Watershed Engineering and Management
DOI: 10.22092/ijwmse.2024.366704.2076
Volume 17, Issue 1, 2025, Pages 82-102

# Strategic analysis of ancient Chinese drainage system pattern with a resilience approach against urban flooding

**Mahjabin Radaei [1] and Esmaeil Salehi[2*]**

[1] Postdoctoral Researcher, Environmental Planning Department, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
[2] Professor, Environmental Planning Department, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 30 June 2024 Accepted: 20 October 2024

**Extended abstract**

**Introduction**

In the transition from an introverted traditional society to an extroverted modern one, many places cannot withstand the tensions of modernity and the conflicts of dominant culture. The effort to create reliable, safe, economical, and resilient infrastructure against climatic hazards is an undeniable principle in the present age. Ancient hydraulic structures, as a water heritage, contain successful structural, functional, and managerial solutions for sustainability and resilience against harsh ecological conditions. Therefore, deriving ancient perspectives regarding the human-nature relationship and nature-based solutions, to develop practical patterns for addressing natural and human crises, as well as applying them in the planning processes of urban landscapes and watersheds, can enhance the resilience of contemporary cities. Considering that the ancestors of each region developed management strategies in response to social, ecological challenges, and human needs, taking into account cultural, economic, and geographical characteristics, and that these strategies, along with their functions, experiences, values, and beliefs, have been tested over thousands of years, they have laid the foundations for the formation of ecological wisdom. In this study, the main research question is posed as follows: How will the development of principles and rules governing the structure and function of water heritage affect the realization of resilient cities against flooding? Therefore, by selecting and examining a sample of ancient water structures in ancient China, the ancient thoughts regarding the relationship between humans and nature were inferred, and a practical pattern for achieving resilient cities against flooding was outlined.

**Materials and methods**

This study is a descriptive-analytical investigation aimed at analyzing the drainage system pattern of Tuancheng in ancient China to achieve resilience against urban flooding. Using an inductive-comparative method, the structural-functional principles and rules governing the Tuancheng drainage system, as an ancient urban flood management experience, were compared with modern experiences at multiple scales. Based on this comparison, a practical pattern for achieving resilience against flooding and water resource management was developed. The steps of the study can be described as follows:Examining the drainage system of ancient China, a symbol of ecological wisdom in ancient heritage, Clarifying resilience criteria in water structures and drainage, Inferring the principles and rules governing the drainage system of ancient China, Developing a practical pattern for resilience against floods and runoff in contemporary cities.

**Results and discussion**

Ancient hydraulic structures engineered by past cultures are based on the realization of fundamental hydrological functions and provide valuable insights into preserving water resources, managing runoff, maintaining ecological integrity, managing watersheds, protecting soil and biodiversity, etc. Despite the vast differences in complexity, technological development, and resource demands between ancient indigenous communities and the modern world, these insights can inspire contemporary societies in land management. The design principles governing these ancient structures effectively preserve water and natural systems, enhance ecological processes and functions, and increase ecosystem services. Notably, they offer efficient utilization of rainwater resources to mitigate the challenge of water scarcity in the present age. Furthermore, by reducing the occurrence of natural disasters, flooding, and economic losses,

* Corresponding author: tehranssaleh@ut.ac.ir

DOI: 10.22092/ijwmse.2024.366704.2076

these structures offer a reliable method for managing water resources and saving financial costs for local communities. They also create investment opportunities in upgrading infrastructure, engineering products, and new technologies. The combination of green and gray infrastructure, clustered design, and multifunctional performance significantly improves efficiency, performance, stress resistance, and reduces damages and costs. Common technologies in the formation of sponge cities include the use of green roofs, open and green spaces, green parking lots, artificial wetlands for collecting rainwater and runoff, permeable ponds, facilities to maintain biological processes, permeable pavements, reducing rigid and impermeable surfaces, integrated ecological management, protecting aquatic ecosystems, and utilizing rainwater resources. These approaches facilitate the harmonious development of urban and natural environments, the development of green-blue infrastructure, and the enhancement of resilience against water crises.

**Conclusions**

The results of the study indicate that the manifestation of the principles and rules of ecological wisdom through various policies and strategies, such as conservation plans, infiltration practices, runoff storage, runoff transfer, runoff filtration, and landscaping at multiple structural-functional scales, can provide a fundamental pattern for achieving sponge cities that are resilient to flooding. This concept reflects an environmental civilization capable of reducing the impacts of urban development on natural ecosystems, integrating green-blue and gray infrastructures, managing aquifers, and addressing various social, economic, and ecological dimensions. It aims to manage water resources and resolve the water crisis in many countries, including Iran.

**Keywords**: Ancient hydraulic structures, Drainage structures, Climate resilience, Sponge city, Water resource management

Cite this article: Radaei, M., Salehi, E., 2025. Strategic analysis of ancient Chinese drainage system pattern with a resilience approach against urban flooding. Water. Eng. Manag. 17(1), 82-102.

© 2025, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۷، شماره ۱، ۱۴۰۴، صفحات ۸۲-۱۰۲

Watershed Engineering and Management
Volume 17, Issue 1, 2025, Pages 82-102
DOI:10.22092/ijwmse.2024.366704.2076

# تحلیل راهبردی الگوی سیستم زهکشی چین باستان با رویکرد تاب‌آوری در برابر سیلاب شهری

**مهجبین ردائی[۱] و اسماعیل صالحی[۲]**

[۱] پژوهشگر پسادکتری، گروه برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[۲] استاد، گروه برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۹

## چکیده مبسوط

### مقدمه

در گذار از جامعه سنتی درون‌گرا به جامعه مدرن برون‌گرا، بیشتر مکان‌ها نمی‌توانند در برابر تنش‌های مدرنیته و درگیری‌های فرهنگ غالب پایدار و تاب‌آور باشند. تلاش برای ایجاد زیرساخت‌های قابل اعتماد، ایمن، اقتصادی و تاب‌آور در برابر مخاطرات اقلیمی، اصلی انکارناپذیر در عصر حاضر محسوب می‌شود. سازه‌های آبی کهن، میراثی آبی و حاوی راه‌حل‌های موفقیت‌آمیز ساختاری، عملکردی و مدیریتی برای پایداری و تاب‌آوری در برابر شرایط سخت اکولوژیک هستند. ازاین‌رو، استنتاج تفکر باستان ارتباط انسان با طبیعت و راه حل‌های مبتنی بر طبیعت، به منظور توسعه الگوهای کاربردی در مواجهه با بحران‌های طبیعی و انسانی، همچنین کاربست آن در فرایندهای برنامه‌ریزی و شهری سیمای سرزمین و حوزه‌های آبخیز می‌تواند تاب‌آوری شهرهای معاصر را بهبود بخشد. نظر به این‌که پیشینیان هر منطقه راهکارهای مدیریتی را در پاسخ به چالش‌های اجتماعی، اکولوژیک و نیازهای انسانی با توجه به ویژگی‌های فرهنگی، اقتصادی، جغرافیایی توسعه داده‌اند و به‌همراه عملکردها، تجربیات، ارزش‌ها و اعتقادات طی هزاران سال به منصه آزمون و خطا گذاشته‌اند، پایه‌های شکل‌گیری عقلانیت اکولوژیک را بنا نهاده‌اند. در پژوهش حاضر، سوال اصلی پژوهش بدین صورت قابل طرح است که توسعه اصول و قواعد حاکم بر ساختار و عملکرد میراث آبی چگونه بر تحقق شهرهای تاب‌آور در برابر سیلاب موثر خواهد بود. ازاین‌رو، ضمن انتخاب و بررسی نمونه‌ای از سازه آبی کهن در چین باستان، به استنتاج تفکرات باستانی ارتباط انسان با طبیعت پرداخته شد و الگوی کاربردی تحقق شهرهای تاب‌آور در برابر سیلاب ترسیم شد تا ضمن ترکیب دانش سنتی با دانش علمی و کاربست آن بتوان به تحلیل راهبردی تاب‌آوری شهری در برابر سیلاب پرداخت.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش، یک بررسی توصیفی-تحلیلی با هدف تحلیل الگوی سیستم زهکشی توانچنگ در چین باستان به‌منظور تحقق تاب‌آوری در برابر سیلاب شهری است. مبتنی بر روش استنتاجی-تطبیقی، اصول و قواعد ساختاری-عملکردی حاکم بر سیستم زهکشی توانچنگ به‌عنوان تجربه کهن مدیریت سیلاب شهری با تجربیات مدرن در مقیاس‌های چندگانه تطبیق داده شد و الگوی کاربردی تحقق تاب‌آوری در برابر سیلاب و مدیریت منابع آب تدوین شد. ازاین‌رو، مراحل انجام پژوهش شامل بررسی سیستم زهکشی چین باستان، سمبل عقلانیت اکولوژیک در میراث کهن،- تبیین معیارهای تاب‌آوری در سازه‌های آبی و زهکشی، استنتاج اصول و قواعد حاکم بر سیستم زهکشی چین باستان، تدوین الگوی کاربردی تاب‌آوری در برابر سیلاب و رواناب در شهرهای معاصر است.

* مسئول مکاتبات: tehranssaleh@ut.ac.ir

## نتایج و بحث

سازه‌های آبی کهن که توسط فرهنگ‌های گذشته مهندسی شده‌اند، بر تحقق عملکردهای اساسی هیدرولوژیک استوارند و با حفظ منابع آب، مدیریت رواناب، حفظ یکپارچگی اکولوژیک، مدیریت آبخیز، محافظت از خاک و تنوع زیستی و غیره، بینش‌های ارزشمندی را ارائه می‌دهند که علی‌رغم تفاوت‌های گسترده در پیچیدگی، توسعه فناوری، تقاضای منابع بین جوامع بومی باستان و دنیای مدرن، می‌تواند الهام‌بخش جوامع معاصر در مدیریت سیمای سرزمین باشد. اصول طراحی حاکم بر این سازه‌های کهن بر حفظ سیستم‌های آبی و طبیعی، بهبود فرایندها و عملکردهای اکولوژیک و افزایش خدمات اکوسیستمی مؤثر است. برای بهره‌برداری کارآمد از منابع آب بارشی به‌منظور کاهش چالش کمبود آب در عصر حاضر شایان توجه است. علاوه‌بر این با کاهش وقوع بلایای طبیعی، بروز سیل و خسارات اقتصادی، روشی مطمئن برای مدیریت منابع آبی و صرفه‌جویی در هزینه‌های مالی جوامع محلی است. همچنین، می‌تواند فرصت‌های سرمایه‌گذاری در ارتقاء زیرساخت‌ها، محصولات مهندسی و تکنولوژی‌های جدید ایجاد کند. ترکیب زیرساخت‌های سبز و خاکستری، طراحی خوشه‌ای و عملکرد چند ظرفیتی به‌طور قابل توجهی منجر به افزایش کارایی، ارتقاء عملکرد، افزایش ظرفیت مقابله با تنش و کاهش خسارات و هزینه‌ها می‌شود. برخی از فناوری‌های رایج در شکل‌گیری شهرهای اسفنجی با استفاده از سقف‌های سبز، فضاهای باز و سبز، پارکینگ سبز، تالاب‌های مصنوع برای جمع‌آوری باران و رواناب، ایجاد حوضچه‌های با قابلیت نفوذپذیری آب، تأسیسات حفظ فرایندهای بیولوژیک، ایجاد سنگ فرش‌های با قابلیت نفوذپذیری، کاهش سطوح صلب و نفوذناپذیر، مدیریت یکپارچه اکولوژیک، حفاظت از اکوسیستم آبی و بهره‌برداری از منابع بارشی و غیره، امکان توسعه هماهنگ محیط شهری و طبیعی، توسعه زیرساخت‌های سبز-آبی و ارتقاء تاب‌آوری در برابر بحران‌های آبی را فراهم می‌آورد.

## نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاکی از آن است که تجلی اصول و قواعد عقلانیت اکولوژیک در قالب سیاست‌ها و راهبردهای مختلف نظیر طرح‌های حفاظتی، افزایش نفوذپذیری، ذخیره‌سازی رواناب، انتقال رواناب، تصفیه آب و منظرسازی در مقیاس‌های ساختاری-عملکردی متعدد می‌تواند الگویی بنیادین را در تحقق شهرهای اسفنجی و تاب‌آور در برابر سیلاب ارائه نماید. ایده‌ای تجلی یافته از تمدن محیط‌زیستی با قابلیت کاهش اثرات توسعه شهری بر اکوسیستم‌های طبیعی، ترکیب زیرساخت‌های سبز-آبی و خاکستری، مدیریت آبخوان و غیره، در ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیک که سعی در مدیریت منابع آب و حل بحران آب در بسیاری از کشورهای دنیا نظیر ایران را دارد.

