنجی» به مناطق شهری اشاره دارد که برای جذب، ذخیره و تصفیه آب باران طراحی شده‌اند و از این طریق سیلاب شهری را کاهش داده و به مسائل کمبود آب رسیدگی می‌کنند. این رویکرد به ویژه در زمینه شهرنشینی سریع در چین مرتبط است، جایی که روش‌های ساخت و ساز سنتی این چالش‌ها را تشدید کرده است (Li et al., 2016). تحقیقات نشان می‌دهد که ابتکارات شهر اسفنجی نه تنها مدیریت منابع آب را بهبود می‌بخشد، بلکه پیامدهای بهداشت عمومی را با کاهش آلودگی محیطی و افزایش کیفیت فضاهای شهری بهبود می‌بخشد، بهبود سلامت مرتبط با این پیشرفت‌ها ۱۰/٤ درصد گزارش شده است(Li et al., 2016). علاوه بر این، استفاده از اصول شهر اسفنجی در طراحی چشم‌انداز آب‌نما شهری بر ادغام ویژگی‌های اکولوژیکی در برنامه‌ریزی شهری تأکید می‌کند و جنبه‌های زیبایی‌شناختی و عملکردی محیط‌های شهر را تقویت می‌کند (Peiyao, 2024). با این حال، چالش‌هایی از جمله نیاز به سیستم‌های ارزیابی عملکرد موثر و پرداختن به توسعه مراحل اولیه شهرهای اسفنجی در چین در مقایسه با همتایان غربی (Chen, 2024; Zhu, 2023) باقی می‌مانند. افزون بر این شهرهای اسفنجی نشان دهنده یک رویکرد برنامه‌ریزی شهری نوآورانه با هدف بهبود مدیریت آب و کاهش سیل از طریق یکپارچه‌سازی زیرساخت‌های سبز است. این مفهوم که برای اولین بار در چین معرفی شد، بر تغییر محیط‌های شهری برای مدیریت بهتر آب طوفان و بهبود انعطاف‌پذیری محیط زیستی تاکید داشت(Kryvoruchko & Tymashkov, 2024).

الگوی شهر اسفنجی در مقایسه با الگوی سنتی جمع‌آوری آب، به دلیل زمان کم در مواجهه با بارندگی شدید، امکان تخلیهٔ آب زیرزمینی را از تونل فراهم نمی‌کند و باعث کارایی پایین تونل در سیستم هدایت و ذخیرهٔ آب باران می‌شود و آب باران به دلیل خروج در فضاهای آلاینده به هدر می‌روند. حدود ۸۰ درصد آب باران نفوذ نمی‌کند(Sun et al., 2020)(شکل ۱).

در یک جمع‌بندی می‌توان گفت: ساخت و ساز شهر اسفنجی به صورت ردیف متکی بر کانال‌های زهکشی نیست بلکه متکی بر تالاب‌های مصنوعی جدید، بام سبز، حوض‌ها، برکه‌های مرطوب، دریاچه‌های مصنوعی، کاشت چمن، خندق، پوشش‌های کف‌های نفوذپذیرسبز، آجرهای سوراخ‌دار و نظایر آن است که باعث افزایش عمق و افزایش میزان ذخیره‌سازی آب باران می‌شود(Sun et al., 2020) . این ایده نشان دهنده یک استراتژی امیدوارکننده برای توسعه پایدار شهری است و به مفهوم ایجاد و طراحی شهری است که بتواند به طور مؤثر آب باران را جذب، ذخیره و مدیریت کند. این رویکرد با هدف کاهش خطر سیل، افزایش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی و بهبود محیط زیست شهری طراحی شده است. در یک شهر اسفنجی، زیرساخت‌ها و فضاهای سبز به گونه‌ای طراحی می‌شوند که توانایی جذب و نگه‌داری آب باران را داشته باشند و این آب می‌تواند بعداً به عنوان منبعی برای آبیاری یا استفاده‌های دیگر مورد استفاده قرار گیرد. شهر اسفنجی به عنوان یک راهکار جامع در طرح‌ریزی شهری تعریف می‌شود که در آن از فناوری‌ها و طراحی‌های طبیعی برای مدیریت هیدرولیکی و بهینه‌سازی استفاده از آب در محیط‌های شهری استفاده می‌شود. این مفهوم معمولاً شامل عناصری نظیر پوشش گیاهی، سطوح نفوذپذیر، حوضچه‌های آبگیر و سیستم‌های طبیعی تصفیه آب است. هدف اصلی آن ایجاد شرایطی است که شهرها بتوانند به محیط زیست بهتر پاسخ دهند و از آسیب‌های ناشی از تغییرات آب و هوایی و سیلاب‌ها جلوگیری کنند(شکل ۱و ۲).

۳-۱-۳- هستهٔ اصلی شهر اسفنجی

هسته اصلی ساخت «شهر اسفنجی» شامل شروع از خدمات اکوسیستم و ساخت زیرساخت‌های اکولوژیکی آب در مقیاس‌های مختلف همراه با انواع فناوری‌های خاص اســت (Onuma & Tsuge, 2018). یکی از زیرســاخت‌های اکولوژیکی در این میان زیرساخت‌های سبز و خاکستری می‌باشد.

شکل ۱- قیاس الگوی مدیریت سنتی کنترل آب با الگوی شهر اسفنجی (Sun et al., 2020)

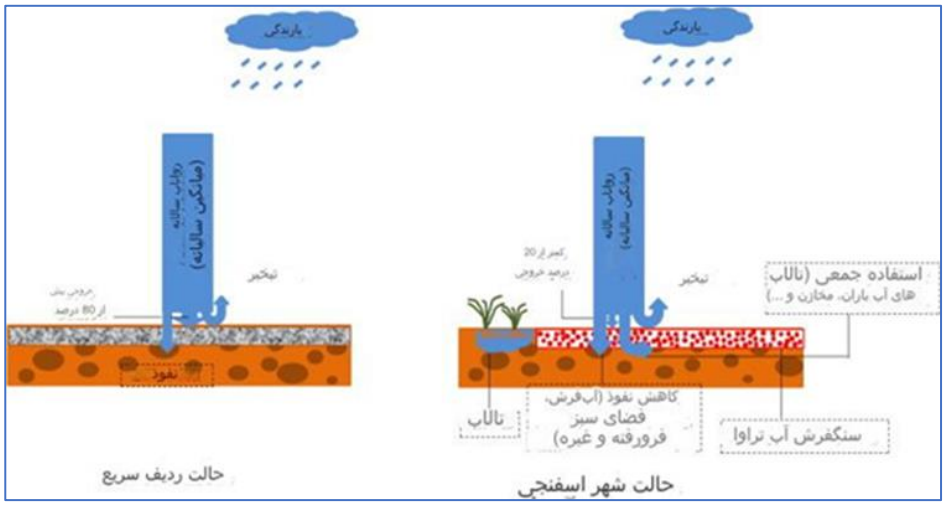

Fig 1. Comparing the traditional water control management model with the sponge city model

شکل ۲- شماتیک بدنه اسفنجی شهری (Sun et al., 2020)

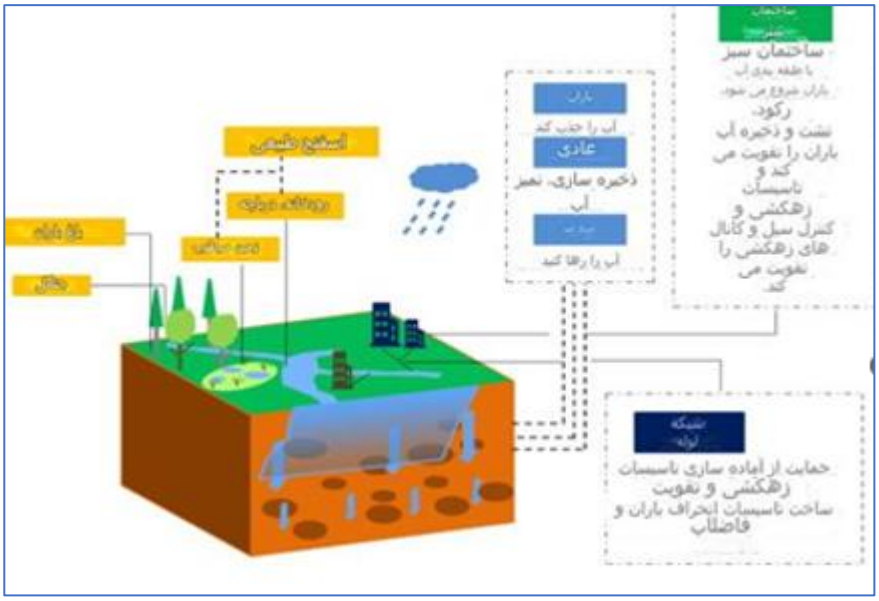

Fig 2. Schematic of urban sponge body

۳-۱-۴- عوامل موثر بر تجلی مفهوم شهرهای اسفنجی

بررسی ادبیات پژوهش پیرامون ایدهٔ شهر اسفنجی را باید در سه خاستگاه تاب‌آوری شهری، توسعهٔ پایدار و تغییرات اقلیمی جستجو کرد. رویکرد شهر اسفنجی را می‌توان روشی به منظور مدیریت بهتر شهرها، بهبود شرایط محیطی و برخورد مناسب با تغییرات اقلیمی دانست.

