University of Guilan

Urban Planning Knowledge

ISSN: 2645-5412

Urban Development and Groundwater Depletion with Emphasis on Water-Sensitive Urban Design Approach

Hoda Sharifian[1], Mostafa behzadfar[2*] and Mohsen Faizi[3]

[1.] Ph.D. Candidate, Urban Planning & Design, Faculty of Architecture and Environmental Design, University of Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
[2.] Professor, Department of Urban Planning & Design, Faculty of Architecture and Environmental Design, University of Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
[3.] Professor, Department of Urban Planning & Design, Faculty of Architecture and Environmental Design, University of Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

* Corresponding Author, behzadfar@iust.ac.ir

ARTICLE INFO

UPK, 2022
VOL. 6, Issue 1, PP, 139-155
Received: 9 May 2021
Accepted: 20 Jul 2022
Research article

KEYWORDS: Water-sensitive urban design; Aquifer drop; Land subsidence; Physical-behavioral simulation

ABSTRACT

Introduction: Water is the largest resource entering the cities, and the water cycle, as the central part of nature located in urban geography, received the most impact from urbanization among other natural resources. Due to the growth and development of cities and the corresponding increase in water demand, water resources' quantitative and qualitative degradation has intensified besides the Impenetrability of the urban area. One of the most critical problems caused by water shortage in urban areas, especially groundwater depletion, has caused problems such as land subsidence. Therefore, it is necessary to use an approach commensurate with urban development to deal with declining aquifers. Given the many problems associated with groundwater problems in arid and semi-arid countries and the importance of conserving these vital resources, this study aims to use an approach based on water-sensitive urban design to control aquifer declines in urban areas. In this research, an attempt has been made to use the water-sensitive urban design approach to reduce the effects of urban development and related problems, such as reducing the permeability of the land surface.

Methodology: First, the study area should be investigated to understand the main problems related to water resources management and engineering. Then, some of the most important tools for managing and improving the investigated water resources engineering and management problems should be identified. In addition, the effectiveness of these methods in solving the problem should be evaluated. Then its results will be presented on the solution to the investigated problem. In this paper, using a physical-behavioral simulation in an urban environment, tools based on water-sensitive urban design, such as permeable asphalt, wetlands, and rubber dams, will recharge the aquifer in an urban area and increase land permeability. The quantitative status of the aquifer in the west of Tehran has been studied as a case study.

Results: The current development of Tehran and the decline of the aquifer level at the current rate will create serious issues for the aquifer. Due to water extraction for various uses in the western part of Tehran and the impermeability of urban lands, the application of water-sensitive urban design tools can be effective in controlling aquifer decline in the study area. In this study, the results are presented in three main forms, namely 1- the continuation of the current condition without any recharge of

Cite this article: Sharifian, H., Behzadfar, M. & Faizi, M. (1401). Urban development and groundwater depletion with emphasis on water-sensitive urban design approach. *Urban Planning Knowledge*, 6(1), 139-155.
Doi: https://dx.doi.org/10.22124/UPK.2022.19578.1639

University of Guilan

Urban Planning Knowledge

ISSN: 2645-5412

the groundwater; 2- recharge of the groundwater using WSUD-based tools; 2- recharge of the groundwater simultaneously using WSUD-based tools and wastewater. The permeable asphalt, wetlands, and rubber dams are the main WSUD-Based tools for groundwater recharge. According to the wastewater results, it is necessary to use wastewater and WSUD-based tools to recharge groundwater.

Discussion: Given the inevitable effects of urban development on water resources, there is a need to change the approach in urban planning to maintain the urban water cycle. This condition is even more important in urban areas located in arid and semi-arid regions. This study aims to present and clarify the consideration and role of WSUD-based tools in urban areas for controlling groundwater depletion. Hence and first of all, the condition of this problem is identified and presented. After then, three main WSUD-based tools are considered that can help improve the permeability of the study area. These tools are selected depending on the characteristics of the study area and its conditions. The results of using WSUD-Based tools are shown in the form of some graphs, which indicates its role in improving groundwater depletion in this area.