**واژه‌های کلیدی:** تاب‌آوری اقلیمی، سازه آبی، سازه زهکشی، شهر اسفنجی، مدیریت منابع آب

## مقدمه

در گذار از جامعه سنتی درون‌گرا به جامعه مدرن برون‌گرا، بیشتر مکان‌ها نمی‌توانند در برابر تنش‌های مدرنیته و درگیری‌های فرهنگ غالب پایدار و تاب‌آور باشند. تقریباً نیمی از جمعیت جهان در حال حاضر در مناطقی با کمبود آب زندگی می‌کنند و بلایای طبیعی در سال ۲۰۱۷ بر ۹۶ میلیون نفر تأثیر گذاشته است (Burek et al., 2016).

تغییرات شرایط اقلیمی و الگوهای رشد این تهدیدها را تشدید خواهد کرد. تا سال ۲۰۵۰، نزدیک به ۲۰ درصد از جمعیت جهان در معرض خطر سیل خواهند بود و تا ۵/۷ میلیارد نفر در مناطق کم آب زندگی خواهند کرد (WWAP, 2018). بسیاری از شهرها در سراسر جهان در معرض مخاطرات فزاینده اقلیمی نظیر احتمال رو به افزایش وقوع سیل، خشکسالی و کمبود منابع آب، افزایش درجه حرارت، بالا آمدن سطح آب دریاها و طوفان‌های شدید قرار دارند (World Bank., 2009).

ازاین‌رو، کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، در تلاش برای ایجاد زیرساخت‌های قابل اعتمادتر، ایمن‌تر و اقتصادی‌تر هستند تا تاب‌آوری در برابر خطرات و بلایای طبیعی نظیر خشکسالی، سیل، امواج حرارتی و غیره را برای ساکنان ارتقاء بخشند (Browder et al., 2019).

در طی دهه‌های گذشته، جنبش‌های رو به رشدی در حال ترویج راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت و ایجاد فرصت‌هایی برای افزایش استفاده از زیرساخت‌های تاب‌آور است. برنامه شهرهای اسفنجی در سال ۲۰۱۳ به‌منظور رسیدگی و غلبه بر موضوعات ذکر شده (Li et al., 2017) با ارائه مزایای چندگانه برای جوامع شهری نظیر کاهش رواناب، افزایش کیفیت آب، ذخیره بهتر آب و افزایش سطوح ذخایر آب زیرزمینی و حفظ بیلان طبیعی آب مطرح شد (Wang et al., 2018) استراتژی‌های توسعه کم اثر[1] (Chui et al., 2016؛ Fletcher et al., 2014؛ Mao et al., 2017)، توسعه مدیریت منابع آب شهری، ایجاد شهر حساس به آب[2]، طراحی شهری حساس به آب[3] و سیستم‌های زهکشی پایدار[4] (Sharma, 2010) که در قرن ۲۱ در پی بحران تغییرات شرایط اقلیمی پا به عرصه ظهور گذاشته است و بسیاری از آنها بر این مهم تأکید دارند که پیشینیان و بومیان مناطق مختلف با الهام از طبیعت، زیرساخت‌های مبتکرانه‌ای را خلق کرده‌اند که خیر واقعی و ماندگاری را برای خود، سیمای سرزمین و ارتقاء پایداری و تاب‌آوری (Xiang, 2016؛ Wang et al., 2016؛ Young et al., 2016؛ Wagner et al., 2016؛ Patten, 2016؛ Fu et al., 2016؛ Zhang et al., 2016؛ Liao et al., 2016؛ Achal et al., 2016؛ Yan., 2017؛ Zheng et al., 2018؛ Radaei et al., 2021) تأمین کرده‌اند.

شیوه‌های دانش اکولوژیک و بومی در راستای توسعه پایدار در سه دهه اخیر در پی کنوانسیون افراد بومی در سال ۱۹۸۹، اعلامیه سازمان ملل متحد در مورد حقوق بومیان ۲۰۰۷ و توافقنامه پاریس در سال ۲۰۱۵ در مورد تغییرات شرایط اقلیمی مورد توجه قرار گرفته است (Thakur et al., 2020). شیوه‌های دیرینه‌ای که توسط افراد بومی در یک منطقه جغرافیایی خاص به‌منظور سازگاری با شرایط محیطی به مرور زمان توسعه یافته است و قابلیت انتقال از نسلی به نسل دیگر را دارد (Barnhardt and Kawagley, 2005). زیرساخت‌های شکل‌یافته مبتنی بر دانش اکولوژیک و ارزش‌های نهفته در ساختار، عملکرد و مدیریت آنها از بنیادی‌ترین عوامل در تبیین اندیشه، عمل و همچنین شکل‌گیری حیات اجتماعی است. دانش و ارزش‌هایی که هر قوم و ملتی در طول تاریخ زندگی خویش مجموعه‌ای از آنها را ایجاد، کسب و یا تجربه کرده است و دغدغه انتقال آن به نسل‌های آتی را دارد.

نظر به این‌که پیشینیان هر منطقه راهکارهای مدیریتی را در پاسخ به چالش‌های اجتماعی، اکولوژیک و نیازهای انسانی با توجه به ویژگی‌های فرهنگی، اقتصادی، جغرافیایی توسعه داده‌اند و به همراه عملکردها، تجربیات، ارزش‌ها و اعتقادات طی هزاران سال به‌منصه آزمون و خطا گذاشته‌اند، پایه‌های شکل‌گیری عقلانیت اکولوژیک را بنا نهاده‌اند. در پژوهش حاضر سوال اصلی پژوهش بدین صورت قابل طرح است که توسعه اصول و قواعد حاکم بر ساختار و عملکرد میراث آبی چگونه بر تحقق شهرهای تاب‌آور در برابر سیلاب موثر خواهد بود؟

ازاین‌رو، ضمن انتخاب و بررسی نمونه‌ای از سازه آبی کهن در چین باستان، به استنتاج تفکرات باستانی ارتباط انسان با طبیعت پرداخته و الگوی کاربردی تحقق شهرهای تاب‌آور در برابر سیلاب ترسیم می‌شود تا ضمن ترکیب دانش سنتی با دانش علمی و کاربست آن بتوان به تحلیل راهبردی تاب‌آوری شهری در برابر سیلاب پرداخت.

از دهه ۱۹۷۰ میلادی راهکارها متعددی در زمینه مدیریت منابع آب ازجمله رشد هوشمند شهری و شهرهای سبز پیشنهاد شده است (Liu and Jensen, 2018). برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران در زمینه برنامه‌ریزی منابع آب از مفاهیم و تئوری‌های متعددی استفاده کرده‌اند. ازجمله این برنامه‌ها اقدامات

[1] Low Impact Development (LID)
[2] Water Sensitive City (WSC)
[3] Water Sensitive Urban Design (WSUD)
[4] Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)

مدیریتی بهینه[1] بود که در دهه ۱۹۷۰ مطرح شد. در همان زمان سیستم‌های زهکشی پایدار آب به‌منظور مدیریت سیلاب و پیشگیری از آلودگی آب معرفی شد (Fletcher et al., 2014). در دهه ۱۹۹۰ استراتژی‌های توسعه کم اثر مورد استقبال قرار گرفت (Chui et al., 2016؛ Fletcher et al., 2014؛ Mao et al., 2017). مفهوم شهر حساس به آب و طراحی شهری حساس به آب در قرن بیست و یک برای ایجاد دامنه گسترده از مزایای متعدد مطرح شد، که نه تنها از تخریب منابع آب شهری محافظت می‌کرد، بلکه به مدیریت آبخوان‌ها، کنترل سیلاب‌ها و بازیافت آب در برابر بحران تغییر شرایط اقلیمی می‌پرداخت (Ashley et al., 2013).

برنامه شهرهای اسفنجی با ارائه مزایای چندگانه برای جوامع شهری نظیر کاهش رواناب، افزایش کیفیت آب، ذخیره بهتر آب و افزایش سطوح ذخایر آب زیرزمینی و حفظ بیلان طبیعی آب در سال ۲۰۱۳ مطرح شد (Li et al., 2017؛ Wang et al., 2018). هدف اولیه از احداث چنین شهرهایی حفظ، ذخیره و استفاده دوباره از بارش‌های سالیانه بود که برای رسیدن به این مهم باید تمامی سیستم‌ها و تکنولوژی سبز را به‌کار برد که سازگار با محیط‌های شهری باشد و پیوندی را بین محیط طبیعی و محیط شهری فراهم آورد (Li et al., 2017). نتایج بسیاری از مطالعات حاکی از آن است که استفاده پایدار از منابع آب ریشه در تمدن‌های باستانی دارد، سازه‌های آبی کهن حاوی راه حل‌های موفقیت‌آمیز مدیریت آب برای پایداری و تاب‌آوری در برابر شرایط سخت اکولوژیک هستند (Megdiche-Kharrat et al., 2017).

آثار تاریخی و فرهنگی هر منطقه نه تنها گنجینه ارزشمند دانش اکولوژیک و بومی است بلکه شرح مختصری از وقایع را ارائه می‌دهند و نمایه‌ای از دیدگاه‌های محلی و جهانی در مورد منابع طبیعی و بستر اکولوژیک هستند (Berkes, 2008). بومیان هر منطقه در پرتو عقلانیت، مشکلات و محدودیت‌ها را به خوبی درک نموده‌اند. درک صحیح مشکلات در فضایی شفاف، منجر به ساخت گزینه‌های صحیح و انتخاب مناسب می‌شود و همین امر اهمیت عقلانیت را گوشزد می‌نماید (Schwartz and Sharpe, 2010). ازاین‌رو، عقلانیت نه تنها ادراک با بصیرت را شامل می‌شود بلکه هوش، علم و مفاهیم مهندسی را در بر می‌گیرد. به گونه‌ای که بتواند به اقتضای شرایط به ارائه راه‌حل‌های خلاقانه و پاسخده بپردازد. عقلانیت اکولوژیک به توانایی تفکر و عمل برای حل مشکلات سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک معنا می‌یابد (Xiang, 2016). تفکر به معنای توان و تمایل فرد یا گروهی از افراد برای خلق اصول مبتنی بر تجربه، درک، دانش، دیدگاه و فهم متعارف و مشترک است (Gugerell and Riffert, 2011) و عمل به معنای توانایی و تمایل کاربست اصول در فرایند حل مشکل، قابل تفسیر است.

عقلانیت اکولوژیک مبتنی بر بنیان‌های حمایتی علمی، تجربی و اخلاقی به‌منظور طرح دلایل کافی برای جلب حمایت گروه‌های ذی‌نفع و ذی‌نفوذ است (Fan 2008؛ Fu et al., 2016). نظر به ناتوانی انسان از درک علمی بسیاری از وقایع و رویدادها، لزوم ترکیب دانش علمی با تجربه از اهمیت زیادی دارد. عقلانیت اکولوژیک به‌عنوان مورد خاصی از عقلانیت، نه تنها به ادغام دانش اکولوژیک با دانش خاص مکان در عملکردهای اجتماعی-اکولوژیک با هدف سازگاری بین انسان و محیط (Fu et al., 2016؛ Wang et al., 2016) می‌پردازد، بلکه مبتنی بر تجربیات، باورها، اعتقادات مردم محلی در طرح راه‌حل‌های انعطاف‌پذیر، خلاقانه و پاسخده است.

ازاین‌رو، فرهنگ آب، دانش محلی و پاسخ‌های محلی که منجر به شکل‌گیری میراث فرهنگی-اکولوژیک شده است، از بنیان‌هایی هستند که عقلانیت اکولوژیک بر آن تمرکز دارد. بنیان‌هایی که در آثار تاریخی و فرهنگی یک ملت نمود یافته و می‌تواند به انتقال و توسعه دانش بپردازد و روشنی بخش سیاست‌گذاران، تصمیم‌گیران، برنامه‌ریزان و طراحان شهری برای رویارویی با بسیاری از معضلات قرن حاضر باشد. این امر بر شکل‌گیری شبکه یادگیری و به اشتراک‌گذاری مفاهیم ضمنی، یافته‌ها و راهبردهای به کارگرفته شده پیشینیان (May and Perry, 2018؛ Campbell, 2012) در جهت گسترش شبکه‌های

[1] Best Management Practices (BMPS)

یادگیری تأکید می‌کند و بر ثمربخشی فرایند مستمر تبادل اطلاعات، آموخته‌ها، تجربیات، طرح‌ها و راهبردها در رویارویی با چالش عصر امروز تمرکز می‌نماید.