مطالعات مختلف در این زمینه نظیر Shu et al., 2023; Gan & Sun, 2023; Chen, 2024; Zhu, 2023; Li et al., 2016; Wei & Sun, 2022) (Wang, et al., 2022; Deng et al., 2022; عوامل اصلی تأثیرگذار بر شکل‌گیری این ایده را در ۵ دسته نشان می‌دهند:

عوامل محیطی: تغییرات اقلیمی، افزایش سیلاب‌ها، کمبود منابع آب.

عوامل اجتماعی: رشد سریع جمعیت شهری، افزایش آگاهی عمومی

عوامل اقتصادی: هزینه‌های بالای مدیریت آب، فرصت‌های سرمایه‌گذاری

عوامل سیاسی و مدیریتی: تغییر در سیاست‌های شهری، همکاری بین‌المللی

عوامل تکنولوژیکی: پیشرفت‌های فناوری، نوآوری در طراحی شهری (Jamshidi, 2024).

۳-۱-۵- سیر تاریخی تجلی مفهوم شهر اسفنجی

بررسی پیشینهٔ پژوهش پیرامون ایده‌های مدیریت منابع آب در شهرها حاکی از آن است که این مفهوم را باید در دههٔ ۹۰ میلادی جستجو کرد(Deng et al., 2022) (شکل ۳). (Dietz et al., 2015; Ahiablame et al., 2016) در بررسی تاریخچه مدیریت منابع آبی به دهه ۱۹۸۰و فناوری توسعه با نفوذ کم بر اساس باغ باران در شهرستان پرنس جورج در آمریکا اشاره می‌کنند. پس از آن، اولین استاندارد فنی طراحی جامع در سال ۱۹۹۹ توسط دولت ایالات متحده تدوین شد. مفهوم طراحی LID به سرعت توسط دولت فدرال ایالات متحده و دولت‌های ایالتی بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ تصویب شد. مطالعات مختلفی توسط (Deng et al., 2022) مورد بررسی قرار گرفته است که در اینجا به آن اشاره می‌شود: LID برای مدیریت باران و طراحی کنترل آلودگی منبع غیرنقطه‌ای توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، ارتباط مفهوم شهر اسفنجی با مفهوم «زیرساخت سبز» که در ایالات متحده ترویج می‌شد (Deng et al., 2022). همچنین به سیستم دیگری اشاره می‌کند که می‌توان آن را در این راستا موثر دانست و آن سیستم زهکشی پایدار می‌باشد که هدف آن سازگار ساختن سیستم‌های زهکشی شهری با چرخه آب طبیعی است که در اشکال گوناگون بام سبز، کمربندسبز و نظایر آن می‌تواند تحقق یابد(Deng, et al., 2022). مورد دیگری که در این راستا شکل می‌گیرد ایدهٔ طراحی شهری حساس به آب می‌باشد که در استرالیا به دلیل مفهومی مشابه پدیدار می‌شود(Kazemi et al., 2018; Rostami et al., 2024).

در دهۀ دوم قرن ۲۱ این ایده باعث گسترش دیدگاه‌های نوآورانه شد. یکی ازاین ایده‌ها که در این پژوهش، ارتباط آن با شهر اسفنجی مد نظر قرار گرفت، زیرساخت سبز و ادبیات برخاسته از آن است. زیرساخت سبز تعبیری از حفاظت هوشمندانه در قرن بیست و یکم است(Benedict & McMahon, 2012).

شکل ۳- سیر تاریخی مفهوم شهر اسفنجی (Jamshidi, 2024)

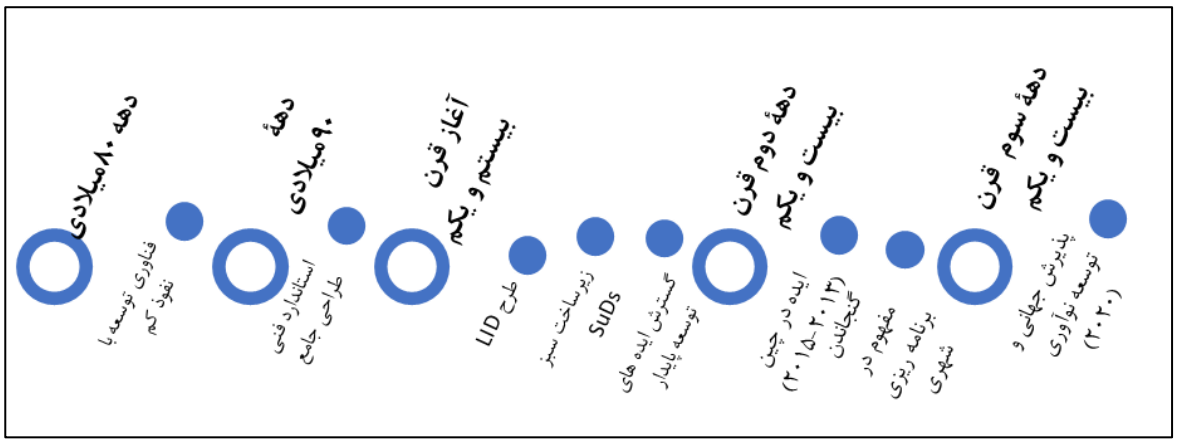

Fig 3. The Evolution of the sponge city concept

۳-۱-۶- اصول، روش‌ها، راهکارها و روش‌های تحقق شهر اسفنجی

با الهام از تفکر پایداری در ایده‌پردازی شهر اسفنجی می‌توان اصول این ایده را به شرح ذیل برشمرد (Jamshidi, 2024).

تفکر اکوسیستمی: طراحی شهرها به گونه‌ای که فرآیندهای طبیعی و اکوسیستمی در مدیریت آب لحاظ شوند.

مدیریت پایدار آب**:** استفاده پایدار از منابع آب و توجه به گردش طبیعی آن.

توجه به تنوع زیستی: حفظ و ارتقای تنوع زیستی در طراحی محیط‌های شهری.

بررسی مطالعات (Zhang et al., 2019) در این زمینه ما را به راهکارهای زیر رهنمود می‌سازند:

زیرساخت‌های سبز: استفاده از فضاهای سبز به عنوان ابزار مدیریت آب.

سیستم‌های جمع‌آوری آب باران: طراحی و ساماندهی سیستم‌های مؤثر برای جمع‌آوری و استفاده از آب باران.

آموزش و آگاهی: افزایش آگاهی عمومی در مورد اهمیت حفظ منابع آب.

برخی از روش‌های پیشنهادی مطالعات در راستای تحقق شهر اسفنجی عبارت است از:

تحلیل فضایی: بررسی و طراحی فضاهای شهری برای افزایش نفوذپذیری.

مدیریت جریان آب: بهبود و هدایت جریان‌های آب برای جلوگیری از سیلاب.

توسعه بستر آبی: ایجاد بسترهای آبی برای ذخیره آب باران.

برخی از روش‌های پیشنهادی در مطالعات (Zhang et al., 2019) را می‌توان به شرح ذیل برشمرد:

حوضچه‌های نفوذ: طراحی حوضچه‌های جمع‌آوری آب برای نفوذ و ذخیره‌سازی.

سقف‌های سبز: استفاده از گیاهان و خاک بر روی سقف‌ها برای جذب باران

محله‌های سبز: طراحی محله‌ها به گونه‌ای که فضای سبز در آن‌ها مزایای مدیریت آب را در پی داشته باشد.

مناطق خزانه‌داری آب: ایجاد فضاهایی برای ذخیره و استفاده مجدد از آب‌های بارانی.

۳-۱-۷- راهکارهای نمونه‌های جهانی برای شهر اسفنجی

شهرهای مختلفی در سراسر جهان، همچون سنگاپور، کپنهاگو ونکوور موفق به پیاده‌سازی اصول شهرهای اسفنجی شده‌اند و نتایج مثبتی را به دست آورده‌اند. این نمونه‌ها می‌توانند الهام‌بخش سایر شهرها باشند تا امکان‌سنجی خود را در این مدل توسعه بررسی کنند. در زمینه شهرهای اسفنجی، چندین شهر و کشور پیشرو وجود دارند که نمونه‌های موفقی از این رویکرد را پیاده‌سازی کرده‌اند. در ادامه، این شهرها و راهکارهای پیشنهادی آن‌ها به‌تفکیک معرفی شده است:

چین: به عنوان کشور پیشرو در شهرهای مختلفی ایدهٔ شهرهای اسفنجی با راهکارهای مختلف را اجرا نموده است. به عنوان مثال راهکارها و روش‌های پیشنهادی در شهر چنگدو به شرح ذیل است: طراحی فضاهای سبز(ایجاد پارک‌ها، باغ‌ها و مناطق سبز که به جذب و ذخیره آب باران کمک می‌کند)، سیستم‌های لوله‌کشی هوشمند (استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای مدیریت و هدایت آب باران، استخرهای بی‌هوازی، مجسمه‌های هیدرولیک، بسترهای حوضچه‌های گیاهی، استخرهای ماهی و تأسیسات استفاده مجدد از آب از بالا به پایین در امتداد زمین)، ساختارهای نفوذپذیر(استفاده از مصالح نفوذپذیر در معابر و پارکینگ‌ها، پارک آبی زنده، جاده اسفنجی) (Greening Solution, 2023).