Conclusion: The management of groundwater water resources has special conditions in Iran, as due to the ease of accessibility and the scale of the groundwater compared to other natural resources, some serious problems have emerged. Supplying about 36% of drinking water and about 42% of agricultural water, groundwater is a very important freshwater resource in the world. Besides the importance of groundwater depletion in any area, in urban regions, groundwater management has a more significant impact on the urban infrastructures. In any region, groundwater depletion can cause land subsidence, and in urban areas, this land subsidence can also affect buildings and structures. Hence, beyond the problems related to the lack of water for industrial, agricultural, and even drinking needs, land subsidence from groundwater depletion can cause problems for urban infrastructures in urban areas. This paper presents a new water-sensitive urban design-based approach to deal with a severe and dramatic water resource management problem in urban areas affected by urbanization. The proposed method is effective in controlling groundwater depletion from the perspective of water-sensitive urban design, but due to the current water consumption in this area and conditions related to land subsidence, it is necessary to use non-structural approaches along with structural approaches. It should be noted that in the continuation of the current research, two more actions should be taken, the first step is to use a pilot to test the effectiveness of the described methods on the ground, and the other step is to review and estimate the financial conditions of the presented tools to identify the most optimal approaches in the implementation of the proposed methods.

Highlights:

Considering the unavoidable effects of urban development on water resources, there is a need to change the approach in urban planning to maintain the urban water cycle. This is more important in urban areas located in arid and semi-arid regions.

In this research, a new and comprehensive algorithm was presented in the use of water-sensitive urban design tools in the face of a serious problem related to urban development in the field of aquifer drop and land subsidence.

UPK
شاپا: ۲۶۴۵-۵۴۱۲

توسعه شهری و افت تراز آب در آبخوان‌ها با تأکید بر رویکرد طراحی شهری حساس به آب[1]

هدی شریفیان[1]، مصطفی بهزادفر[2]* و محسن فیضی[3]
۱. دانشجوی دکتری، شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
۲. استاد، گروه شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
۳. استاد، گروه شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
* نویسنده مسئول: behzadfar@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله

***دانش شهرسازی*، ۱۴۰۱**
دوره ۶، شماره ۱، صفحات ۱۵۵-۱۳۹
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹
مقاله پژوهشی

کلید واژه‌ها: طراحی شهری حساس به آب، افت آبخوان؛ فرونشست زمین؛ شبیه‌سازی فیزیکی-رفتاری

چکیده

بیان مسئله: آب، پرحجم‌ترین کالای ورودی به شهرها است. چرخه آبی به‌عنوان بخشی از طبیعت واقع در جغرافیای شهری، تأثیرات بسیاری را از توسعه شهری می‌پذیرد. با توجه به رشد و توسعه شهرها و افزایش نیاز آبی متناسب با آن، افت کمی و کیفی منابع آبی شدت بیشتری گرفته است. از نتایج توسعه شهری غیرقابل نفوذ نمودن سطوح در مناطق شهری همزمان با برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. این مساله منجر به مشکلاتی همانند فرونشست زمین شده‌است.

هدف: نظر به مشکلات عدیده مرتبط با آب زیرزمینی در کشورهای خشک و نیمه‌خشک و اهمیت حفظ و کنترل این منابع حیاتی، هدف از این پژوهش استفاده از رویکرد مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب برای کنترل افت تراز آبخوان در محدوده‌های شهری است.

روش: با استفاده از یک شبیه‌سازی فیزیکی-رفتاری در یک محیط شهری از ابزارهای مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب همانند آسفالت نفوذپذیر، تالاب مصنوعی و سدهای لاستیکی برای تغذیه آبخوان در یک محدوده شهری و افزایش نفوذپذیری زمین استفاده شد. وضعیت کمی آبخوان کن در غرب تهران به‌عنوان مطالعه موردی مطالعه گردید.

یافته‌ها: توسعه فعلی شهر تهران و افت تراز آبخوان با شرایط فعلی مشکلات جدی را برای آبخوان ایجاد خواهد کرد. با توجه به برداشت‌های آب برای کاربری‌های متنوع در محدوده مطالعاتی غرب تهران و نفوذناپذیر شدن اراضی شهری، استفاده از ابزار طراحی شهری حساس به آب می‌تواند برای کنترل افت آبخوان در محدوده مطالعاتی مؤثر باشد.