این سازه‌های کهن نشانگر درک عمیق از مدیریت پایدار منابع و سرزمین است که تأمین نیازهای انسان را با یکپارچگی اکولوژیک هماهنگ می‌کند. از این‌رو جوامع معاصر با یادگیری از این شیوه‌های تاریخی، می‌توانند استراتژی‌های مؤثرتری برای مدیریت منابع به‌خصوص مواجهه با چالش جهانی آب ایجاد کنند و از پایداری سیمای سرزمین در برابر تنش‌های متنوع نظیر تغییر اقلیم، گرمایش جهانی، گسترش شهرنشینی، توسعه بی‌رویه محیط‌های شهری و غیره اطمینان حاصل کنند. این میراث کهن صرفاً یادگاری از گذشته نیست، بلکه یک اصل راهنما برای نسل‌های آینده در تلاش برای توسعه پایدار است.

## مواد و روش‌ها

**روش پژوهش:** این پژوهش، یک بررسی توصیفی-تحلیلی با هدف توسعه اصول و قواعد حاکم بر سیستم زهکشی چین باستان به‌منظور تدوین الگوی کاربردی تحقق شهرهای تاب‌آور در برابر سیلاب شهری است که با مروری فشرده بر ادبیات موضوع به‌منظور تدوین چارچوب نظری تحقیق، انجام شده است. همچنین، با کاربرد روش استنتاجی-تطبیقی، به استخراج ایده‌ها و قواعد ساختاری و عملکردی حاکم بر سیستم زهکشی مذکور در مقیاس‌های چندگانه پرداخته می‌شود و مهمترین سیاست‌ها و راهبردهای تاب‌آوری در برابر سیلاب و مدیریت منابع آب تدوین می‌شود.

ازاین‌رو، مراحل انجام پژوهش به‌صورت زیر قابل تشریح است.

- بررسی سیستم زهکشی چین باستان، سمبل عقلانیت اکولوژیک در میراث کهن
- تبیین معیارهای تاب‌آوری در سازه‌های آبی و زهکشی
- استنتاج اصول و قواعد حاکم بر سیستم زهکشی چین باستان
- تدوین الگوی کاربردی تاب‌آوری در برابر سیلاب و رواناب در شهرهای معاصر

**نمونه مطالعاتی (تجربه کهن در مدیریت سیلاب شهری (سیستم زهکشی چین باستان)):** مطالعات باستان‌شناسی در یانشی، استان هنان در چین، یک سیستم زهکشی ۴۰۰۰ ساله را کشف کرد (Chang and Li, 2011). در این سیستم زهکشی، آبگیرها، سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب و رودخانه سیستم پیچیده‌ای را خلق کردند که وظیفه تأمین آب، زهکشی و ذخیره آب را بر عهده داشته‌اند (De Feo et al., 2014). این سیستم (شکل ۱) در سه مقیاس خرد (در ساختمان خانه‌ها و حیاط آنها)، میانی (بلوک‌های شهری، محله، دهکده) و کلان (شهرک‌ها و شهر) طراحی شده‌اند.

در مقیاس خرد، آب باران از بام ساختمان جمع‌آوری شده و به سمت حیاط مستطیل شکل مرکزی که توسط دیوارهای ساختمان احاطه شده، هدایت می‌شود و ضمن سرازیر شدن آب به حوضچه‌ها و آبگیرهای حیاط به سیستم زهکشی در مقیاس میانی (محله) متشکل از مخازن بزرگ، مجاری و لوله‌های جمع‌آوری فاضلاب، می‌پیوندد و ضمن جمع‌آوری تمامی رواناب‌های شهری به رودخانه‌ها و دریاچه‌های داخل یا خارج شهر وارد می‌شود (Cao et al., 2009؛ Yu et al., 2007؛ Liu, 1994).

سیستم زهکشی توانچنگ[1] در مقیاس میانی در شهر پکن طراحی شده است که با شکلی کیک مانند و تراس گرد پلکانی، پوشیده شده از درختان غنی و کهنسال در بالای آن است. این سیستم برای اولین بار در سال ۱۴۱۷ میلادی با محیط ۲۷۶ متر، ارتفاع ۴/۶ متر و مساحت ۵۷۶۰ مترمربع طراحی شد. تعداد خروجی نه عدد، سطح ابگیر در هر خروجی۶۴۰ مترمربع، اندازه قطر هر خروجی ۴۸ سانتی‌متر، ماکزیمم ظرفیت هر خروجی۱۵۰۰ لیتر در دقیقه، میزان جریان آب در هر خروجی ۱۲۰۰ لیتر در دقیقه، قابلیت جذب آب باران با شدت ۱۴۰ میلی‌متر در ساعت را دارد.

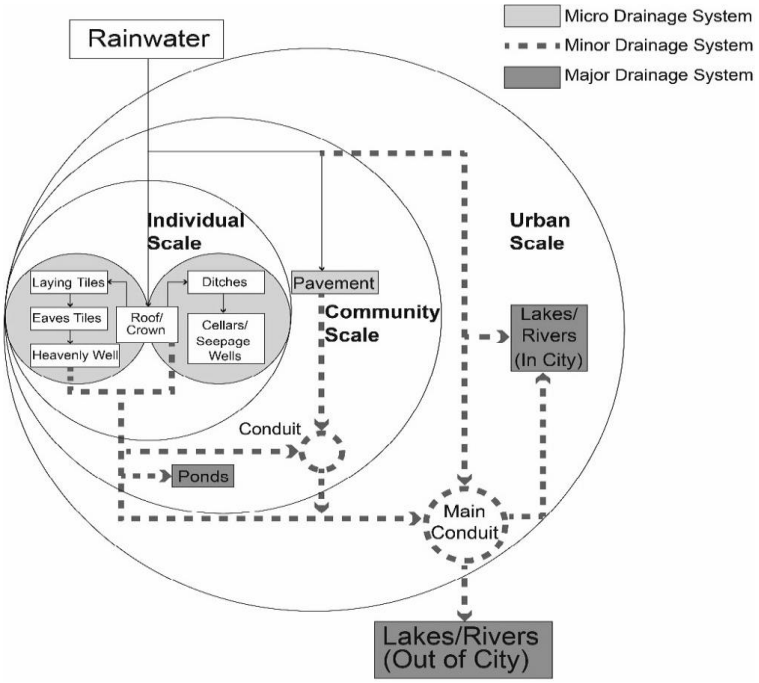
از لحاظ ساختاری، بیشتر سطح زمین با آجرهای خاکستری ذوزنقه‌ای معکوس برای نگهداشت و نفوذ آب باران، پوشیده شده است که ظرفیت جذب آب به

[1] Tuancheng

میزان ۱۸/۸۴ درصد وزن آجر را دارد (Lai et al., 2003). بین آجرهای سنگ فرش شده، فضاهای مثلثی وجود دارد که آب را به داخل زمین می‌کشند. با توجه به فضاها و سطح آجری نفوذپذیر، آب باران نمی‌تواند روی سطح آجر بماند و تا زمانی که فضاها از آب اشباع نشوند، رواناب ایجاد نمی‌شود (شکل ۲، a و b). فضاها همچنین نفوذپذیری هوا و تبخیر از زمین را تسهیل می‌کنند.

مطالعات نشان می‌دهد که در طول ۶۰۰ سال برخی از آجرها تعمیر و تعویض شده‌اند، اما همچنان شکل و عملکرد خود را ثابت نگه داشته‌اند.

یکی دیگر از عناصر خوب طراحی شده، سیستم زیرزمینی مدور C شکل است، که در هر نقطه چرخش، مخزنی برای جمع‌آوری و تخلیه آب باران وجود دارد. روی هم‌رفته نه ورودی آب باران وجود دارد که با صافی‌های سنگی متصل به آبگیر زیرزمینی پوشانده شده است. عمق ورودی‌ها از ۱/۹۰ متر (ورودی N1) به ۰/۸۱متر (ورودی N9) کاهش می‌یابد.




**شکل ۱** – مقیاس‌های ساختاری-عملکردی خرد، میانی و کلان در سیستم زهکشی چین باستان (Cun et al., 2019)

**Fig. 1.** Micro, mezzo and macro structural-functional scales in the drainage system of ancient China (Cun et al., 2019)

آب باران جمع‌آوری شده در جریان رواناب از دهانه شماره ۹ به ورودی شماره ۸ و به‌طور متوالی تا ورودی شماره ۱، از طریق تراس از طریق کانال شماره ۱۱ از تراس خارج می‌شود (Fang et al., 2002) (شکل ۲-c). دیوارها و کف آبگیر با آجرهای خاکستری یکسان کاشی‌کاری شده است. در هنگام بارندگی شدید، آب از طریق نه ورودی به داخل آبگیر می‌ریزد و از طریق فضاهای بین آجرها به خاک نفوذ می‌کند. تمام آب مازاد در آبگیرهای اطراف توانچنگ جمع آوری شده و متعاقباً خارج می‌شود.

هنگام باران متوسط یا خفیف، آب روی سطح باقی می‌ماند و به تدریج به خاک نفوذ می‌کند. بنابراین، تا آنجا که ممکن است آب باران برای آبیاری درختان جمع‌آوری و ذخیره می‌شود. در حال حاضر، این سیستم هنوز به‌خوبی کار می‌کند، پوشش درختی کهنسال منطقه را آبیاری می‌کند و از ریشه درختان در برابر آب گرفتگی و خشکسالی در فصل خشک محافظت می‌کند. علاوه‌بر این، دریچه ورودی یک سیستم تهویه زیرزمینی ایجاد می‌کند که با نفوذ هوای بیرون به عمق خاک، هوادهی خاک را افزایش داده و رشد پوشش گیاهی را بهبود می‌بخشد.

## نتایج و بحث

### استنتاج اصول و قواعد حاکم بر سیستم زهکشی

**توانچنگ:** یک مثال عالی از تجربیات الهام گرفته از طبیعت و بازآفرینی سیستم زهکشی توانچنگ، راهبرد ترکیب سیستم زهکشی با سیستم نگهداری آب در زیرزمین با استفاده از زیرساخت‌های سبز و خاکستری در فضاهای شهری است که می‌تواند منظری سبز همراه با فرایندهای هیدرولوژیک طبیعی فراهم آورد. ایده اصلی در سیستم زهکشی توانچنگ تحقق فرایندهای هیدرولوژیک سالم به جای نصب لوله‌ها و مخازن بتنی برای تخلیه سریع سیلاب بوده است (Todeschini et al., 2012).

کاربست این اصل در طراحی سیستم زهکشی شهری مشابه مفهوم توسعه کم تأثیر[1]، تحقق هیدرولوژی طبیعی با استفاده از طراحی سایت و اقدامات کنترل یکپارچه است. به گونه‌ای که بین میزان رواناب، نفوذ، تبخیر با خلق سیمای سرزمینی که فرایندهای هیدرولوژیک و چرخه آب طبیعی در آن صورت می‌پذیرد، تعادل برقرار شود (Fletcher et al., 2014؛ USEPA, 2000).

سیستم زهکشی دوران باستان به فضا و مکان کافی برای عملکرد نیاز داشتند درحالی‌که با توجه به محدودیت زمین در عصر حاضر زمین به یکی از کمیاب‌ترین و با ارزش‌ترین منابع تبدیل شده است. ازاین‌رو، سیستم‌های زهکشی جدید به گونه‌ای طراحی شده است که در فضایی محدود (نمونه اجرایی به مساحت ۵۷۶۰ متر مربع) اجرا شود که به‌خوبی در تخلیه آب باران و تأمین امکانات بصری برای جامعه کارا باشد. سیستم زهکشی زیرسطحی C شکل (شکل۳-c) به‌طور قابل توجهی منجر به افزایش نفوذپذیری و کاهش فرایند سیلابی شدن می‌شود. نه ورودی سطحی و آبگیر بزرگ فضای کافی برای تخلیه آب فراهم کرده و مخزن ذخیره زیرسطحی برای جلوگیری از سرریز شدن آبگیر در هنگام وقوع سیلاب‌های شدید استفاده می‌شود.

پایداری در طول زمان، ایجاد تعادل مناسب بین تقاضا و عرضه آب، طراحی هوشمندانه همگی از ویژگی‌های این سیستم‌های زهکشی است که برنامه ریزان و طراحان شهری فعلی را برای استفاده بهینه از زمین و دستیابی به اهداف متعدد عملکردی، جذابیت سیمای سرزمین، غنای تنوع زیستی و حتی تداوم فرهنگی مطابق با موقعیت مکانی تشویق می‌کند (Li, 2012). منابع طبیعی آب با توجه به شرایط توپوگرافی جهت هدایت و انتقال آب باران با حداقل مصرف انرژی و هزینه و حداقل تداخل با شرایط اکولوژیک انجام می‌گیرد و به‌طور یکپارچه با سیمای سرزمین ادغام می‌شود (Wang et al., 2005؛ Shan, 2011).