راهکارها و روش‌های پیشنهادی شنزن[7]استفاده از حوضچه‌های ذخیرهٔ آب (ایجاد حوضچه‌های ذخیره آب باران برای استفاده در آبیاری و کنترل سیلاب)، مدیریت آب باران بر اساس فرایندهای طبیعی(توسعه زیرساخت‌های طبیعی برای مدیریت آب و افزایش کیفیت آب) (Wang et al., 2022).

[7]Shenzhen

ایالت متحده آمریکا: در این میان می‌توان به شهر سیاتل و پورتلند اشاره نمود. راهکارها و روش‌های پیشنهادی در شهر سیاتل[8] شامل سقف‌های سبز(تشویق به ایجاد سقف‌های سبز در ساختمان‌ها برای جذب آب باران) و حوضچه‌های جمع‌آوری آب باران(طراحی حوضچه‌های جمع‌آوری آب باران برای استفاده در آبیاری و کاهش سیلاب) است(Urbanist, 2023).

راهکارها و روش‌های پیشنهادی در شهر پورتلند[9]: استفاده از فضای سبز در طراحی شهری(توسعه مناطق سبز و ایجاد باغ‌های بارانی برای جذب و فیلتر کردن آب باران) و سیاست‌های تشویق به کاربرد موادی با نفوذپذیری بالا(استفاده از مصالح و گزینه‌های طراحی که آب را به داخل زمین هدایت می‌کنند) (O'Donnell et al., 2020).

آلمان: راهکارها و روش‌های پیشنهادی برای شهر هامبورگ[10]: سیستم‌های مدیریت آب شهری(استفاده از سیستم‌های هوشمند برای کنترل جریان آب و زهکشی سبز)، فضاهای سبز، بام‌های سبز و نماهای سبز(تشویق به طراحی بام‌های سبز و ایجاد پارک‌های جذب‌آب برای کنترل سیلاب و بهبود کیفیت آب).

هلند: راهکارها و روش‌های پیشنهادی برای شهر روتردام[11]: طرح‌های دیجیتال برای مدیریت آب(ارتباط بین سیستم‌های آب شهری و اطلاعات از طریق سیستم‌های دیجیتال)، توسعه پروژه‌های نوآورانه مانند لجن‌های آب‌زیرزمینی(استفاده از فناوری‌های نوین برای مدیریت آب‌های سطحی و زیرزمینی، چمن‌های لانه زنبوری و حذف سنگفرش)، کانال‌های جذب موثر آب باران به واسطهٔ ایجاد تراس‌ها، ایجاد مسیرهای خاص (مسیرهای خاص کوهستانی)(SWM, n.d).

ژاپن: راهکارها و روش‌های پیشنهادی برای شهر توکیو[12]: استفاده از مخازن زیرزمینی (توسعه مخازن زیرزمینی برای ذخیره و مدیریت آب باران)، فضاهای عمومی سبز(افزایش مساحت فضاهای عمومی سبز برای بهبود کیفیت آب و کاهش سیلاب) (INCAS, 2019).

این نمونه‌ها و راهکارها نمایانگر تلاش‌های جهانی برای تحقق مفاهیم شهر اسفنجی و مدیریت پایدار آب باران می‌باشند. هر یک از این شهرها به شیوه‌ای خاص اقدام کرده‌اند که می‌تواند الگوی مناسبی برای دیگر شهرها در راستای مدیریت آب و مقابله با مشکلات ناشی از مباحث آبی باشد.

۳-۲- مفهوم‌شناسی زیرساخت سبز

۳-۲-۱- مفهوم ساختار سبز

ساختار سبز شهری را نباید یک رویکرد جدید دانست منشاء آن در دو رویکرد: ۱- زیباسازی شهری در جهت بهره‌گیری برای شهروندان ۲- حفاظت از مناطق و منابع طبیعی است(Benedict & McMahon, 2012). از این رو این مفهوم را باید برخاسته از رویکرد توسعه پایدار دانست که برای حل مشکلات زیست محیطی شهرها به ویژه منابع آبی کارساز بوده‌است.

زیرساخت سبز رویکردی برای مدیریت آب است که از چرخه طبیعی آب محافظت، بازیابی یا تقلید می‌کند. زیرساخت سبز موثرو اقتصادی است و ایمنی و کیفیت زندگی جامعه را افزایش می‌دهد(American rivers, nd). (Sun et al., 2020) ضمن بررسی تاریخچه زیرساخت سبز دو تعبیر را برای این واژه ترکیبی بررسی کردند: زیرساخت سبز به عنوان اسم و زیر ساخت سبز به عنوان صفت. هنگامی که زیرساخت سبز به عنوان یک اسم استفاده می شود، به «شبکه فضای سبز متشکل از مناطق طبیعی و سایر فضاهای باز به هم پیوسته، از جمله مناطق طبیعی، مناطق حفاظت شده عمومی و خصوصی و زمین‌های مولد با ارزش‌های حفاظتی اشاره دارد (Woznicki et al., 2018). هنگامی که زیرساخت سبز به عنوان یک صفت استفاده می‌شود، نشان دهنده

[8] Seattle
[9] Portland
[10] Hamburg
[11] Rotterdam
[12] Tokyo

یک شبکه سیستم باز محافظت شده است که از ارزش منابع طبیعی محافظت می‌کند و عملکردهای بقای انسان‌ها، حیوانات و گیاهان را حفظ می‌کند و زیرساخت سبز برنامه‌ریزی شده و هنجاری است(Lafortezza Alves et al., 2018; Bohns, 2020 et al., 2013;).

با درک عمیق زیرساخت سبز، از آن به عنوان یک اقدام مهم برای حفاظت صحیح از زمین و هدایت توسعه پایدار شهر در آینده استفاده خواهد شد.

۳-۲-۲- مزایا و عملکرد زیرساخت‌های سبز

بر اساس گزارش آژانس محیط زیست اروپا (EEA, 2011) زیرساخت سبز دارای ٤ عملکرد می‌باشد: ۱- ارتقاء کیفیت زیست محیطی۲- چند عملکردی بودن ۳- مکان‌سازی ٤- حفاظت هوشمند.

راهنمای زیرساخت سبز برای مدیریت آب سازمان ملل متحد(UNEP, 2014) عملکرد زیرساخت سبز را اینچنین معرفی می‌کند: ۱- سازگاری با تغییرات اقلیمی۲- ارتقاء کیفیت منابع آبی ۳- مزایای تفریحی و گردشگری ٤- ارتقاء تاب‌آوری در برابر شوک‌های آب و هوایی ٥- تنوع.

آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA, 2015) عملکرد و مزایا زیرساخت سبز نسبت به زیرساخت خاکستری را به شرح ذیل بر می‌شمارد: ۱- صرفهٔ اقتصادی ۲- ارتقای کیفیت هوا/ تغییرات اقلیمی ۳- ارتقای کیفیت و کمیت آب ٤- ارتقای کیفیت زندگی ٥- فرصت‌های آموزشی.