نتیجه‌گیری: روش ارائه شده از منظر طراحی شهری حساس به آب در کنترل افت تراز آب زیرزمینی مؤثر بوده ولیکن با توجه به مصارف آبی در این محدوده و شرایط مرتبط با فرونشست زمین به دلیل افت تراز آبخوان، استفاده از رویکردهای غیرسازه‌ای در کنار رویکردهای سازه‌ای ضروری می‌باشد.

نکات برجسته:

نظر به تأثیرات غیرقابل‌اجتناب توسعه شهری بر منابع آبی، به تغییر رویکرد در شهرسازی برای حفظ چرخه آب شهری نیاز است. این امر در نقاط شهری واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای اهمیت بیشتری است.

در این پژوهش الگوریتمی نوین و جامع در استفاده از ابزار طراحی شهری حساس به آب در مواجه با یک مشکل جدی مرتبط با توسعه شهری در زمینه افت آبخوان و فرونشست زمین، ارائه گردید.

[1] این مقاله مستخرج از رساله دکتری است.

ارجاع به این مقاله: شریفیان، هدی، بهزادفر، مصطفی و فیضی، محسن. (۱۴۰۱). توسعه شهری و افت تراز آب در آبخوان‌ها با تأکید بر رویکرد طراحی شهری حساس به آب. *دانش شهرسازی*، ۶(۱)، ۱۵۵-۱۳۹. Doi: https://dx.doi.org/10.22124/UPK.2022.19578.1639

بیان مسئله

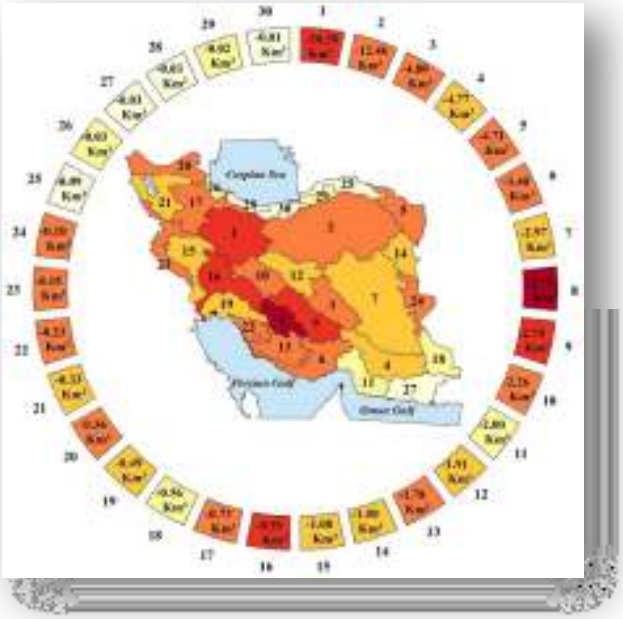
به دلایلی همانند: حساسیت بالای کیفیت آب در محدوده‌های شهری، حجم قابل‌توجه پساب تولیدی، جمعیت درگیر با منبع آبی، خطرات بالای مشکلات ناشی از مسائل منابع آب همانند خشک‌سالی و سیل، تخریب کمی و کیفی منابع آبی و نقش شهرها در ایجاد جزایر گرمایی، مطالعه و بررسی منابع آب در محدوده‌های شهری و چرخه آب شهری دارای اهمیت است.