**طراحی الهام گرفته از طبیعت:** عقلانیت حاکم بر سیستم زهکشی باستانی توانچنگ می‌تواند حفظ آب را روی زمین و زیرزمین با استفاده از زیرساخت‌های خاکستری و سبز ترکیب کند، تا با خلق سیمای سرزمین همراه با جریانات هیدرولوژیک، عملکردی مطلوب را ارائه دهد. ایده اصلی خلق ساختار و عملکرد هیدرولوژیک سالم، با ترکیب زیرساخت سبز و خاکستری، به جای نصب لوله‌ها و مخازن بتنی صرف، برای حذف سریع سیلاب نوعی از عقلانیت حاکم در این سیستم زهکشی است (Todeschini et al., 2012).

**طراحی هوشمندانه و زیرسطحی:** سیستم توانچنگ مصداقی از طراحی هوشمند با توجه به هیدرولوژی سطحی و زیرسطحی در مساحت کوچکی به مساحت ۵۷۶۰ مترمربع است تا ضمن تخلیه سیلاب ازمنظری جذاب برخوردار باشد. زهکشی زیرسطحی C شکل قابلیت نفوذ و دفع سیلاب را گسترش داده است. نه ورودی سطحی و آبخیز بزرگ، فضای کافی برای تخلیه آب و تغذیه یک مخزن ذخیره‌سازی زیرسطحی را فراهم می‌آورد تا از بروز سیل در هنگام بارش‌های شدید جلوگیری کند (Li, 2012).

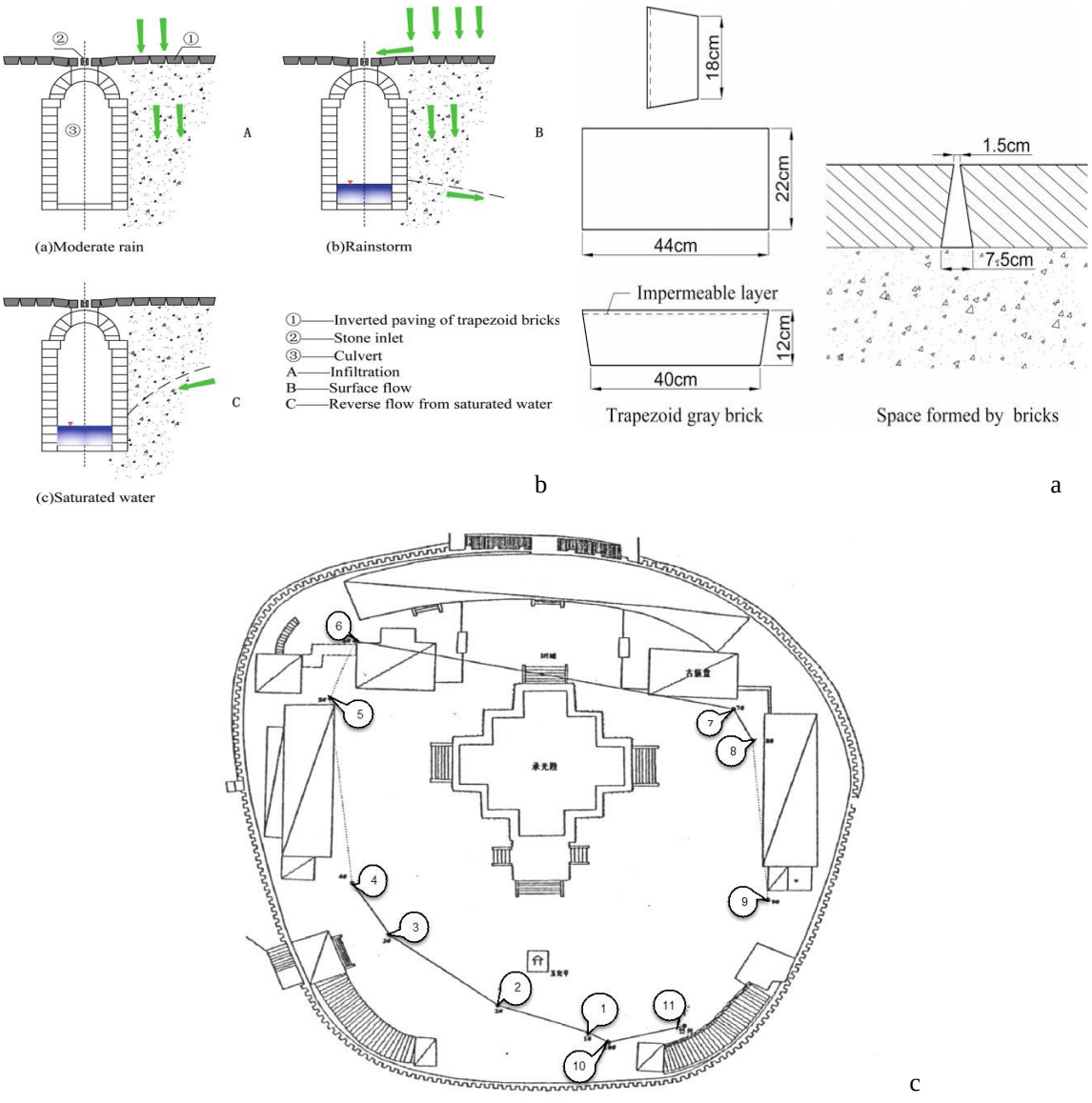
این طراحی هوشمند، برنامه‌ریزان و طراحان شهرهای معاصر را تشویق می‌کند تا بهترین استفاده ممکن از زمین را داشته باشند و به اهداف متعددی ازجمله عملکرد، جذابیت منظر زیبایی، تنوع زیستی و حتی تداوم فرهنگی منطبق با مکان دست یابند.

**ساختار غیرمتمرکز، چند عملکردی با رویکرد سیستمی:** سیستم‌های زهکشی شهری توانچنگ از رویکردهای متفاوت بهره‌گرفته است. از رویکردهای متمرکز (با هدف کاهش سیلاب) تا رویکردی چند

[1] Low-Impact Development (LID)

منظوره (Fletcher et al., 2014). همین امر بر این مهم تأکید دارد که سیستم‌های زهکشی شهری جدید می‌بایست از مهندسی زیرساخت صرف برای پمپاژ و کانال‌کشی آب به سیستم‌های چندمنظوره شامل برداشت آب، کنترل آلودگی، احیای اکولوژیک و کنترل سیلاب، ترکیب زیرساخت‌های سبز، آبی، و خاکستری تغییر کنند و در فرایند ساخت و عملکرد آنها، فرایندهای هیدرولوژیک طبیعی در نظر گرفته شوند.

اجرای گسترده‌ای از طرح‌های مطالعاتی با رویکرد ادغام اصول سنتی با فناوری‌های مدرن و تقویت پیوند بین برنامه‌ریزی شهری، طراحی منظر، مهندسی شهری و احیای اکولوژیک از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.




**شکل ۲**- مقطع و پلان از سیستم زهکشی توانچنگ در مقیاس خرد (Cun et al., 2019)

**Fig. 2.** A section and plan of Tuancheng drainage system on a micro scale (Cun et al., 2019)

**طراحی سازگار با بستر محلی:** رویکرد صحیح برای مدیریت سیلاب باید انعطاف‌پذیر باشد و ویژگی‌های محلی و عوامل زمانی، مکانی، اکولوژیک، ژئومورفوژیک، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی را در نظر

بگیرد. ویژگی‌های ژئوفیزیکی مناطق مختلف شهری (به‌عنوان مثال، آب و هوا، هیدرولوژی، زمین، خاک و توپوگرافی) باید بر انتخاب بهترین شیوه‌های مدیریت[1] برای مدیریت و دفع سیلاب در نظر گرفته شود (Barbosa et al., 2012). با توجه به مطالعات Jones et al., (2012)، به‌دلیل متغیر بودن عملکرد حجمی بهترین شیوه‌های مدیریت، ویژگی‌های طراحی و شرایط مکان نقش کلیدی در عملکرد آنها بازی می‌کنند.

درحالی‌که شهرنشینی به‌طور قابل توجهی به تغییر الگوهای کاربری اراضی، تبدیل مناطق سبز به سطوح آسفالته، تغییر پهنه‌های آبی پرداخته است. ازاین‌رو، تکنیک‌هایی مانند سیستم زهکشی شهری کارا، ترانشه های نفوذی، سطوح نفوذپذیر، ذخیره‌سازی آب، برداشت آب، حوضچه‌های نگهداری آب، باغ‌های بارانی، تالاب‌ها و غیره، همیشه باید مد نظر قرار گرفته شوند.

**طراحی در مقیاس متنوع با توجه به ابعاد مختلف زمانی و مکانی:** در مواجهه با تغییرات شرایط اقلیمی، تکنیک‌های طراحی باید دارای حاشیه بیشتر از ظرفیت نهایی برای مدیریت نوسانات بالقوه گسترده در مواجهه با تغییرات شرایط محیطی باشند یا بتوانند برای سازگاری با تغییرات تکامل یابند. تغییرات اقلیمی، یا تغییرات جهانی به‌طورکلی، تأثیر زیادی بر بهترین شیوه‌های طراحی دارد. ابعاد زمانی و مکانی همیشه جزء ذاتی سیستم زهکشی پایدار شهری هستند.

همچنین، مدل‌سازی نقش مهمی را برای بررسی آستانه‌ها و نقاط اوج، خطرهای احتمالی و اجرای اقدامات احتیاطی در سیستم ایفا می‌کند. اگرچه سیستم زهکشی توانچنگ هنوز به‌خوبی عمل می‌کند، اما در طول ۶۰۰ سال گذشته از زمان ساخت این سیستم هیچ تغییر اساسی در شرایط اقلیمی ایجاد نشده است. ازاین‌رو، به‌منظور معاصرسازی و کاربست ساختارها و عملکردهای الهام گرفته از این سیستم‌های زهکشی درنظر گرفتن مقیاس‌های متنوع و ابعاد زمانی-مکانی با توجه به تغییرات شرایط محیطی و عدم قطعیت از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

**مصالح ساخت مناسب:** در این سیستم زهکشی بیشتر سطح زمین با آجرهای خاکستری ذوزنقه‌ای معکوس فرش می‌شود (Lai et al., 2003). بین آجرهای سنگفرش شده فضاهای مثلثی وجود دارد که آب را به داخل زمین می‌کشد. به‌دلیل وجود فضاها و قابلیت جذب آب آجر، آب باران روی سطح آجر باقی نمی‌ماند و تا زمانی که فضاها از آب اشباع نشود، رواناب ایجاد نمی‌شود.

این فضاها همچنین نفوذپذیری هوا و تبخیر از زمین را تسهیل می‌کنند (Zhang et al., 2016). استفاده در مصالح بوم‌آورد با ظرفیت جذب و نگهداری بالای آب، قابلیت دوام و طول عمر مصالح ساخت، شکل، اندازه و نحوه چیدمان مصالح و غیره، منجر به افزایش کارایی در جمع‌آوری و کنترل رواناب، کاهش اثرات منفی محیط‌زیستی، کاهش هزینه‌ها و پایداری و تاب‌آوری این سازه‌ها شده است.

**ساختار سلسله مراتبی:** ساختارهای ارگانیک که از مقیاس‌های کوچک به بزرگ به‌تدریج شکل گرفته‌اند، باعث افزایش قدرت خودسازماندهی سیستم می‌شوند (Batty and Marshall, 2017). به‌عبارتی مقیاس سلسله مراتبی و قابلیت خودسازماندهی زمینه‌ای را برای جذب فشار، سازگاری با تنش‌های محیطی و افزایش تاب‌آوری فراهم می‌آورد. از سوی دیگری ایجاد زیرساخت تک فرم با مقیاس تک‌گانه بدون مقیاس سلسله مراتبی منجر به افزایش آسیب‌پذیری و شکنندگی خواهد شد. شبکه‌های مرتبط و سلسله مراتبی زیرساخت، زمینه‌های توسعه آینده را افزایش می‌دهند و اقدامات بازیابی اضطراری، ازجمله برنامه‌ریزی تخلیه را تسهیل می‌کنند.

این ویژگی تأثیر قابل توجهی در مواجهه با رویدادهای با شروع سریع (مانند طوفان، سیلاب و غیره) دارد (Mehaffy and Salingaros, 2015).

**ارتباطات و اتصالات:** سطح مطلوب اتصال با ویژگی مدولار، تاب‌آوری را به‌همراه دارد. در سیستم‌های مدولار اتصالات بین اجزای نزدیک مکانی، قوی‌تر و شایع‌تر است. با این حال، اتصالات بین مؤلفه‌های مکانی با مسافت طولانی، ضعیف‌تر و کمتر است

[1] Best Management Practices (BMP)

(Feliciotti et al., 2017). به‌عبارت دیگر، اتصالات در فواصل کوتاه، قوی و با تعدد بیشتر و اتصالات ضعیف در فواصل طولانی و تعدد اندک (توزیع قانون قدرت) می‌توانند یک حالت بهینه از اتصال برای کاهش خطر تأثیرات/خرابی‌های فزاینده را فراهم کنند. تعدد زیاد از ارتباطات کوتاه با افزایش تاب‌آوری و قابلت تغییر شکل، ساختار را ارتقاء می‌بخشد (Feliciotti et al., 2017؛ Salat and Bourdic, 2012b).