۳-۲-۳- اشکال ساختار سبز

شبکه ساختار سبز: طیف گسترده‌ای از اکوسیستم‌های بومی طبیعی و بازسازی شده و ویژگی‌های چشم‌انداز از جمله منابع و مناطق طبیعی حفاظت شده مانند تالاب‌ها، جنگل‌ها، آبراهه‌ها و زیستگاه‌های حیات وحش را در بر می‌گیرد. اراضی حفاظتی عمومی و خصوصی مانند پارک‌های ملی و دولتی، مناطق طبیعی حفاظت شده، راهروهای حیات وحش، مناطق بیابانی، چشم اندازها و مسیرهای سبز است. از نظر شکلی شبکهٔ ساختار سبز در شبکه‌ای از قطب، ارتباطات و سایت‌ها است(Benedict & McMahon, 2012). مراکز را می‌توان تحت عنوان مکان‌های سبز(موضع)، ارتباطات را با مسیر سبز (مسیر) و سایت‌ها را با پهنهٔ سبز (حوزه) تعریف کرد (Jamshidi & Ghalenoee, 2010)

سیر تاریخی ساختار سبز: ساختار سبز مفهومی جدید در ادبیات شهرسازی نمی‌باشد و می‌توان آن را در تغییرات الگوی فضایی شهر در ارتباط با طبیعت و فضای سبز از دوران پیش از رنسانس جستجو نمود. در دوران پیش از رنسانس ارتباط مطلوب شهر و بستر طبیعی تعاملی میان فضای ساخته شده و فضای طبیعی باز بود که در دوران رنسانس با اعمال نظم سادهٔ هندسی و با جایگزینی طبیعت بکر به جای فضای ساخته شده در قالب نهضت منظرسازی خود را نشان داد. در قرن ۱۹ میلادی با رخداد انقلاب صنعتی و کاهش فضاهای طبیعی اقدامات متفکران و متخصصان شهری آغاز شد که از نمونه این تلاش‌ها می‌توان به تلاش اندروجکسن دانینگ[۱۳] و جنبش باغسازی اشاره کرد که بعدها توسط فردریک اولمستد[۱٤] ایدهٔ واردکردن فضاهای سبز به دل شهرها با نهضتی به نام پارکسازی گسترش یافت. در اوایل قرن ۲۰ام میلادی ایده‌هایی مانند باغشهر ابنزر هاوارد[۱٥] و همچنین شهر پهن دشت، ایدهٔ باغشهر شهر عمودی لوکوربوزیه[۱٦] مطرح شد. این امر در قرن ۲۱ میلادی با مفاهیم توسعهٔ پایدار، اکوشهر، شهر سبز، بایوفیلیک[۱۷] و

[13] Andrew Jackson Downing
[14] Frederick Law Olmsted
[15] Ebenezer Howard
[16] Le Corbusier
[17] Biophilic

نظایر آن توسعه یافت (Khatami & Mosavinejad, 2022) . با تأکید بر مسیر سبز در این پژوهش، می‌توان سه نسل برای مسیرهای سبز در نظر گرفت: ۱- نسل اول: محورهای دید، بلوارها، پارک‌های خطی و مسیرهای زیبا (محورهای دید و بلوارها در اروپا و پارک‌های خطی در آمریکا)، ۲- نسل دوم: مسیرهای سبز تفریحی جهت‌دار ۳- مسیرهای سبز چند منظوره (در شکل ٤ شبکهٔ مسیرهای سبز نشان داده‌شده‌است)(Jamshidi & Ghalenoee, 2010).

شکل ٤- عناصر ساختار سبز (Benedict & McMahon, 2012)

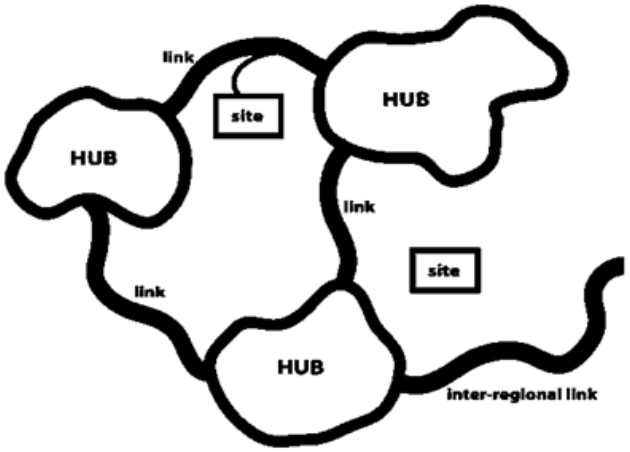

Fig 4. Green structure elements

جدول (۱) ویژگی‌های نسل‌های مختلف مسیر سبز را به اختصار توضیح می‌دهد. این سیر تغییر الگو از الگوی خطی به الگوی شبکه‌ای با عملکرد چند منظوره را نشان می‌دهد.

جدول ۱- سیر تاریخی مفهوم مسیر سبز(Jamshidi & Ghalenoee, 2010)

Table 1. The evolution historical course of the greenway concept

	الگو		طول	مسیر سبز تراکم ساخت پیرامونی	فضای مورد نیاز برای ساخت	تأمین دسترسی	عملکرد
نسل اول	الگوی خطی		طولانی	بالا	کم	زیاد	**محورهای دید**
نسل دوم	الگوی حلقوی		متوسط	متوسط	کم	متوسط	**محورهای فراغتی و گردشگری**
نسل سوم	الگوی شبکه‌ای		کوتاه	متوسط	متوسط	زیاد	**محورهای چند منظوره**

۳-۳- شهر اسفنجی و مسیرهای سبز شهری راهی به سوی ارتقاء کیفیت زیست شهری

بر اساس آنچه بررسی شد، ایدهٔ شهر اسفنجی به عنوان راه حلی برای شهرهای دارای کمبود آب و بهبود کیفیت زندگی در آنها به کار می‌رود. افزون بر این شهر اسفنجی به مفهومی اطلاق می‌شود که در آن طراحی شهری به گونه‌ای است که بتواند به طور مؤثری آب باران را جذب، ذخیره و مدیریت کند. این شهرها با استفاده از فضاهای سبز و روش‌های پایدار، توانایی بیشتری در مقابله با سیلاب‌ها و دیگر چالش‌های زیست‌محیطی اعم از خشکسالی و کمبود آب دارند. مسیرهای سبز خطی نیز به عنوان شبکه‌های سبز و فضاهای عمومی تعریف شدند که به عنوان گذرگاه عمل می‌کنند تا شهروندان بتوانند به راحتی بین مناطق مختلف شهر حرکت

کنند و به فضای سبز دسترسی داشته باشند. این مسیرها علاوه بر تأمین فضای مناسب برای پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و فعالیت‌های دیگر، می‌توانند به بهبود کیفیت هوا، کاهش گرمای شهری، حفظ تنوع زیستی، کنترل، هدایت و ذخیرهٔ آب کمک کنند. مسیرهای سبز خطی می‌توانند بخشی از سیستم مدیریت آب در شهر اسفنجی باشند. این مسیرها می‌توانند به جذب آب باران کمک کنند و در نتیجه به کاهش خطر سیلاب و تقویت اکوسیستم‌های محلی منجر شوند. همچنین، از طریق طراحی مناسب، مسیرهای سبز خطی می‌توانند از جریان آب و نفوذ آن به زمین‌های زیرین حمایت کنند، به این ترتیب به تقویت عملکرد شهر اسفنجی کمک می‌کنند. افزون بر این مسیرهای سبز و شهر اسفنجی هر دو، به طور موثر بر کیفیت زندگی شهری تأثیر گذارند و می‌توانند به چالش‌های محیطی و اجتماعی شهرها پاسخ دهند. طراحی شهری هوشمند و یکپارچه می‌تواند این دو رویکرد را در کنار هم به خدمت گیرد و بهبود محیط زیست و زندگی شهری را تضمین کند.

ارتباط بین این دو مفهوم را می‌توان با تأکید بر اثرات مسیر سبز بر شهرها در ٤ حوزهٔ زیر بیان نمود: ۱- ارتقاء کیفیت‌های زیست محیطی(ایجاد مناطق حساس زیست محیطی[18]، حفاظت از تنوع زیستی، ارتقا کیفیت منابع آبی، ارتقاء کیفیت هوا، ارتقاء صوت، کارایی انرژی). ۲- کارایی اقتصادی (ارتقاء اقتصاد محلی، ارزش افزودهٔ زمین، درآمدزایی محلی، کاهش هزینه‌های حمل و نقل عمومی، هزینه‌های درمانی، هزینه‌های چرخه حیات). ۳- پویایی اجتماعی (سرزندگی و پویایی زندگی جمعی، پیوستگی اجتماعی، آموزش).٤- سلامت و بهداشت (Jamshidi & Ghalenoee, 2010; Dehghanzad et al., 2018).

۳-۳-۱- اصول طراحی مسیرهای سبز در راستای هماهنگی با اصول طراحی شهر اسفنجی

با توجه به مبانی مطرح شده برای ساختار سبز و مسیر سبز، ۵ اصل برای طراحی که مبنای سیاست‌گذاری، ضوابط و برنامه‌های عملیاتی است به شرح ذیل پیشنهاد می‌شود(شکل ۵):

طراحی برای هماهنگی با طبیعت و محیط زیست (طراحی سبز): در راستای حفاظت و استفاده بهینه از منابع طبیعی (حفاظت از منابع آب(سطحی و جاری) و خاک و نظایر آن، طراحی در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر).

طراحی بر اساس حمل و نقل پاک (طراحی برای سهولت تردد پیاده و دوچرخه و حمل و نقل عمومی).

طراحی کارا (طراحی اقتصادی).