علی‌رغم اهمیت بالای چرخه آب در محدوده‌های شهری، عمدتاً این مسئله در رویکردهای توسعه شهرسازی مورد غفلت واقع شده‌است. این مسئله در جغرافیای شهری همراه با غیرقابل نفوذ نمودن اغلب سطوح و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، منجر به فرونشست زمین و کمبود جدی در منابع آب زیرزمینی در کشورهای خشک و نیمه‌خشک همانند ایران شده است. این در حالی است که ۳۶ درصد منابع آب شرب و ۴۲ درصد از منابع آب کشاورزی به منابع آب زیرزمینی وابسته است (اشرف، ناظمی و آقاکوچک[1]، ۲۰۲۱)، این وابستگی در نواحی خشک و نیمه‌خشک و دارای تراکم جمعیتی بالا بیشتر است (سوتر، روحی‌راد، مانینگ، گوئمانز و ساندرسان[2]، ۲۰۲۱؛ پراساد و رائو[3]، ۲۰۱۸). با توسعه فعالیت‌های انسانی در سال‌های اخیر و تغییرات آب و هوایی استرس و فشار بر منابع آبی افزایش یافته است (اشرف و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین برداشت از منابع آب زیرزمینی به دلیل افزایش جمعیت بیشتر شده است (دی‌گرف، گلیسان، ون‌بیک، سوتانودجاجا و بیرکنز[4]، ۲۰۱۹). بر اساس میانگین سطح آب زیرزمینی تخمین زده‌شده در مقیاس حوضه، آب‌های زیرزمینی ایران طی سال‌های ۲۰۰۲–۲۰۱۵ حدود ۷۴ کیلومتر مکعب تخلیه‌شده که به تفکیک حوضه‌های آبریز در شکل ۱ نمایش داده‌شده است (اشرف و همکاران، ۲۰۲۱). شهرنشینی نیز با تغییر کاربری اراضی، افزایش نیاز آبی در جغرافیایی محدود و غیرقابل نفوذ نمودن سطح زمین افت تراز آبخوان را تشدید می‌کند. آبخوان‌های کمی در ایران هستند که دچار مشکل افت تراز آبخوان نشده و تحت تنش قرار نگرفته باشند. بیشترین میزان افت تراز آب در آبخوان حوضه دریاچه نمک در نواحی مرکزی ایران و نزدیک به شهر تهران است (اشرف و همکاران، ۲۰۲۱).

یکی از مهم‌ترین مشکلات ناشی از افت تراز آبخوان‌ها، فرونشست زمین است. حداقل ۲۵٪ از جمعیت ایران در مناطقی زندگی می‌کنند که فرونشست به دلیل کاهش چشمگیر ذخایر آب زیرزمینی، حتی در عرض چند سال امکان رسیدن به یک متر را دارد (موتاق[5]، ۲۰۰۸؛ اشرف و همکاران، ۲۰۲۱). یکی از مناطقی که با مشکل فرونشست زمین ناشی از برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی مواجه است، منطقه حوضه آبریز دریاچه نمک است که دارای بیشترین افت در بین دیگر نواحی در ایران است (عدالت، خداپرست و رجبی[6]، ۲۰۲۰؛ حق‌شناس حقیقی و موتاق[7]، ۲۰۱۹). با توجه به اینکه مناطقی با نرخ قابل‌توجه فرونشست زمین، محل اجتماعات بزرگی مانند تهران، پایتخت ایران و پرجمعیت‌ترین شهر در غرب آسیا است، این مسئله نگران‌کننده‌تر می‌شود (اشرف و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین تهران به دلیل پتانسیل بالا برای فعالیت‌های تکتونیکی در معرض خطرات لرزه‌ای نیز قرار دارد (موتاق، ۲۰۰۸)، اگر کاهش قابل‌توجهی در ثبات خاک به دلیل نشست زمین ناشی از اضافه برداشت آب زیرزمینی ایجاد شود، می‌تواند خطرات جدی به همراه داشته باشد.

---

[1] Ashraf, Nazemi & Aghakouchak
[2] Suter, Rouhi Rad, Manning, Goemans, & Sanderson
[3] Prasad, & Rao
[4] de Graaf, Gleeson, van Beek, Sutanudjaja, & Bierkens
[5] Motagh
[6] Edalat, Khodaparast, & Rajabi
[7] Haghshenas Haghighi, & Motagh



شکل ۱. میزان افت آب زیرزمینی در نواحی مختلف ایران بین سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۵، حوضه آبریز دریاچه نمک (شماره ۱) دربرگیرنده شهر تهران و دارای بیشترین فرونشست زمین است.
برگرفته از: اشرف و همکاران، ۲۰۲۱

نظر به موارد بیان شده و این‌که فرونشست زمین به علت برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی یک مشکل جهانی است (محمودپور[1] و همکاران، ۲۰۱۳) بررسی آن از منظر شهرسازی دارای اهمیت است. لذا، استفاده از یک رویکرد یکپارچه در مواجهه با جنبه‌های مختلف آب شهری ضروری است و باید در پژوهش‌ها مطالعاتی شهرسازی بیشتر به آن پرداخته شود.