**طراحی خوشه‌ای- عملکرد چند ظرفیتی:** طراحی فضاهای چند ظرفیتی قابلیت یک سیستم زیرساختی را برای ارائه کاربردهای متنوع به‌طور همزمان برجسته می‌کند. چنین طراحی می‌تواند این پتانسیل را برای افزایش سازگاری در طی بحران و بعد از آن افزایش دهد. این معیار، تأثیرگذاری بیشتری در ارتقاء ظرفیت تاب‌آوری سیستم در برابر رویدادهای با شروع سریع (مانند طوفان، سیلاب و غیره) دارد (Roggema et al., 2012). تنوع در دو زمینه تنوع فضایی که مربوط به توزیع فضایی عناصر ساختاری می‌شود و تنوع عملکردی با ایجاد کاربردهای مختلط است (Suáreze et al., 2016).

بر این اساس، ایجاد فضاهای چندعملکردی با کاربری‌های مختلف، می‌تواند تاب‌آوری را ارتقاء بخشد (Sharifi and Yamagata, 2016). همچنین، ترکیبی از ویژگی‌های تنوع و ارتباطات منجر به ایجاد سلسله مراتب و شبکه‌های ارتباطی شده که می‌تواند در کاهش تأثیرپذیری نسبت به اختلالات و تنش‌های محیطی موثر باشد.

**زیرساخت ترکیبی:** سازگاری با تغییرات اقلیمی فرصتی برای بهبود شرایط شهری از طریق اجرای زیرساخت‌های سبز-آبی است که علاوه‌بر کاهش سیل، مزایای متعددی را به‌همراه دارد. ترکیب اقدامات سبز-آبی-خاکستری به‌ویژه در فضاهای شهری با تأمین مزایای چندگانه مانند کاهش سیلاب، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، کاهش تخریبات شهری و غیره می‌تواند تاب‌آوری را در ابعاد مختلف ایجاد نماید.

سناریوهای زیرساخت‌های ترکیبی می‌توانند در هزینه چرخه عمر در مقایسه با سناریوی زیرساخت خاکستری سنتی با در نظر گرفتن مراحل طراحی، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری تا ۹۴ درصد صرفه جویی اقتصادی ایجاد نمایند. نمونه‌های دیگر عبارتند از بایوسول[1]، باغ‌های بارانی، بام‌های سبز، دیوارهای سبز، پیاده راه‌ها نفوذپذیر و دیگر رویکردهای اکوسیستمی مهندسی شده به‌نوعی سازگاری با تغییرات اقلیمی[2] و روش‌های در زمینه کاهش احتمال بروز خطر[3] هستند که از رویکردهای ترکیبی اکولوژیک و تکنولوژیک استفاده می‌نمایند و در چارچوب سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک-تکنولوژیک قرار دارند.

توجه به این نکته مهم است که در ادبیات موضوع، می‌بایست بین سیستمی که صرفاً بر عملکردهای اکولوژیک متکی است (زیرساخت‌های سبز یا آبی)، یا زیرساخت‌های تکنولوژیک و مصنوع، تمایز قائل شد. شواهد بی‌شماری وجود دارد که رویکردهای ترکیبی، راه‌حل‌های حفاظت از خطر و مقرون به صرفه‌ای را ارائه می‌دهند (Kabisch et al., 2017).

**تجربیات مدرن در مدیریت سیلاب شهری:** اجرای زیرساخت‌های خاکستری سنتی (Johns, 2019؛ Morris et al., 2018)، مانند شبکه‌های زهکشی با لوله‌های قطور، تأسیسات ذخیره‌سازی، ایستگاه‌های پمپاژ آب، سیستم‌های جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب، رایج‌ترین راه‌حل برای کاهش سیلاب در فرایند مدیریت شهری و کاهش اثرات مضر آلودگی آب است (Flanagan et al.,1999؛ Thomas and Crawford, 2011؛ Harvey et al., 2020).

بسیاری از مطالعات بر این مهم تأکید دارند که پذیرش گسترده زیرساخت‌های سبز برای تکمیل سیستم‌های زهکشی خاکستری موردنیاز است (Leng et al., 2020). اگرچه زیرساخت خاکستری یک اقدام معمول زهکشی شهرهای معاصر و پیشگیری از بروز سیلاب است اما زمانی که با سایر رویکردهای

---

[1] Bioswales: جوی‌هایی هستند که دو طرف آنها دارای شیب ملایمی بوده و با گیاهان و درختان پوشیده می‌شود؛ محور مرکزی این گودال‌ها به عنوان زهکش عمل می‌کند. این عناصر به عنوان یکی از "عناصر منظرین"، مواد آلاینده را از سطح "روان آب‌ها" خارج می کنند. "درختان" در حاشیه "گودال‌های زیستی"، میزان هدررفت "روان آب‌ها" را کاهش داده و آب ذخیره شده را به اتمسفر باز می‌گردانند.

[2] Climate Change Adaptation (CCA)

[3] Disaster Risk Reduction (DRR)

اکولوژیک نظیر توسعه کم اثر (Bae & Lee, 2020؛ Hua et al., 2020)، بهترین عملکردهای مدیریتی (Zhang et al., 2020 ؛Liu et al., 2020)، شهرهای اسفنجی (Nguyen et al., 2020؛Li et al., 2020؛ Wang et al., 2019)، رویکردهای سبز-خاکستری (Denjean et al., 2017 ؛Leng et al., 2020)، ارتباط انسان با طبیعت، سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک، اکولوژی سیمای سرزمین و غیره همراه باشد، می‌تواند چارچوبی را برای مدیریت چالش‌های تغییرات اقلیم فراهم آورد و با برنامه‌ریزی و طراحی سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک، تکنولوژیک و زیرساخت‌های ترکیبی سبز-آبی و خاکستری تاب‌آوری شهری را ارتقاء بخشد.

چنین تحولی زیان‌های اقتصادی ناشی از جاری شدن سیلاب‌های ناگهانی و بحران منابع آبی را کاهش داده و همچنین می‌تواند فرصت‌های سرمایه‌گذاری در ارتقاء زیرساخت‌های جدید، محصولات مهندسی و تکنولوژی‌های جدید ایجاد کند.

برخی از این زیرساخت‌های ترکیبی شامل بام سبز، دیوار سبز، فضای باز و سبز، تالاب‌های مصنوع برای آب باران، ایجاد حوضچه‌های با قابلیت نفوذپذیری آب، و امکانات و تأسیسات حفظ فرایندهای بیولوژیک و ایجاد سطوح سنگ فرش‌های با قابلیت نفوذپذیری آب (Chen et al., 2015؛ Chen, 2016؛ Jia et al., 2017؛ Li et al., 2017؛ Li et al., 2016؛ Li et al., 2018; Wu et al., 2017؛ Wu, 2015؛ Zhang and Che, 2016) به‌عنوان بخشی از تلاش‌های طراحان و برنامه‌ریزان شهری برای پیگیری تمدن محیط‌زیستی در طی توسعه سریع اقتصادی و اجتماعی مطرح شده است.

جدول ۱، مجموعه‌ای از پروژه‌های اجرایی، اقدامات انجام شده و دستاوردهای حاصل در برنامه‌ریزی و طراحی شهرهای نفوذپذیر، مدیریت سیلاب‌ها و رواناب‌های شهری را نشان می‌دهد.

**جدول ۱**- نمونه‌های مطالعاتی از اقدامات مدیریت سیلاب شهری و دستاوردهای آن

**Table 1.** Study examples of urban flood management measures and their achievements

| Project | Activities | Achievements |
|---|---|---|
| Building a permeable city in Hunan, China (2014) | - Development of public and private gardens, green spaces, and open areas to enhance permeability levels<br>- Enhancing the role of roads in relation to rainwater infiltration, surface water management, purification, and drainage<br>- Collecting runoff from sidewalks and rainwater from building roofs for treatment and reuse<br>- Government initiatives and services, including the construction of green roofs, permeable asphalt runoff, storage solutions, and rainwater treatment, etc. | - 31% decrease in water wastage<br>- Approximately 53% reduction in the peak of the flood curve over 10 years<br>- Lowering the pollution levels in runoff |
| Sustainable flood management in Portland, Oregon (2005) | - Implementation of the gray-to-green conversion strategy to enhance green space in urban areas<br>- Rainwater collection initiative in roof gutters<br>- Special incentives for private property owners implementing runoff management on their properties<br>- Channels for collecting and redirecting sewage overflow for treatment<br>- Development of green streets, rain gardens, green roads, and more<br>- Creation of green cover to minimize runoff and improve drainage | - Sustainable flood management<br>- Development of natural habitats<br>- Establishing open spaces for social, cultural, recreational activities, etc.<br>- Enhancing ecosystem services in the urban environment |
| Flood and runoff management in Rotterdam, Netherlands | - Design of a water square with multifunctional capabilities<br>- Integration of urban planning and design with water management to address water issues and enhance the city's appeal as a place for living, working, and relaxing<br>- Reorganization of surface runoff through decentralized and innovative measures compatible with the region | - Flood Protection in Rotterdam<br>- Ensuring the quality of the desired water<br>- Enhancing the quality of public spaces<br>- Establishing a technical system for flood management<br>-Collecting and temporarily storing rainwater<br>- Gradual drainage of water and entry into treatment systems |
| Water-sensitive urban design and flood management in Wellington, New Zealand | - Creation of rainwater harvesting reservoirs,<br>- Design of rain gardens, green roofs, green walls<br>- Permeable paving, green pathways, and...<br>- Water and runoff storage tanks,<br>- Lakes and wetlands for surface water storage | - Improvement of water quality in rivers and ports<br>- Reduction of flood occurrences in urban areas<br>- Decrease in the volume of floodwater entering the sewage system<br>- Reduction of demand for water supply<br>- Preservation and enhancement of the |

| Project | Activities | Achievements |
|---|---|---|
| | | environmental, social, and economic value of the region<br>- Strengthening the visual landscape in urban environments. |
| Multi-Management of Rainwater in Seoul, South Korea | - Design of flood control reservoirs (used only during heavy rainfall) for water storage (especially rainwater from rooftops) and emergency uses (such as firefighting) at the construction site of the building.<br>- Mandatory regulations for the construction of water collection and storage tanks in large buildings.<br>- An incentive program for the construction of rainwater harvesting systems (such as increasing the built-up area by 10 to 20 percent). | - Sustainable flood management<br>- Rainwater harvesting<br>- Reuse of water reserves from precipitation |

**تدوین الگوی کاربردی تاب‌آوری شهری در برابر سیلاب:** در اوایل سال ۱۹۸۷، کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه (۱۹۸۷) در نشست آینده مشترک ما اظهار داشت که جوامع بزرگ و مدرن می‌توانند با بهره‌گیری از مهارت‌های سنتی فرهنگ های بومی در مسیر مدیریت پایدار سیستم‌های اکولوژیک پیچیده گام بردارند (Baltes and Staudinger, 2000) و همین امر بر لزوم فرایند توسعه عقلانیت اکولوژیک به‌منظور ایجاد پایگاه دانش که حاوی اطلاعات تاریخی، فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی، اکولوژیک و غیره است، تأکید دارد.

فلسفه مدیریت سیلاب چین باستان در واقع با مفاهیم مدرن و بین‌المللی مدیریت سیلاب همسو است. نکات برجسته در سیستم زهکشی باستانی چین، ازجمله تفکر سیستماتیک در مقیاس مختلف (مقیاس فردی، محله‌ای، شهری و فراشهری)، همسو با تأمین نیازهای واقعی و جهت‌گیری در راستای رفع مشکلات، شایسته است در طراحی و ساخت سیستم‌های مدرن شهرهای معاصر به‌کار گرفته شود (Cun et al., 2019).