طراحی پویا (اصل تنوع: تنوع زیستی، کالبدی، فضایی، کاربری، حرکتی، جمعیتی؛ اصل نفوذپذیری: بصری و کالبدی؛ اصل پیوستگی: پیوستگی طبیعی، کالبدی-فضایی، حرکتی، جمعیتی؛ اصل امنیت)

اصل طراحی برای سلامت و بهداشت محیط (طراحی انسانی: اصل انسان‌محوری، اصل کاهش آلودگی‌های منابع آب، خاک و هوا، فاضلاب و نظایر آن) (Jamshidi & Ghalenoee, 2010).

۳-۴- تجلی الگوی مسیر سبز اسفنجی در شهرهای کویری

شهرهای کویری به خاطر شرایط اقلیمی، با مشکلات زیست محیطی مختلفی روبرو هستند:

۱- کمبود منابع آبی: در این مناطق بارش باران به مقدار بسیار کم و نامنظم است که باعث کمبود آب شرب و کشاورزی می‌شود.

۲- خشکسالی‌های مکرر: خشکسالی‌های طولانی‌مدت می‌تواند به کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و نابودی منابع آبی منجر شود.

۳- آسیب به محیط زیست: استخراج بیش از حد آب و تغییرات کاربری زمین می‌تواند به تخریب اکوسیستم‌های طبیعی و زیستگاه‌های محلی منجر شود.

٤- افزایش دما و تغییرات اقلیمی: گرم شدن زمین و تغییرات اقلیمی موجب افزایش دما و ایجاد تنش‌های آبی می‌شود.

[18] ESA: Environmentally Sensitive Areas

شهر اسفنجی با استفاده از ساختارهای سبز به عنوان یکی از مهمترین عناصر سازندهٔ خود می‌تواند به عنوان یک راه‌حل جامع و کارآمد برای مقابله با مشکلات آب در شهرهای کویری در نظر گرفته شود. برخی از روش‌های به کارگیری این مفهوم در شهرهای کویری بر اساس آموخته‌های شهر اسفنجی شامل موارد ذیل است:

جمع‌آوری آب باران: با طراحی سیستم‌های مناسب برای جمع‌آوری باران، می‌توان آب باران را در زمان‌های بارندگی ذخیره کرد. این آب می‌تواند به عنوان منبعی برای آبیاری فضای سبز و مصارف خانگی در ایام خشکی استفاده شود.

توسعه فضای سبز: ایجاد باغ‌های بارانی، پارک‌ها و فضاهای سبز می‌تواند به جذب آب باران کمک کرده و دما را کنترل کند. فضای سبز همچنین می‌تواند به بهبود کیفیت هوای شهر و کاهش آلودگی کمک کند.

استفاده از مواد نفوذپذیر: استفاده از مصالح و مواد با ویژگی‌های نفوذپذیر در ساخت‌وساز، به جذب و نگهداری آب کمک می‌کند. این کار می‌تواند بارش آب را به زمین منتقل کند تا منابع آبی زیرزمینی دوباره تغذیه شوند.

نظام مدیریتی هوشمند: با بهره‌گیری از فناوری و داده‌های بزرگ، می‌توان به پیش‌بینی بارش‌ها و مدیریت بهینه آب پرداخت. سیستم‌های هوشمند می‌توانند به شناسایی نقاط ضعف و تقویت زیرساخت‌های آبی کمک کنند.

آموزش و فرهنگ‌سازی: آموزش ساکنان شهرهای کویری در مورد روش‌های بهره‌برداری بهینه از آب و اهمیت حفظ منابع آبی می‌تواند به افزایش آگاهی و مشارکت آنها در حفاظت از آب کمک کند.

شکل ۵- کیفیت‌های مشترک شهر اسفنجی و مسیرهای سبز (Jamshidi, 2024)

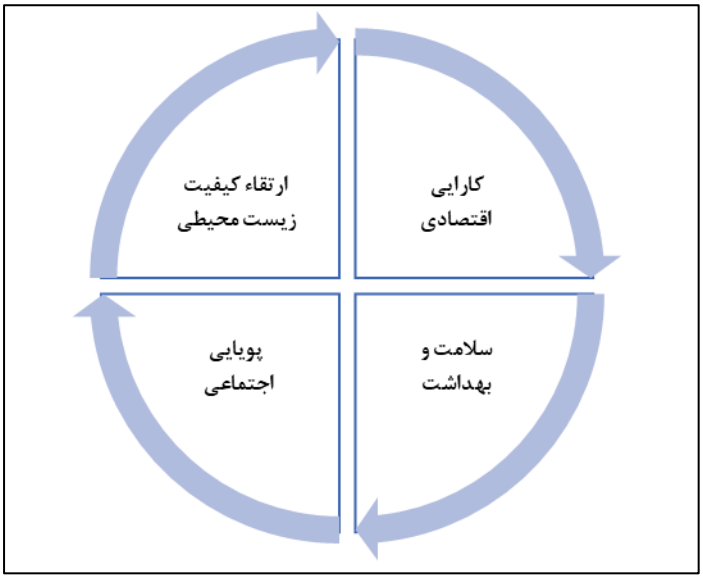

Fig 5. Common qualities of sponge city and greenways

۴- نتایج و بحث

۴-۱- معرفی مادی‌های شهر اصفهان

رودخانهٔ زاینده‌رود به عنوان یک شریان حیاتی در فلات مرکزی مطرح بوده‌است. طول این رودخانه را با پیچ و خم‌های آن از ۳٦۰ تا ٤۲۰ کیلومتر نوشته‌اند، اما از این فاصله به خط مستقیم حدود ۲۷۰ کیلومتر است(Honarfar, 1992). به طور کلی تعداد ۱٥٤ نهر یا مادی از زاینده رود جدا می‌شود که به طومار شیخ بهایی تعداد این نهرها ۷۸ عدد ذکر شده که ٤۷ نهر از سمت چپ و ۳۸ نهر از سمت راست منشعب می‌شوند. این تقسیم براساس ۳۳ سهم اصلی انجام می‌شود و هر سهم، خود تقسیمات فرعی دیگری هم داشته است. از این تعداد مادی‌ها اکنون ۱۰ مادی در بافت کنونی شهر اصفهان عبور می‌کنند که جهت حرکت آنها از جنوب غربی به شمال شرقی بوده است و طبق تقسیم‌بندی فرعی دیگر به نام لت تمام اراضی، باغ‌ها و خانه‌های شخصی مشروب می‌شده

است (Ahmadi, 2015; Shafaghi, 2001). در ایران باستان برای رساندن آب به روی زمین، جوی می‌کندند که پاره‌ای از آنها هنوز آب روان است مانند مادی‌های اصفهان که باید زمان مادها کنده باشند(Shafaghi, 2001). بنابراین اطلاق لفظ مادی بر نهرهایی که آب زاینده‌رود را به زمین‌های زراعی می‌رسانند، شاید اشاره‌ای به ایجاد آنها در زمان مادها باشد. مادی به لفظ فارس قدیم، ممر و مجرای آب‌ها را گویند که از رودخانه کوچکتر و از نهر بزرگتر باشد (Ahmadi, 2015). در لغت نامه دهخدا واژه مادی چنین معنی شده است: کانال اصلی آب، در تداول اصفهانیان جوی بزرگ و مجرای آب که از نهری برای زراعت عمومی قرا و قصبات جدا نمایند. در کتاب اصفهان تالیف هنرفر، کلمه‌ی مادی اصطلاحی محیطی و به معنی نهرآب در اصفهان است. تقسیم آب زاینده‌رود که از نمونه‌های برجسته میراث فرهنگی ما در مدیریت منابع آب است، به طور سنتی به نام شیخ بهایی معروف شده است.

سیرتکاملی مادی‌ها: بر اساس مطالعات انجام شده توسط(Jamshidi & Ghalenoee, 2010) چهار دورهٔ تاریخی برای مادی‌ها در شهر اصفهان قابل شناسایی است:

دورهٔ اول: مادی‌ها به عنوان مسیرهای آبی هستند که با عبور از زمین‌های کشاورزی آنها را به فراخور از آب بهره‌مند می‌ساختند. این دوره حداقل به دوران ساسانی باز می‌گردد و تا آغاز دوران صفویه ادامه می‌یابد.

دورهٔ دوم: این دوره از مادی‌ها به عنوان مسیرهای سبز به دوران صفویه باز می‌گردد. در این دوران به دنبال طراحی شهری جدید، باغ‌ها و محلات جدید به شهر اضافه شد و لزوم نظم‌دهی جدید برای هدایت آب رودخانه الزامی گردید. در دوران صفویه برای اولین بار عناصر و منابع آب طبیعی به عنوان عناصر شهری مطرح شدند. در این دوران حاشیه زاینده رود و بیشه‌های پیرامونی و مادی‌ها با ایجاد پوشش گیاهی محیط مطلوبی را برای گذران اوقات فراغت فراهم آوردند. در این دوران مادی‌ها دارای نقش زیرساختی (سیستم عبور و مرور، آبرسانی، هدایت آب های سطحی)، اجتماعی (ارتباط محلات و پیوستگی اجتماعی، ایجاد فضاهایی برای گذران اوقات و برگزاری مراسم و جشن‌ها)، کالبدی(ارتباطی، پیوستگی کالبدی)، اقتصادی (تقویت کشاورزی)، زیست محیطی (سیستم تهویه مطبوع، ایجاد پیوستگی میان عناصر طبیعی داخل و خارج شهر)، تفریحی و گردشگری بودند.