پیشینه پژوهش

در این پژوهش باتوجه به مشکلات و معضلات ذکر شده برای منابع آب به‌ویژه در محدوده‌های شهری و پرجمعیت، از ابزار طراحی شهری حساس به آب برای کنترل و حفظ چرخش آب در جغرافیای شهری استفاده شد. طراحی شهری حساس به آب و ابزارهای وابسته به آن یکی از مهم‌ترین راه‌حل‌ها در کنترل افت تراز آب در آبخوان‌ها بخصوص در مناطق و نواحی خشک و نیمه‌خشک است. روش‌های مختلفی برای سازگار نمودن توسعه شهری با جغرافیایی طبیعی اطراف آن ارائه شده است. بستر جغرافیایی که شهرها در آن قرار دارند، مهم‌ترین دلیل برای تفاوت روش‌های ارائه شده است. در این بخش برخی از مهم‌ترین روش‌های ارائه شده برای تطبیق توسعه شهری با جغرافیای طبیعی دربرگیرنده آن ارائه شده و در انتها خاستگاه و مطالعات پیشین مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب بررسی خواهد شد.

رویکردهای مختلفی برای در برگرفتن موضوعات منابع آب و چرخه منابع آب طبیعی در بستر توسعه شهری پیشنهاد شده‌اند. برخی از این رویکردها، مبتنی سیستم‌های زه‌کشی پایدار هستند که در آن‌ها سیستم‌های زه‌کشی رواناب، به‌طور سنتی برای تأمین استانداردهای طراحی رواناب و دوره‌های بازگشت سیل طراحی می‌شوند تا جریان و چرخه آب شهری را تأمین کنند (باتلر و دیویس[2]، ۲۰۱۱؛ ونگ، سویت‌اپل، فرمانی، فو و باتلر[3]، ۲۰۱۷). شیوه‌های توسعه کم‌اثر[4] نیز یکی دیگر از رهیافت‌های ارائه شده برای کاهش اثرات توسعه به‌ویژه در محیط‌های شهری است. هر، جئونگ، آرنولد، گوسلینک و گلیک[5] (۲۰۱۷) از رهیافت شیوه‌های

[1] Mahmoudpour
[2] Butler & Davies
[3] Wang, Sweetapple, Farmani, Fu & Butler
[4] Low-impact development practices
[5] Her, Jeong, Arnold, Gosselink & Glick

توسعه کم‌اثر برای کاهش رواناب سطحی در سطح منبع که منجر به کاهش سرعت، طولانی شدن زمان سفر رواناب پایین‌دست و سپس کاهش بار آلاینده به محدوده‌های پایین‌دست می‌گردد، استفاده کردند.

هدف از فن‌آوری‌های مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب مدیریت پایدار چرخه آب در محیط‌های شهری است تا اثرات توسعه شهری بر محیط هیدرولوژیکی را به حداقل برساند (احمد[۱]، ۲۰۱۷). طبق گفته بیچام[۲] (۲۰۰۳) فن‌آوری‌های طراحی شهری حساس به آب شامل سیستم‌های نفوذ[۳] به آب زیرزمینی، حوضه‌های نگهداری بیولوژیکی[۴]، فیلترهای گیاهی و زیستی[5]، فیلترهای شن و ماسه[۶]، آسفالت نفوذپذیر و متخلخل[۷]، تالاب‌های مصنوعی[۸]، نوارهای فیلتر گیاهی[۹] و مخازن جمع‌آوری آب باران[۱۰] است.

سیستم‌های که مبتنی بر افزایش نفوذ هستند می‌توانند در کنترل سیلاب موثر باشند. مطالعه‌ای که توسط یزدی و شولز[۱۱] (۲۰۰۸) در ادینبورگ انجام شد، ۷۳٪ کاهش میانگین حجم جریان و ۸۰٪ کاهش میانگین اوج جریان را با استفاده از سیستم‌های نفوذ مشاهده شده است.