ایده شهرهای اسفنجی در سال ۲۰۱۳ به منظور رسیدگی و غلبه بر بسیاری از معضلات شهرهای معاصر (Li et al., 2017) با ارائه مزایای چندگانه نظیر کاهش رواناب، افزایش کیفیت آب، ذخیره بهتر آب و افزایش سطوح ذخایر آب زیرزمینی و حفظ بیلان طبیعی آب مطرح شد (Wang et al., 2018). شهر اسفنجی به شهرهایی اطلاق می‌شود که با تأمین زیرساخت‌های مناسب جهت جمع‌آوری آب باران، نه تنها قادر به کنترل سیلاب است، بلکه برای مقابله با کمبود آب، امکان استفاده مجدد از آب باران را نیز مناسب است (Embassy of the Kingdom of the Netherlands, 2016). مفهوم شهر اسفنجی شامل اصلاح یک شهر برای تبدیل شدن به یک محیط جاذب و اسفنجی، با انعطاف‌پذیری زیاد برای انطباق با تغییرات شرایط محیطی از طریق امکانات توسعه کم اثر و اقدامات مدیریتی بهینه معنا می‌یابد (Hu et al., 2018؛ Jia et al., 2017). کاربست اصول عقلانیت اکولوژیک در مقیاس خرد در قالب سیستم‌های غیرمتمرکز کوچک مقیاس، زیرساخت‌های سبز نظیر سیستم‌های زیست‌محور، بام‌های سبز، که فرایندهای جمع‌آوری، نفوذ، تصفیه، و بازچرخش آب را محقق می‌سازد، معنا می‌یابد و در مقیاس کلان به اقدامات مدیریتی بهینه ساختاری و غیرساختاری به‌منظور کاهش حجم رواناب، کاهش آلودگی آب، کنترل‌های توزیع منابع آب، و غیره اشاره دارد تا با ذخیره بارش، افزایش نفوذ آب، زمان تمرکز سیلاب، مسیرهای انحرافی جریان، کاهش سطوح نفوذناپذیر و تغذیه سفره‌های آب‌های زیرزمینی به مدیریت سیلاب، بهره‌گیری بهینه از آب‌های سطحی و افزایش خدمات اکوسیستمی کمک نماید.

سیستم‌های زهکشی پایدار مدرن شهری نه تنها منجر به انحراف آب از مسیر شهر می شوند، بلکه شامل سیستم‌هایی مانند توسعه با تاثیرات محیط زیستی اندک و اقدامات مدیریتی بهینه، نیز می‌شود (Fletcher et al., 2015) که می‌توان آن را سیستم‌های زهکشی "3M" نامید که متشکل از یک زیرسیستم‌های با مقیاس خرد، میانی و کلان تشکیل شده است (Guo, 2017). این زیرسیستم‌ها با توانایی و ظرفتشان در مواجهه با رواناب‌ها متمایز می‌شوند.

سیستم‌های خرد قابلیت زهکشی رواناب‌های دوره زمانی سه تا شش ماهه را دارند، سیستم‌های زهکشی میانی جریان‌های رواناب دوره بازگشت دو تا پنج ساله را جمع‌آوری و کنترل می‌کنند و سیستم‌های زهکشی

کلان جریان‌های اوج رواناب دوره زمانی ۱۰ تا ۱۰۰ ساله را مدیریت می‌کنند (Guo, 2017). در پروژه‌های اجرایی، سیستم زهکشی خرد می‌تواند سنگفرش یا باغ های بارانی نفوذپذیر باشد. سیستم زهکشی میانی مانند مجراها، و کانال‌های رواناب و فاضلاب هستند. سیستم‌های زهکشی کلان به‌صورت دریاچه‌ها، حوضچه‌ها، سدها و بندها ارائه می‌شوند. بر اساس مقیاس زیرسیستم‌ها، سیستم زهکشی خرد نقش "کنترل[1]"، سیستم زهکشی میانی نقش "انتقال[2]" و سیستم زهکشی اصلی "توقیف[3]" رواناب‌ها و سیلاب‌ها را ایفا می‌نمایند. روش‌های مدیریت در هر سه مقیاس با مفهوم شهر اسفنجی با اولویت‌های روش‌های ممانعت طبیعی از ورود سیلاب به شهر، نفوذپذیری طبیعی سیلاب‌ها به‌منظور تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، و تصفیه طبیعی سیلاب‌ها، همسو است (Nguyen et al., 2019؛ Jiang et al., 2018).

مبتنی بر اصول و قواعد استنتاجی از سیستم زهکشی چین باستان و پروژه‌ها و تجربیات موفق در کشورهایی نظیر چین، امریکا، هلند، نیوزیلند، کره جنوبی و نتایج حاصل از مطالعه محققانی نظیر Nguyen et al., (2019)، Wang et al., (2018)، Liu (2018)، Li et al., (2018, 2017)، Xia et al., (2017)، الگوی کاربردی شهرهای تاب‌آور در برابر سیلاب‌ها و رواناب‌های شهری به‌صورت زیر قابل طرح است. در این پژوهش، الگوی مذکور مبتنی بر سیاست‌های طرح‌های حفاظتی، ارتقاء نفوذپذیری، ذخیره‌سازی رواناب، انتقال رواناب، پاکسازی آب و رواناب و همچنین منظرسازی پایه‌گذاری می‌شود.

**طرح‌های حفاظتی[4]** : این روش با حمایت و حفظ فضای باز طبیعی، تولید رواناب را به حداقل می‌رساند. چنین طرحی میزان سطوح غیرقابل نفوذ که باعث افزایش حجم رواناب می‌شود را کاهش می‌دهد. فضای باز طبیعی، از طریق نفوذ و یا تبخیر و تعرق، برای حل مشکل افزایش رواناب در محیط‌های ساخته شده، مورد استفاده قرار می‌گیرد. با حفظ مناطق طبیعی و عدم پاکسازی و درجه‌بندی کل سایت برای قطعات مسکونی، رواناب کمتری در منطقه توسعه یافته، تولید می‌شود. به‌همین سادگی، با روشی غیرسازه‌ای می‌توان نیاز به ساخت کنترل‌کننده‌های بزرگ رواناب‌ها مانند حوضچه‌های حفظ و سیستم انتقال رواناب‌های سطحی و در نتیجه هزینه‌های کلی زیرساخت‌های پروژه را کاهش داد.

کاهش مساحت سطوح غی قابل نفوذ با محدود کردن عرض جاده، مسیر رانندگی، پارکینگ، و غیره می‌تواند موجب افزایش کیفیت محیط شده و به‌دلیل افزایش دسترسی و نزدیکی به فضاهای باز طبیعی، احساس بهره‌مندی بیشتری از طبیعت و فرصت‌های تفریحی به ساکنان شهر القاء کند. نمونه‌هایی از طرح حفاظتی شامل توسعه زیرساخت‌ها به صورت خوشه ای[5]، توسعه زیرساخت‌های سبز در مقیاس‌های متنوع خرد، میانی و کلان، توسعه سطوح نفوذپذیر، سبز و متخلخل است.

**ارتقاء نفوذپذیری[6]**: تکنیک‌های نفوذپذیری، ساختارهای مهندسی و ویژگی‌های طراحی شده برای جذب و نفوذ رواناب‌ها هستند. این شیوه‌ها می‌توانند به منظور کاهش حجم رواناب تخلیه شده از سایت‌ها و زیرساخت‌های مورد نیاز برای انتقال، تصفیه و یا کنترل رواناب‌ها مورد استفاده قرار گیرند. شیوه‌های نفوذ همچنین می‌تواند جهت تغذیه مجدد آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد. این مزیت، به‌ویژه در مناطقی که نگرانی ویژه‌ای در مورد حفظ منابع آب آشامیدنی و جریان پایه آبراهه به‌دلیل بارش محدود و یا نسبت بالایی از برداشت منابع زیرزمینی وجود دارد، مهم است. استفاده از این روش می‌تواند منافع زیبایی و در برخی موارد، فرصت‌های تفریحی فراهم کند. نمونه‌هایی از شیوه‌های نفوذ شامل توسعه سطوح نفوذپذیر نظیر سبزراه‌ها، پیاده راه‌ها و سنگفرش‌های متخلخل، توسعه زیرساخت‌های سبز نظیر بام سبز، پارک‌ها، باغ‌ها، توسعه سطوح تراس‌بندی و پلکانی است.

**ذخیره سازی رواناب[7]**: شیوه‌های ذخیره‌سازی از سطوحی غیرقابل نفوذ در بخش مرکزی محیط شهری

[1] Controlling
[2] Conveying
[3] Detaining
[4] Conservative designs
[5] Cluster development
[6] Infiltration practices
[7] Runoff storage

برای ذخیره‌سازی و استفاده مجدد از رواناب استفاده می‌کنند. در این شیوه، رواناب جمع‌آوری و ذخیره می‌شود و یا به تدریج نفوذ کرده، تبخیر شده، و یا به منظور آبیاری پوشش‌های سبز مورد استفاده قرار می گیرد. این روش‌ها می‌توانند اوج جریان آب را برای محافظت از نهرها (که به‌وسیله نیروی جریان‌های قوی تخریب می‌شوند) کاهش دهند.

آبیاری فضای سبز و ارائه مزایای زیبایی‌شناسانه، مانند جزایر، لکه‌ها و کریدورهای سبز، باغ بارانی از دیگر مزایای این شیوه است. نمونه‌هایی از شیوه‌های ذخیره‌سازی رواناب شامل توسعه مخازن زیرزمینی جمع‌آوری آب، توسعه چاه‌های و گودال‌های تغذیه، تغذیه آب زیرزمینی از طریق پخش سیلاب، سدها و سازه آبی زیرزمینی متروکه، قنوات و ذخیره‌سازی طبیعی از طریق زیرساخت‌های سبز است.

**انتقال رواناب**[1]: بارش‌های شدید، استفاده از روش‌های ذخیره‌سازی و با نفوذ برای رواناب‌های تولید شده را با مشکل مواجه می‌کند. در چنین شرایطی معمولاً، سیستم‌های انتقال، رواناب‌های اضافی را به بیرون از سایت هدایت می‌کنند. برای کند کردن سرعت جریان، طولانی کردن زمان تمرکز رواناب‌ها و به تأخیر انداختن زمان اوج جریان، می‌توان از سیستم‌های انتقال استفاده کرد. شیوه‌های انتقال اغلب برای کاهش سرعت رواناب، افزایش تبخیر و ته نشست مواد جامد، دارای سطوح ناهموار است. این روش‌ها به‌طور معمول نفوذپذیر بوده و دارای پوشش گیاهی هستند که به افزایش نفوذ، تصفیه و جذب برخی آلاینده‌ها کمک می‌کند. نمونه‌هایی از شیوه‌های انتقال رواناب شامل جمع‌کننده‌ها و زهکش‌های باران و ناودان‌ها، توسعه پوشش سبز، توسعه رودخانه‌ها، نهرها، کانال‌های زهکشی سطحی، توسعه سدهای خاکی، تالاب‌ها و استخرها است.

**پاکسازی آب**[2]: شیوه‌های تصفیه برای فیلتر کردن رواناب، از طریق واسطه‌ها طراحی شده‌اند که از طریق فرایندهای تصفیه فیزیکی مواد جامد و یا تبادل کاتیونی آلاینده‌های محلول در آب، آلودگی‌ها را حذف می‌کنند. شیوه‌های تصفیه، همانند شیوه‌های نفوذ دارای منافع زیادی مانند کاهش حجم رواناب منتقل شده به خارج از سایت، تغذیه مجدد آب‌های زیرزمینی، افزایش جریان پایه آبراهه هستند. نمونه هایی از شیوه‌های تصفیه نظیر دریاچه‌های تصفیه آب طبیعی، بافرهای تصفیه گیاهی[3] و گیاه پالایی، سیستم تصفیه غیرمتمرکز درون و برون شهری، سیستم تصفیه و بازیافت آب خاکستری ساختمان است.