دورهٔ سوم: مادی‌ها به عنوان معابر سواره مورد استفاده قرار گرفتند. با ورود ماشین به شهرهای ایران و توسعه و تخریب زمین‌های کشاورزی، مادی‌ها محل عبور و پارک وسایل نقلیه شدند و این امر تخریب این عناصر را به دنبال داشت.

دورهٔ چهارم: احیا و بازآفرینی مادی‌ها به عنوان معابر با اولویت پیاده، در این دوران مورد توجه مدیران شهری قرار گرفت. در این دوران زیباسازی شهری و تبدیل برخی از این معابر به محورهای پیاده مد نظر بوده است (شکل ٦).

۴-۲- مادی‌ها به عنوان مسیرهای سبز اسفنجی سبز

مادی‌های شهر اصفهان به دلیل ساختار خطی و جهت حرکت جنوب غربی به شمال شرقی و شرق پتاسیل تشکیل شبکه را در شهر اصفهان فراهم می‌آورند. اگر چه این محورها در بسیاری از مناطق شهری به واسطهٔ حضور اتوبان‌ها و مسیرهای اصلی شهر از بین رفته‌اند ولی آزادسازی آنها در ایجاد یک شبکه پیوسته می‌تواند نقش عنصر ارتباط در شهرهای اسفنجی را که یکی از مهمترین عناصر و اشکال این الگو است را ایفا کند. عناصر سازندهٔ مادی‌ها (مسیر، لبه (جداره) و رابط) می‌تواند نقش مهمی در ایجاد و تقویت عناصر مورد نیاز شهر اسفنجی داشته باشد. این دو الگو در تطابق با هم نقش موثری بر ارتقاء کیفیت زیست شهری دارند. مسیرهای سبز اسفنجی به عنوان الگو در طراحی مادی‌ها با تمرکز بر سه رکن مسیرها، مراکز و پهنه‌ها الگویی نوین و بومی را برای شهر اصفهان و ارتقاء زیست بوم این شهر و زیست شهروندان تأمین می‌کنند. در این میان مورفولوژی مادی‌ها و نقش زیست محیطی آنها فرصت‌های مناسبی را برای تحقق اصول شهر اسفنجی در اصفهان به عنوان یک شهر کویری ایجاد کرده‌اند(شکل ۷).

۴-۳- راهکارهای طراحی مسیرهای سبز اسفنجی

بر اساس ویژگی‌ها و اصول طراحی مسیرهای سبز و اصول شهر اسفنجی می‌توان برای عناصر سازندهٔ مادی‌ها راهکارهای زیر را پیشنهاد داد:

۴-۳-۱- راهکارهای طراحی جداره‌ها و پوسته‌ها

- بام سبزو استفاده از پشت بام‌های گیاهی که آب باران را جذب کرده و گرما را کاهش می دهند.
- بام‌های انرژی‌زا و بام‌هایی که با پنل‌های خورشیدی ترکیب شده‌اند و می‌توانند به تأمین انرژی پاک کمک کنند.
- بام‌های باغی و ایجاد باغ‌های عمودی یا باغچه‌های روی بام که می‌توانند آب باران را جذب کنند و به عایق‌بندی ساختمان‌ها کمک کنند. این فضاها می‌توانند شامل گیاهان گل‌دار و سبزیجات باشند.
- جداره‌ها و دیوارهای سبز با استفاده از گیاهان بومی برای کاهش دما و بهبود کیفیت هوا. دیوارهای سبز در ساختمان‌ها و بام‌های سبز می‌توانند به جذب آب و ایجاد سایه کمک کنند.
- دیوارهای زیستی: عناصر منظرطراحی شده برای تمرکز یا حذف زباله و آلودگی از رواناب سطحی.
- استفاده از مصالح محلی و پایدار: استفاده از مصالح چون آجر، سنگ و ملات‌های خمیری یا گِل که در منطقه موجود هستند و با رنگ‌های طبیعی که به محیط هویت می‌دهند.
- استفاده از مصالح انرژی‌زا و استفاده از مصالحی که گرما را جذب و به آرامی آزاد می‌کنند مانند سنگ‌های طبیعی و آجرهای با نفوذپذیری بالا.
- استفاده از رنگ‌ها و پالت‌های رنگی متناسب با اقلیم برای مثال برای شهر اصفهان استفاده از رنگ‌های روشن که به انعکاس حرارت کمک می‌کند و دما را کاهش می‌دهد. انتخاب رنگ‌های خاص با هدف زیباسازی مانند رنگ‌های خاکی یا سبز.
- استفاده از عایق‌های حرارتی و مناسب با اقلیم و استفاده از مصالح عایق برای ساخت بناها به‌منظور کاهش مصرف انرژی برای مثال استفاده از عایق های طبیعی و بومی مانند کاه‌گل برای جلوگیری از اتلاف انرژی و بروزسازی روش‌های بومی و معماری بومی.

شکل ٦- شبکه مادی‌های اصفهان(ماخذ: نگارنده برگرفته از طرح درایگاه نظر، Esfahan Municipality (2020))

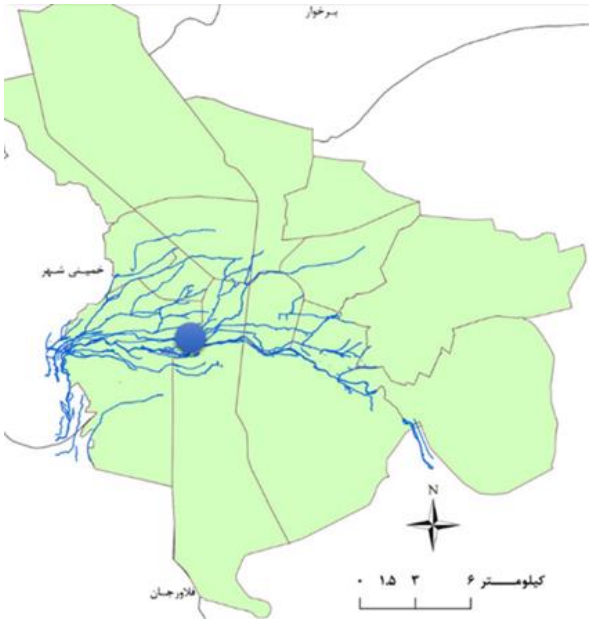

Fig 6. Maddeis networks of Isfahan

شکل ۷- پتانسیل مسیرهای سبز اسفنجی منطقه ۱ اصفهان(Jamshidi & Ghalenoee, 2010)

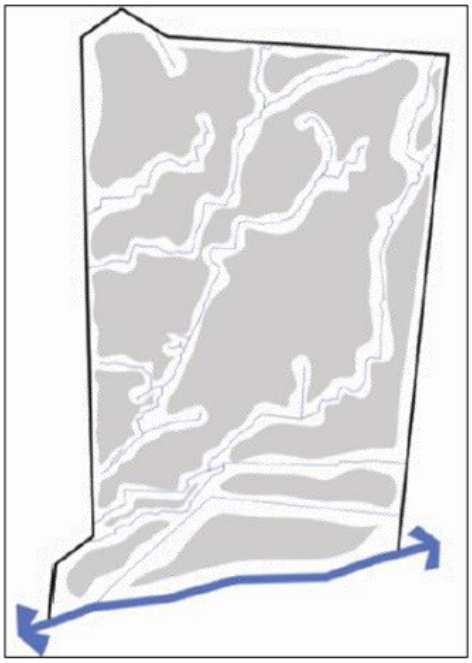

Fig 7. The potential of spongy greenways in the 1st region of Isfahan

۴-۳-۲- راهکارهای فرم و شکل‌گیری فضاها

- طراحی فرم‌های دوپوسته در جداره‌ها به منظور ایجاد لایه‌ای از هوا برای عایق‌بندی‌ها در جداره‌ها.
- طراحی فرم ساختمان‌ها و الگوهای ساختمانی و سازمان فضایی بر اساس نور طبیعی و استفاده از رون (جهت‌گیری مناسب ساختمان متناسب با اقلیم و توجه به زوایا مناسب و ابعاد مناسب بازشوها.
- استفاده از سازه‌های سبز و طراحی سازه‌های با تأکید بر سیستم‌های بیومتریکی و فناوری‌های سبز.

۴-۳-۳- راهکارهای مصالح و رنگ‌ها

- استفاده از فناوری‌های نوین در استفاده از مصالح بومی و بروزسازی روش‌های بومی.
- استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی مناسب برای مبلمان شهری: استفاده از مبلمان شهری از جنس چوب یا فلزات مقاوم در برابر رطوبت با طراحی ارگونومیک. همین‌طور نصب نیمکت‌ها و سایه‌بان‌ها در مسیرهای راه‌ها.