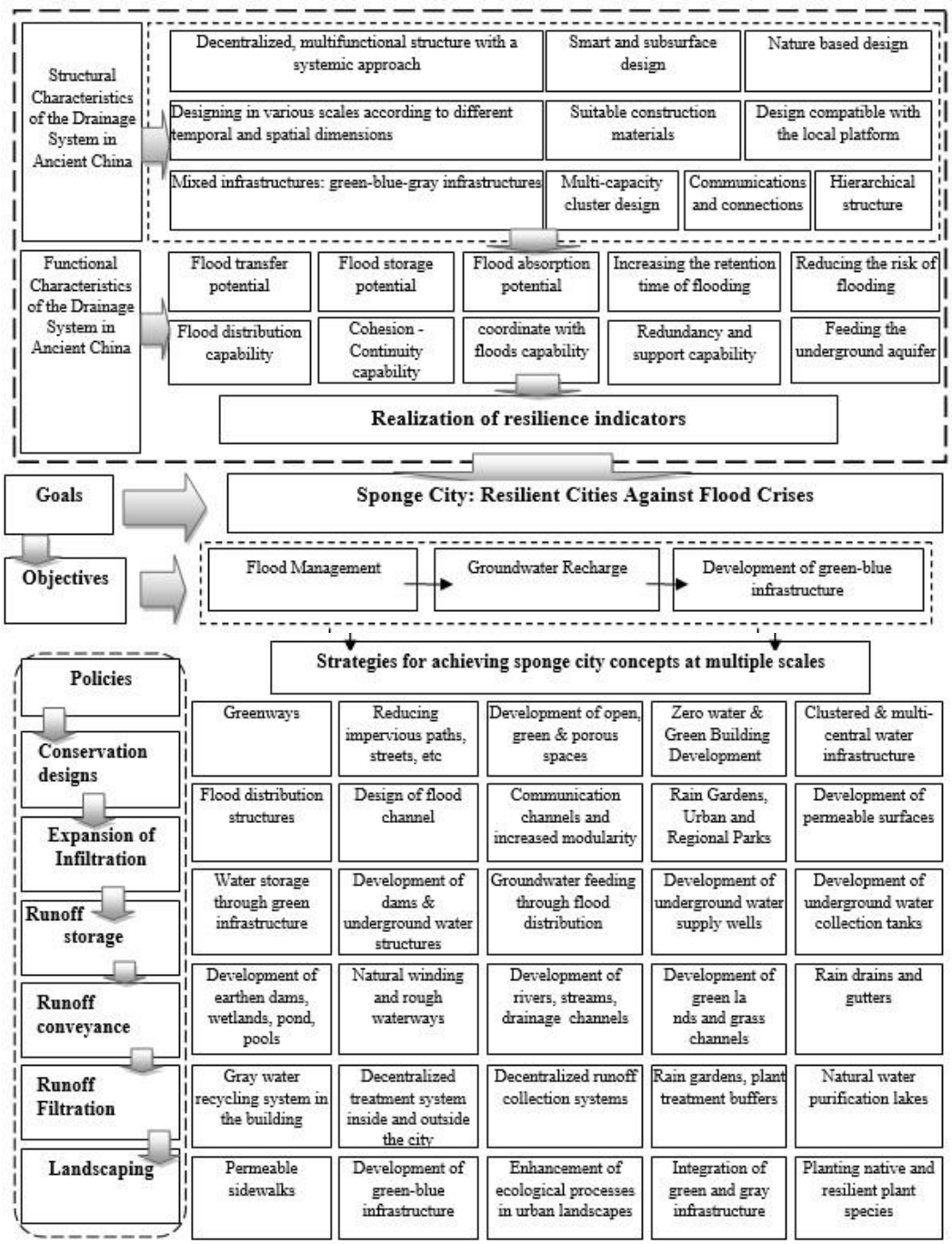
**منظرسازی**[4]: در هنگام طراحی یک منظر عملکردی، انتخاب و توزیع گیاهان باید به دقت برنامه‌ریزی شود. زیبایی‌شناسی یکی از دغدغه‌های اولیه و مهم است. اما در نظر گرفتن اهداف طولانی مدت نیز حائز اهمیت است. خاک مناسب نفوذپذیر و انتخاب گونه‌های سازگار با آب و هوای یک منطقه، تا حد زیادی موفقیت کاشت و رشد گیاه را افزایش داده، در نتیجه خاک را تثبیت می‌کند و جذب بیولوژیک آلاینده‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد.

رشد متراکم و سالم گیاه، مزایای مانند مقاومت در برابر آفت کاهش نیاز به آفت‌کش‌ها و بهبود نفوذپذیری خاک توسط رشد ریشه را ارائه می‌دهد. در نتیجه منظرسازی می‌تواند سطوح غیرقابل نفوذ را کاهش و پتانسیل نفوذپذیری و کیفیت زیبایی‌شناختی سایت را افزایش دهد. نمونه‌هایی از منظرسازی شامل کاشت گونه‌های گیاهی بومی و مقاوم، ترکیب زیرساخت‌های سبز-آبی و خاکستری، ارتقاء فرایندهای اکولوژیک در منظرسازی، توسعه باغ‌ها، فضاهای سبز، پارک‌های شهری و منطقه‌ای است.

شهر اسفنجی ایده‌ای پیچیده از ترکیب سیستم های مهندسی و مشتمل بر جنبه‌های هیدرولوژی، هواشناسی، سیستم‌های رودخانه، کاربری اراضی، شبکه‌های انتقال خط لوله، توسعه شهری، سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک است. انجام این کار نیاز به پشتیبانی از حجم بالایی از داده‌ها در ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی، جغرافیایی، شرایط اقلیمی، هیدرولوژیک، آب‌های سطحی، زیرزمینی و اکولوژیک، زهکشی، پیشگیری از سیل، پیشگیری و درمان غرقابی، بهره‌برداری از چرخه آب است.

[1] Runoff conveyance
[2] Filtration
[3] Vegetated filter strips/buffers
[4] Landscaping

همچنین، امکان ادغام استراتژی‌های محاسبات ابری و فناوری اطلاعات داده جهت پیاده‌سازی سیستم جمع‌آوری آب باران، سیستم زهکشی هوشمند، پیش‌بینی زمان واقعی پاسخ به انسداد شبکه خط لوله، نظارت و کنترل هوشمند آلودگی آب و تصفیه آب، امکان بهره برداری دوره‌ای از آب باران و آب بازیافت شده ضروری است تا شهرهایی پایدار و تاب‌آور با قدرت جذب، ذخیره، نفوذ و پاکسازی آب باران را فراهم آورد. شکل ۴ اهداف کلی، عملیاتی، سیاست و راهبردهای توسعه عقلانیت اکولوژیک در جهت تحقق الگوی کاربردی شهر اسفنجی را به تصویر می‌کشد.




**شکل ۴**- اجزایی از اهداف کلی، عملیاتی، سیاست‌ها و راهبردهای توسعه عقلانیت اکولوژیک حاکم بر سیستم زهکشی چین باستان در جهت تحقق الگوی کاربردی شهر اسفنجی

**Fig. 3.** Elements of the goals, objectives, policies, and strategies for developing ecological wisdom governing the ancient Chinese drainage system to achieve the functional pattern of a sponge city

**نتیجه‌گیری**

سازه‌های آبی کهن که توسط فرهنگ‌های گذشته مهندسی شده‌اند، بر تحقق عملکردهای اساسی هیدرولوژیک استوارند و با حفظ منابع آب، مدیریت رواناب، حفظ یکپارچگی اکولوژیک، مدیریت آبخیز، محافظت از خاک و تنوع زیستی، بینش‌های ارزشمندی را ارائه می‌دهند که علی‌رغم تفاوت‌های گسترده در پیچیدگی، توسعه فناوری، تقاضای منابع بین جوامع بومی باستان و دنیای مدرن، می‌تواند الهام‌بخش جوامع معاصر در مدیریت سیمای سرزمین باشد. اصول طراحی حاکم بر این سازه‌های کهن بر حفظ سیستم‌های آبی و طبیعی، بهبود فرایندها و عملکردهای اکولوژیک و افزایش خدمات اکوسیستمی مؤثر است.

برای بهره‌برداری کارآمد از منابع آب بارشی به منظور کاهش چالش کمبود آب در عصر حاضر شایان توجه است. علاوه‌بر این با کاهش وقوع بلایای طبیعی، بروز سیل و خسارات اقتصادی، روشی مطمئن برای مدیریت منابع آبی و صرفه‌جویی در هزینه‌های مالی جوامع محلی است. همچنین، می‌تواند فرصت‌های سرمایه‌گذاری در ارتقاء زیرساخت‌ها، محصولات مهندسی و تکنولوژی‌های جدید ایجاد کند.

ترکیب زیرساخت‌های سبز و خاکستری، طراحی خوشه‌ای و عملکرد چند ظرفیتی به‌طور قابل توجهی منجر به افزایش کارایی، ارتقاء عملکرد، افزایش ظرفیت مقابله با تنش و کاهش خسارات و هزینه‌ها می‌شود. برخی از فناوری‌های رایج در شکل‌گیری شهرهای اسفنجی با استفاده از سقف‌های سبز، فضاهای باز و سبز، پارکینگ سبز، تالاب‌های مصنوع برای جمع‌آوری باران و رواناب، ایجاد حوضچه‌های با قابلیت نفوذپذیری آب، تأسیسات حفظ فرایندهای بیولوژیک، ایجاد سنگ فرش‌های با قابلیت نفوذپذیری، کاهش سطوح صلب و نفوذناپذیر، مدیریت یکپارچه اکولوژیک، حفاظت از اکوسیستم آبی و بهره‌برداری از منابع بارشی و امکان توسعه هماهنگ محیط شهری و طبیعی، توسعه زیرساخت‌های سبز-آبی و ارتقاء تاب‌آوری در برابر بحران‌های آبی را فراهم می‌آورد.

بازآفرینی و کاربست این اصول ساختاری، عملکردی و مدیریتی صرفه‌جویی، حفاظت و جلوگیری از اتلاف آب را ترویج می‌دهد، استراتژی‌های تطبیقی آن‌ها دستورالعمل‌هایی را برای سازگاری با شرایط محیطی و تاب‌آوری اکولوژیک ارائه می‌دهد و منجر به شکل‌گیری حوزه‌های آبخیز سالم به‌عنوان زیستگاه‌های حیاتی برای ارتقاء تنوع زیستی می‌شود.

مدل‌های حکومتی مبتنی بر جامعه اهمیت مشارکت ذی‌نفعان را برجسته می‌کند. فرهنگ‌های بومی منابع آبی به گسترش شیوه‌های مدیریتی جمعی و پرورش حس سرپرستی در میان جمعیت‌های محلی می‌پردازد. یادگیری اجتماعی از این ساختارهای حاکمیت سنت حامی فرایندهای تصمیم‌گیری فراگیر جوامع محلی است و مشارکت در تصمیم‌گیری، احساس مالکیت و مسئولیت را تقویت می‌کند و تضمینی بر تنظیم برنامه‌های مدیریت سیمای سرزمین و آبخیز بر اساس نیازها و اولویت‌های خاص گروه‌های ذی‌نفع است.

رویکرد یکپارچه مدیریتی حاکم بر این سازه‌ها بر هماهنگی بین ذی‌نفعان متعدد، تقویت همکاری، ارتقاء هم‌افزایی و کاهش تعارضات برای تدوین راه‌حل‌های جامع به‌منظور بهره‌برداری و تخصیص بهینه منابع تأکید دارد و اهمیت کاربرد آن به‌عنوان یک استراتژی محوری در پرداختن به چالش‌های ناشی از کمبود آب، تغییرات اقلیم و تخریب اکولوژیک خاطر نشان می‌کند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که تجلی اصول و قواعد عقلانیت اکولوژیک در قالب سیاست‌ها و راهبردهای مختلف نظیر طرح‌های حفاظتی، افزایش نفوذپذیری، ذخیره‌سازی رواناب، انتقال رواناب، پاکسازی آب و منظرسازی در مقیاس‌های متعدد می‌تواند چارچوبی بنیادین را در ارتقاء تاب‌آوری در برابر پیامدهای ناشی از تغییرات اقلیمی، بروز بارش‌ها و سیلاب‌های غیرقابل پیش‌بینی ارائه نماید.

ایده‌ای تجلی یافته از تمدن محیط‌زیستی با قابلیت کاهش اثرات توسعه شهری بر اکوسیستم‌های طبیعی، توسعه زیرساخت‌های سبز، ترکیب زیرساخت‌های سبز-آبی و خاکستری و مدیریت آبخوان در ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیک، که سعی در مدیریت منابع آب و حل بحران آب در بسیاری از کشورهای دنیا نظیر ایران را دارد.

**تشکر و قدردانی**

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح با شماره ۴۰۱۴۴۱۲، انجام شده است. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند مراتب تقدیر و تشکر خود را به سپاس حمایت‌های صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور ابراز دارند.

**تعارض منافع**

در این مقاله تضاد منافعی وجود ندارد و این مساله مورد تایید همه نویسندگان است.

**منابع مورداستفاده**

Achal, V., Mukherjee, A., Zhang, Q., 2016. Landscape and urban planning unearthing ecological wisdom from natural habitats and its ramifications on development of biocement and sustainable cities. Landscape Urban Plan. 155, 61-68.

Ashley, R., Lundy, L.,Ward, S., Shaffer, P., Walker, L., Morgan, C., Saul, A.,Wong, T., Moore, S., 2013. Water-sensitive urban design: opportunities for the UKl. Proc. Inst. Civ. Eng. Munic. Eng. 166(2), 65-76.

Bae, C., Lee, D.K., 2020. Effects of low-impact development practices for flood events at the catchment scale in a highly developed urban area. Int. J. Disaster Risk Reduc. 44, 101412.

Baltes, P.B., Staudinger, U.M., 2000. Wisdom: A metaheuristic (pragmatic) to orchestrate mind and virtue toward excellence. American Psychol. 55(1), 122.

Barbosa, A.E., Fernandes, J.N., David, L.M., 2012. Key issues for sustainable urban stormwater management. Water Res. 46(20), 6787-6798.

Barnhardt, R., Oscar Kawagley, A., 2005. Indigenous knowledge systems and Alaska Native ways of knowing. Anthropol. Educa. Quart. 36(1), 8-23.

Batty, M., Marshall, S., 2017. Thinking organic, acting civic: The paradox of planning for Cities in Evolution. Landscape and Urban Planning. 166, 4–14.

Berkes, F., Colding, J., Folke, C., 2008. Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change: Cambridge University Press.

Browder, G., Ozment, S., Rehberger Bescos, I., Gartner, T., Lange, G.M., 2019. Integrating green and gray: Washington, DC: World Bank and World Resources Institute.

Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M.T., Scherzer, A., Tramberend, S., Flörke, M., 2016. Water futures and solution-fast track initiative.

Campbell, T., 2012. Beyond Smart cities: How cities network, learn, and innovate. New York: Earthscan.

Chang, J., Li, Y., 2011. The origin and development of ancient China city drainage. Beijing: China Architecture & Building Press (in Chinese).

Cao, Y., Tong, L.P., Zhao, Z.D., 2009. Research on traditional water recycling system in underground cave dwelling. Journal of Zhengzhou University (Natural Science Edition). 41(03), 85-88 (in Chinese).

Che, W., Zhao, Y., Li, J.-Q.,Wang, W.L.,Wang, J.L.,Wang, S.S., Gong, Y.W., 2015. Explanation of Sponge City development technical guide: basic concepts and comprehensive goals. China Water Wastewater 31(8), 1-5.

Chen, Y., 2016. Research on the urban planning strategy from the perspective of Sponge City. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação E12, 283-294.

Chui, T.F.M., Liu, X., Zhan, W., 2016. Assessing cost-effectiveness of specific LID practice designs in response to large storm events. J. Hydrol. 533, 353-364.

Cun, C., Zhang, W., Che, W., Sun, H., 2019. Review of urban drainage and stormwater management in ancient China. Landscape Urban Plan. 190, 103600

De Feo, G., Antoniou, G., Fardin, H.F., El–Gohary, F., Zheng, X.Y., Reklaityte, I., Angelakis, A.N., 2014. The historical development of sewers worldwide. Sustainability 6(6), 3936-3974.

Denjean, B., Altamirano, M.A., Graveline, N., Giordano, R., Van der Keur, P., Moncoulon, D., Mulligan, M., 2017. Natural Assurance Scheme: A level playing field framework for Green-Grey infrastructure development. Environ. Research. 159, 24-38.

Embassy of the Kingdom of the Netherlands, I and M department., 2016. Factsheet Sponge City Construction in China.

Fan, H., 2008. Ecological wisdom of technology and ethics. J. Jiangsu. Adm. Inst. 40, 17-23.

Fang, C., Jia, Y.M., Ke, Z.Q., Ge, H.G., Lu, Y., Wang, H.B., 2002. Electromagneticdetention of ancient underground irrigation and drainage system in urbanrainfall flood utilization. Hydropower Aut. Dam Monitor. 26, 37-41 (in Chinese).

Feliciotti, A., Romice, O., Porta, S., 2017. Design for change: Five proxies for resilience in the urban form. Open House Int. 41(4), 23-30.
Fletcher, T.D., Shuster, W., Hunt, W.F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., 2015. SUDS LID BMPs WSUD and more-the evolution and application ofterminology surrounding urban drainage. Urban Water J. 12 (7), 525-542.
Fu, X., Wang, X., Schock, C., Stuckert, T., 2016. Ecological wisdom as benchmark in planning and design. Landscape Urban Plan. 155, 79-90.
Gugerell, S.H., Riffert, F., 2011. On defining wisdom: Baltes, Ardelt, Ryan, and Whitehead. Interchange 42(3), 225-259
Guo, J.C., 2017. Urban flood mitigation and stormwater management. Boca Raton: CRC Press.
Hu, M., Zhang, X., Siu, Y., Li, Y., Tanaka, K., Yang, H., Xu, Y., 2018. Flood mitigation by permeable pavements in Chinese Sponge City construction. Water 10(2).
Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn, A., 2017. Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: Linkages between science, policy and practice: Springer Nature.
Lai, N.N., Shen, F., Song, K., 2003. The water collecting principle of Tuanchengancient seepage pit of Beihai park and its possible application in garden design. Beijing Garden 4, 16-24 (in Chinese).
Leng, L., Mao, X., Jia, H., Xu, T., Chen, A.S., Yin, D., Fu, G., 2020. Performance assessment of coupled green-grey-blue systems for Sponge City construction. Sci. Total Environ. 728, 138608.
Li, L., Uyttenhove, P., Van Eetvelde, V., 2020. Planning green infrastructure to mitigate urban surface water flooding risk–A methodology to identify priority areas applied in the city of Ghent. Landscape Urban Plan. 194, 103703.
Li, Z., Dong, M., Wong, T., Wang, J., Kumar, A., Singh, R., 2018. Objectives and indexes for implementation of sponge cities-a case study of Changzhou City, China. Water 10(5), 623.
Li, Z., Xu, S., Yao, L., 2018. A systematic literature mining of sponge city: trends, foci and challenges standing ahead. Sustain. 10(4), 1182.
Li, H., Ding, L., Ren, M., Li, C., Wang, H., 2017. Sponge city construction in China: a survey of the challenges and opportunities. J. Urban Water Cycle Model. Manage. MDPI. 9(9), 594.
Li, X., Li, J., Fang, X., Gong, Y., Wang, W., 2016. Case studies of the sponge city program in China. World Environ. Water Resou. Congress, 295-308.
Li, C., 2012. Ecohydrology and good urban design for urban storm water-loggingin Beijing, China. Ecohydrol. Hydrobiol. 12(4), 287-300.
Liao, K.,Tuan, L., Nguyen, K., 2016. Urban design principles for flood resilience: Learning from the ecological wisdom of living with floods in the Vietnamese Mekong Delta. Landscape Urban Plan. 155, 69-78.
Liu, G., Chen, L., Wang,W., Sun,C., Shen, Z., 2020. A water quality management methodology for optimizing best management practices considering changes in long-term efficiency. Sci. Total Environ. 725 (2020) 138091.
Liu, L., Jensen, M.B., 2018. Green infrastructure for sustainable urban water management: Practices of five forerunner cities. Cities. 74, 126-133.
Liu, C.Y., 1994. Heavenly wells' in Ming Dynasty Huizhou architecture. Orientations. 25(1), 28-36.
Mao, X., Jia, H., Yu, S.L., 2017. Assessing the ecological benefits of aggregate LID-BMPs through modelling. Ecol. Model. 353, 139-149.
May, T., Perry, B., 2018. Cities and the knowledge economy: Promise, politics and possibilities. London: Routledge Earthscan.
Megdiche-Kharrat, F., Moussa, M., Rejeb, H., 2017. Aflaj'Water Management in Oman: the case of Falaj Al-Khatmeen in Birkat Al-Mouz, Wilayat Nizwa. In Water and Land Security in Drylands, 119-128, Springer.
Mehaffy, M.W., Salingaros, N.A., 2015. Design for a living planet: Settlement, science, and the human future. Portland: Sustasis Press.
Morris, R.L., Konlechner, T.M., Ghisalberti, M., Swearer, S.E., 2018. From grey to green: efficacy of eco-engineering solutions for nature-based coastal defence. Global Change Biol. 24, 1827-1842.
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. J. Environ. Manage. 253, 109689.
Nguyen, T.T., Ngo, H.H., Guo, W., Wang, X.C., Ren, N., Li, G., Liang, H., 2019. Implementation of a specific urban water management-Sponge City. Sci. Total Environ. 652, 147-162.
Pahl-Wostl, C., Craps, M., Dewulf, A., Mostert, E., Tabara, D., Taillieu, T., 2007. Social learning and water resources management. Ecol. Soci. 12(2).
Patten, D.T., 2016. The role of ecological wisdom in managing for sustainable interdependent urban and natural ecosystems**.** Landscape Urban Plan. 155, 3-10.

Radaei, M., Salehi, E., Faryadi, S., Masnavi, M.R., Zebardast, L., 2021. Ecological wisdom, a social–ecological approach to environmental planning with an emphasis on water resources: the case of Qanat Hydraulic Structure (QHS) in a desert city of Iran. Environ, Develop Sustain. 23(7), 10490-10511.

Roggema, R., Vermeend, T., Van den Dobbelsteen, A., 2012. Incremental change, transition or transformation? Optimising change pathways for climate adaptation in spatial planning. Sustain. 4(10), 2525-2549.

Salat, S., Bourdic, L., 2012. Systemic resilience of complex urban systems. TeMATrimestrale del Laboratorio Territorio Mobilità e Ambiente-TeMALab, 5(2), 55-68.

Schwartz, B., Sharpe, K., 2010. Practical wisdom-the right way to do the right thing. Riverhead Books, New York.

Shan, D., 2011. Chinese vernacular dwellings. Cambridge: Cambridge University Press.

Thomas, G.B., Crawford, D., 2011. London Tideway Tunnels: tackling London's Victorian legacy of combined sewer overflows, Water Sci. Technol. 63,v80-87.

Sharifi, A., Yamagata, Y., 2016. On the suitability of assessment tools for guiding communities towards disaster resilience. Int. J. Disaster Risk Reduc. 18, 115-124.

Suáreza, D., Weidendorfera, J., Helfersb, T., Bretzb, D., Utzmannc, J., 2016. Space Debris Detection on the HPDP, A Coarse-Grained Reconfigurable Array Architecture for Space. ESA DSP Day, 71.

Thakur, R., Rane, A.V., Harris, G., Thakur, S., 2020. Future prospective and possible management of water resources in respect to indigenous technical knowledge in South Africa. In Water Conservation Wastewater Treatment in BRICS Nations, Elsevier.

Todeschini, S., Papiri, S., Ciaponi, C., 2012. Performance of stormwater detentiontanks for urban drainage systems in northern Italy. J. Environ. Manage 101, 33-45.

USEPA., 2000. Low impact development a literature review, EPA-841-B-00-005.Washington, DC: Office Water (4230), 20460.

Wang, J., Xu, C., Pauleit, S., Kindler, A., Banzhaf, E., 2019. Spatial patterns of urban green infrastructure for equity: A novel exploration. J. Cleaner Produc. 238, 117858.

Wang, H., Mei, C., Liu, J.H., Shao, W.W., 2018. A new strategy for integrated urban water management in China: Sponge city. Sci. China Technol. Sci. 61(3), 317-329.

Wang, X., Palazzo, D., Carper, M., 2016. Ecological wisdom as an emerging field of scholarly inquiry in urban planning and design. Landscape Urban Plan. 155,100-107.

Wang, L., Zhang, H., Fang, J., 2005. Phytoplankton investigation and water quality evaluation in Hongcun hydraulic engineering of Yixian. J. Biology. 03, 30-32 (in Chinese).

World Bank., 2009. World development report 2010: Development and climate change: The World Bank.

Wu, Y., 2015. Sponge city design: concept, technology and case study. Phoenix Science Press, Jiangsu.

WWAP (World Water Assessment Program)., 2018. The united nations world water development report 2018: Nature-Based Solutions for Water. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.

Xia, J., Zhang, Y.Y., Xiong, L.H., He, S., Wang, L.F., Yu, Z.B., 2017. Opportunities and challenges of the Sponge City construction related to urban water issues in China. Sci. China Earth Sci. 60, 652-658.

Xiang, W.N., 2016. Ecophronesis: The ecological practical wisdom for and from ecological practice. Landscape Urban Plan. 155, 53-60.

Yan, W., Xiang, W., Yuan, L., 2017. Exploring ecological wisdom of traditional human settlements in a World Cultural Heritage area: a case study of Dujiangyan irrigation area, Sichuan Province, China. Urban Plan. Int. 32(4), 1-9 .

Young, R.F., 2016. Modernity, postmodernity, and ecological wisdom: Toward a new framework for landscape and urban planning. Landscape Urban Plan. 155, 91-99.

Yu, W., Li, S., Tian, J., 2007. Investigations of ancient drainage system in China. China Water Resour. 04 51-53 (in Chinese).

Zhang, P., Yang, Y., Chen, L., Xie, H., Shen, Z., 2020. Applying copulas to predict the multivariate reduction effect of best management practices, J. Environ. Manag. 267, 110641.

Zhang, W., Che, W., 2016. Connotation and multi-angle analysis of sponge city construction. J. Water Resour. Prot. 32(6).

Zhang, L., Yang, Z., Voinov, A., Gao, S., 2016. Nature–inspired stormwater management practice: The ecological wisdom underlying the Tuanchen drainage system in Beijing, China and its contemporary relevance. Landscape Urban Plan. 155, 11-20.

Zheng, S., Han, B., Wang, D., Ouyang, Z., 2018. Ecological wisdom and inspiration underlying the planning and construction of ancient human settlements: case study of Hongcun UNESCO World Heritage Site in China. Sustain. 10(5), 1-19.