۴-۳-۴- راهکارهای مدیریت منابع طبیعی (آب، هوا، نور)

- بارش سنجی و مدیریت آب در ساختمان به منظور استفاده و بازیافت آب و استفاده از تجهیزات بازیافت آب.
- استفاده از سیستم‌های آبیاری هوشمند برای فضاهای سبز و فضاهای باز عمومی: استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و بازیابی آب باران برای آبیاری گیاهان در فضای سبز.
- تالاب‌های ساخته شده و استفاده از سیستم‌های مهندسی شده‌ای که آب طوفان را تصفیه می‌کنند و در عین حال زیستگاه هم فراهم می‌کنند.
- پارک‌های بازیافت آب و طراحی به گونه‌ای که باران را جمع‌آوری و به آب‌های زیرزمینی تزریق کنند. این پارک‌ها می‌توانند شامل حوضچه‌های ذخیره‌سازی و گیاهان بومی باشند.

- حوضچه‌های زیستی: حوضچه‌هایی که از گیاهان آبزی برای تصفیه آب و جذب آلاینده‌ها استفاده می‌کنند. این حوضچه‌ها می‌توانند به عنوان فضاهای تفریحی و آموزشی نیز عمل کنند.
- آب‌نماهای باران: طراحی آب‌نماهایی که آب باران را جمع‌آوری و از طریق زیبایی‌شناسی به منظر شهری اضافه می‌کنند.
- مسیل‌های سبز: کانال‌های طبیعی که قادر به جمع‌آوری و هدایت آب باران به سمت ذخیره‌گاه‌های جداگانه یا منابع آب زیرزمینی هستند.
- مخازن زیرزمینی آب: ساخت مخازن برای ذخیره آب باران و تأمین آب مورد نیاز در مواقع کم آبی.
- کانال‌های زیرزمینی: سیستم‌های جمع‌آوری آب برای هدایت آن به مخازن و حوضچه‌ها.
- استفاده از تهویه طبیعی و طراحی ساختمان‌ها با در نظر گرفتن جریان هوای طبیعی برای خنک کردن فضا مانند ایجاد پاسیوها و حیاط‌های داخلی که به جریان هوا کمک می‌کند.
- استفاده از پنل‌ها و چراغ‌های خیابانی با فناوری در جهت کاهش مصرف انرژی و کاهش مصرف سوخت‌های تجدیدناپذیر، استفاده از چراغ‌های کم‌مصرف و قابل تنظیم که نور و انرژی کمتری مصرف کنند.

۴-۳-۵- راهکارهای پوشش گیاهی

- انتخاب گیاهان بومی: استفاده از گیاهان مقاوم به کم‌آبی و بومی که با اقلیم منطقه سازگارند.
- گلدان‌های چرخان: گلدان‌هایی که به صورت مستقل قابلیت حرکت دارند و می‌توانند به جذب آب باران و ایجاد رنگ و زندگی در معابر و فضاهای عمومی کمک کنند.
- گلدان‌های آب‌گیر: گلدان‌هایی که با طراحی خاص برای جمع‌آوری آب باران و تأمین رطوبت گیاهان استفاده می‌شوند.
- الگوهای طراحی متناسب با ساختار شهر اسفنجی برای مثال طراحی خطی مسیرهای سبز و ایجاد شبکهٔ به هم پیوسته از مسیرها و فضاهای سبز در راستای افزایش نفوذپذیری پیوسته آب، گذرگاه‌های پیاده‌رو سبز و توسعه پیاده‌روها با پوشش گیاهی برای جذب آب باران و بهبود تهویه هوا. این گذرگاه‌ها می‌توانند به عنوان مسیرهای راحت برای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری عمل کنند.
- طراحی شبکه‌ای مسیرهای سبز و فضاهای سبز برای استفاده از حمل و نقل پاک برای مثال مسیرهای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری.

۴-۳-۶- راهکارهای عملکردی

- استفاده از فضاهای چندمنظوره و طراحی فضاهایی که بتوانند همزمان به عنوان پارک، باغ یا بازار مصرف شوند.
- ایجاد و طراحی محل‌های استراحت و نمایش به منظور ایجاد مکان‌هایی برای تجمع، کنسرت‌ها و نمایشگاه‌های موقت که می‌توانند به جذابیت و کاربری بیشتر فضاها کمک کنند.
- باغ‌های محلی و عمومی به منظور تبادل ایده‌ها و ایجاد باغ‌های جمعی که در آن ساکنان می‌توانند گیاهان خود را بکارند و در فعالیت‌های اجتماعی مشارکت کنند و در آنها فعالیت‌های اجتماعی و فرهنگی انجام دهند.
- باغ‌های آموزشی و پژوهشی به منظور ایجاد فضایی برای آموزش جامعه درباره کشاورزی پایدار، اکوسیستم‌ها و روش‌های مدیریت منابع طبیعی.
- برگزاری کارگاه‌ها و جلسات مشاوره برای جلب نظر و پیشنهادات شهروندان در طراحی مسیرهای سبز.
- ایجاد جوامع محلی و اینجیوها (NGO) و سازمان‌های دولتی و غیردولتی و مردمی به منظور افزایش مشارکت مردم در نگهداری و توسعه فضاهای سبز.

۴-۳-۷- راهکارهای مدیریتی و نگهداری

- برنامه‌ریزی مناسب برای نگهداری و طراحی برنامه‌هایی برای نگهداری مستمر از فضاهای سبز و تجهیزات، با توجه به فصل‌ها و وضعیت آب و هوا.
- نظارت دائمی و بررسی سیستم.

۵- نتیجه‌گیری

همان گونه که بررسی شد، شهرهای اسفنجی به عنوان یک راهکار نوین برای مدیریت منابع آبی و مقابله با چالش‌های شهری به ویژه مشکلات زیست محیطی، اجتماعی، اقتصادی و سلامت و بهداشت مطرح هستند. با توجه به افزایش تهدیدات ناشی از تغییرات اقلیمی و کمبود منابع آب، توسعه این ایدهٔ شهرسازی ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به عناصر سازندهٔ شهر اسفنجی و نقش زیرساخت‌های سبز در ایجاد مسیرهای سبز و عنصر ارتباط شهر اسفنجی، می‌توان ایدهٔ مسیر سبز اسفنجی را به عنوان الگویی کارامد برای عناصر خطی طبیعی در شهرها پیشنهاد کرد. با ایجاد زیرساخت‌های لازم به منظور بهره‌برداری مؤثر از منابع آب با ایدهٔ مسیرسبز اسفنجی می‌توان به ساخت شهری دستیابی پیدا کرد که نه تنها در برابر چالش‌های کلان مقاوم باشد بلکه باعث بهبود کیفیت زندگی شهروندان، کارایی اقتصادی، پویایی، سرزندگی و سلامت شهری انجامد. برای اجرایی شدن ایده‌های شهرهای اسفنجی و مسیرهای سبز شهری لازم است سیاست‌هایی در قالب راهکارهای طراحی در اختیار برنامه‌ریزان، شهرسازان و معماران قرار گیرد تا بر اساس آن به ساخت شهری پایدار در این زمینه دست یافت. این راهکارهای طراحی با تمرکز بر ۷ موضوع کلیدی که ابزار کار طراحان شهری و معماران است می‌تواند راهنمایی برای تحقق این الگو باشد. این راهکارها بر طراحی پوسته‌ها، فرم و شکل‌گیری فضاها، مصالح و رنگ، پوشش گیاهی، مدیریت منابع طبیعی، عملکرد، نگهداری و مدیریت پس از اجرا متمرکز هستند. افزون بر این راهکارها تحقق این ایده مستلزم حمایت از سوی دولت‌ها و نهادهای محلی است. سیاست‌های دولتی و محلی باید شامل جلب سرمایه‌گذاری‌های عمومی و خصوصی، تسهیل روندهای قانونی و ساختاری و آموزش عمومی درباره مزایای استفاده از روش‌های مدیریت آب باشند.

در نهایت، توجه به تجارب موفق دیگر شهرها در زمینه پیاده‌سازی اصول شهر اسفنجی و زیرساخت‌های سبز (به ویژه مسیرهای سبز) می‌تواند به عنوان الگو و نمونه‌ای برای ساکنان و مسئولان شهرهای کویری در جهت مدیریت بهینه آب و مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی مطرح شود. با توجه به تغییرات اقلیمی و بحران‌های آبی جهانی، این امر ضرورت بیشتری پیدا می‌کند و می‌تواند به عنوان یک تحول اساسی در راستای ساخت شهری پایدار و مقاوم در برابر بحران‌ها محسوب شود.

٦- تضاد منافع نویسندگان

نویسنده این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارد.

۷- منابع

Ahiablame, L., & Shakya, R. (2016). Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. *Journal of Environmental Management*. 171, 15, 81-91. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.036

Ahmadi, F. (2015). Maddies of Isfahan. Isfahan: Publications of Isfahan Municipality Welfare and Recreation Organization. (In Persian)

Alves, A., Gersonius, B., Sanchez, A., Vojinovic, Z., & Kapelan, Z. (2018). Multi-criteria approach for selection of green and grey infrastructure to reduce flood risk and increase CO-benefits. *Water Resources Management*, 32(7), 2505-2522. https://doi.org/10.1007/s11269-018-1943-3

American Rivers. (n.d.). What is green infrastructure? https://www.americanrivers.org/what-is-green-nfrastructure/#:~:text=Green%20infrastructure%20is%20an%20approach,costly%20new%20water%20treatment%20plant

Esfahan Municipality: Associate President of Urban Development and Architecture. (2020). Urban design in Daraygah e Nazar with tourism approach. Report. Design by Gozine Architectural and urban planning consultant office. (In Persian)

Benedict, MA., & McMahon, ET. (2012). Green infrastructure: linking landscapes and communities.Washengton: Island press.

Bohns, J. (2020). Urban Greenways: A guide to planning and design. Routledge. Island Press; First Edition (October 1, 1993)

Chen, J. (2024). Research on performance evaluation of sponge city construction based on PSIR Model. *Frontiers in Science and Engineering*, 4 (4) . https://doi.org/10.54691/b555ky45

Dehghanzad, SH., Ghalenoee, M., & Jamshidi, M. (2018). In search of macro measures of urban green structure; Case study: Shahreza city. Master's Thesis, urban design field. Faculty of Architecture and Urban Planning. Isfahan Art University. (In Persian)

Deng, Y, Wen, J., & Zhang, CH. (2022). Sponge city and water environment planning and construction in Jibu district in Changde city. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su15010444

Dietz, ME., Clausen, JC., Rosa & David, J. (2015). Calibration and verification of SWMM for low impact development. *The Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. 51, 746–757. https://doi.org/10.1111/jawr.12272

EEA: European Environment Agency. (2011). Green infrastructure and territorial cohesion. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems. EEA Technical report. No 18/2011. https://www.eea.europa.eu/publications/green-infrastructure-and-territorial-cohesion

EPA: Environmental Protection Agency. (2015). Green Infrastructure. https://www.epa.gov/green-infrastructure

Gan, R., & Sun.R. (2023). Construction of sponge city in luoyang city. *Engineering Advances*, 3(4), 302-305. https://dx.doi.org/10.26855/ea.2023.08.005

Greening Solution. (2023). The construction of sponge city is in progress. Retrieved from https://www.greening-solution.com/the-construction-of-sponge-city-is-in-progress

Hinman, C. (2005). Low impact development technical guidance manual for Puget sound. Puget Sound Action Team, *Olympia*, WA, USA.

Honarfar, L. (1992). Isfahan's treasure of historical works. Tehran. Saghafi publish. (In Persian)

INCAS. (2019). Sponge cities: New perspectives on the progress of urban de-growth in Japan. INCAS . Retrieved October 13, 2024. https://doi.org/10.58079/q4ld

Jamshidi, M., & Ghalenoee, M. (2010). Urban design of the forgotten greenways: a way to create a more sustainable urban environment (case example: Madi Niasserm). Master's thesis, urban design field. Faculty of Architecture and Urban Planning. Isfahan Art University. (In Persian)

Jamshidi, M. (2024). The approach of sponge cities to realize the sustainability of water resources in desert cities. The first national conference on engineering and management strategies in water systems. Isfahan: Isfahan Islamic Azad University (Khorasgan). (In Persian)

Kabarfard, M., FazlOli, R., Zarghami, M., & Akbarpour, A. (2017). Evaluating the most efficient method of low-impact development and determining the best quantitative urban flood management solution using real-time events. *Iran Irrigation and Drainage Journal*, 12(1), 40-52. (In Persian)

Kazemi, F., Golzarian, MR., & Myers, B. (2018). Potential of combined water sensitive urban design systems for salinity treatment in urban environments. *Journal of Environment Manage*ment 1(209), 169–175. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.046

Khatami, SM., & Al-Sadat Mousavinejad, F. (2022). A sustainable link between the city and nature through the design of the network of public spaces (case example: Shahr Noor). *Journal of Urban Structure and Function Studies*, 9(31), 74-100. https://doi.org/10.22080/usfs.2022.22409.2193

Kryvoruchko, N, & Tymashkov, M. (2024). The "sponge city" program as a system of adaptation methods to climate changes in reforming and forming the architectural environment. *Current Problems of Architecture and Urban Planning.* https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.69.252-269

Lafortezza, R., Davies, C., Sanesi, G., & Konijnendijk, C. (2013). Green infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 6(3), 102. https://doi.org/10.3832/ifor0723-006

Li, X., Li, J., Fang, X., Gong, Y., & Wang, W. (2016). Case studies of the sponge city program in China. In World Environmental and Water Resources Congress 2016. 295-308. https://doi.org/10.1061/9780784479858.031

Ming, L., Zhang, Y., & Zhou, J. (2019). Green infrastructure as a solution for urban flood management. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(12), 2711-2725. https://doi.org/10.1002/wat2.1560

Nguyen, T., Ngo, HH., Guo, W., & Wang, XC. (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

O'Brien, CD. (2015). Sustainable drainage system (SuDS) ponds in Inverness, UK and the favourable conservation status of amphibians. *Urban Ecosystem*, 18, 321–331. https://doi.org/10.1007/s11252-014-0397-5

O'Donnell, E., Thorne, CR., Yeakley, A., & Shun Chan, FK. (2020). Sustainable flood risk and stormwater management in blue-green cities; an interdisciplinary case study in Portland, Oregon. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 56(5), 2235. https://doi.org/10.1111/1752-1688.12854

Onuma, A., & Tsuge, T. (2018). Comparing green infrastructure as ecosystem-based disaster risk reduction with gray infrastructure in terms of costs and benefits under uncertainty: A theoretical approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 32, 22-28. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.01.025

Peiyao, W. (2024). Application of sponge city concept in urban waterfront landscape design. *Academic Journal of Architecture and Geotechnical Engineering*, 6(3). https://doi.org/10.25236/AJAGE.2024.060301

Rostami, I., Ithari, M., Bahrami, J., & Jafari Nadushan, E. (2024). Investigating the use of the sponge city concept for the city of Sanandaj for flood prevention, storage and optimal allocation of water. *Scientific Research Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran*. https://doi.org/10.22125/IWE.2024.459447.1810. (In Persian)

Sallustio, L., Perone, A., Vizzarri, M., & et al. (2019). The green side of the grey: Assessing greenspaces in built-up areas of Italy. *Urban Forestry & Urban Greening*, 37, 147-153. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.018

Shafaghi, S. (2001). Geography of Isfahan. Isfahan: Isfahan University Press. (In Persian)

Shu., Xi., Sun. Lu., & Guo, CH. (2023). Research on sewage purification technology in sponge cities. *Frontiers in Sustainable Development*, 3(4). https://doi.org/10.54691/fsd.v3i4.4779

Sun, Y., Deng, L., Pan, Sh., & et al. (2020). Integration of green and gray infrastructures for sponge city. *Water and Energy Nexus*, 3, 29-40. https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.03.003

SWM. (n.d.). Vertical sponge city above Hamburg. Retrieved from: https://www.swm.aco/case-studies/reference/vertical-sponge-city-above-hamburg

UNEP: United Nations Environment Programmer. (2014). Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects. [PDF]. https://www.unep.org/resources/publication/green-infrastructure-guide-water-management.

Urbanist, T. (2023). Urbanism 101: What is a sponge city? The Urbanist. https://www.theurbanist.org/2023/02/08/urbanism-101-what-is-a-sponge-city/

Wang, N., Li, H., Zhang, J., & et al. (2022). Research on sustainable evaluation model of sponge city based on emergy analysis. *Water*, 15(1). https://doi.org/10.3390/w15010032

Wei, L., & Sun, X. (2022). Study on sponge city construction scheme based on the AHP: Taking Tianjin as an Example. *ICCREM*. https://doi.org/10.1061/9780784484562.084

Woznicki, SA., Hondula, KL., & Jarnagin, ST. (2018). Effectiveness of landscape-based green infrastructure for stormwater management in suburban catchments. *Hydrological Processes*, 32(15), 2346-2361. https://doi.org/10.1002/hyp.13144

Zhang, C., He, M., & Zhang, Y. (2019). Urban sustainable development based on the framework of sponge city: 71 case studies in China. *Sustainability*, 11(6), 1544. https://doi.org/10.3390/su11061544

Zhu, J. (2023). Research on the problems and strategies of sponge city construction in China. *Applied and Computational Engineering*, 24(1), 83-90 https://doi.org/10.54254/2755-2721/24/20230681