بستر نفوذپذیر برای اولین بار در دهه ۱۹۷۰ در آمریکای شمالی برای بهبود ایمنی جاده‌ها در شرایط مرطوب ساخته شد (براون، چو، دوین و والئو[۱۲] (b) ۲۰۰۹؛ رانیری ، آنتوناچی ، ییینگ ، سانسالون [۱۳] ۲۰۱۰). درحال حاضر از ابزارهای توسعه داده شده در این حوزه برای کنترل رواناب، بارآلاینده و تغذیه آبخوان نیز استفاده می‌شود (فرنی، مانینا و ویویانی[۱۴] ۲۰۱۰؛ بیچام ، پززانیتی و کنداسامی[۱۵] ۲۰۱۲). خیابان‌های نفوذپذیر این امکان را می‌دهد تا بارندگی با شدتی نزدیک به ۱۰۰ میلی‌متر را نیز مدیریت کرد (هسیه و چن[۱۶] ۲۰۱۲).

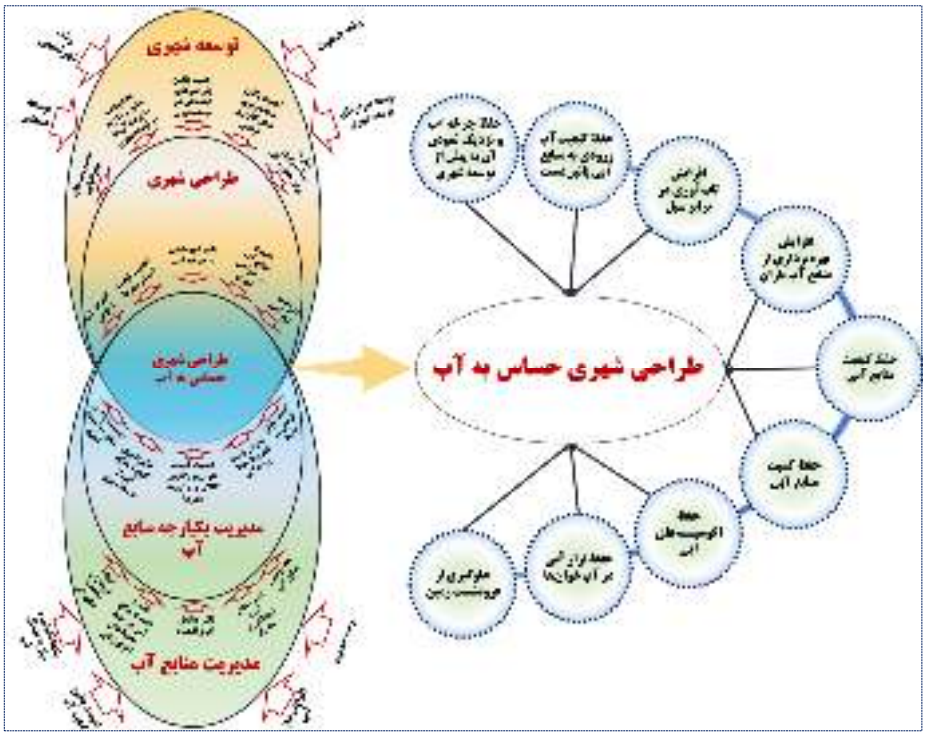
امامی اسکاردی، کراچیان و عبدالحی[۱۷] (۲۰۲۰) به بررسی منابع و مصارف آبی در محدوده شهر تهران پرداختند و با ارائه مدلی مبتنی بر شبیه‌سازی فیزیکی–رفتاری سعی نمودند دورنمایی از وضعیت مدیریت و مهندسی منابع آب در جغرافیایی شهری تهران ارائه نمایند. حساسیت‌های مدیریت منابع آب در یک محیط شهری و تنوع منابع و مصارف آبی درکنار حضور گرودارن متنوع در توسعه شهری مورد تأکید این پژوهش بوده است. همچنین در پژوهش دیگری توسط امامی اسکاردی، مومن‌زاده و کراچیان[۱۸] (۲۰۲۱) بر اهمیت بررسی و لحاظ نمودن پیوست‌های اجتماعی همانند یادگیری اجتماعی، تحلیل شبکه‌های اجتماعی و تحلیل گروداران در مدیریت و مهندسی منابع آب در یک محیط شهری تأکید شده است. دو پژوهش فوق می‌تواند در زمینه نحوه مدل‌سازی فیزیکی–رفتاری در یک محیط شهری و اهمیت ملاحظات اجتماعی در مدیریت آن به عنوان مراجع به‌روز و معتبر منظور شود.

در این پژوهش از ابزار طراحی شهری حساس به آب برای کنترل افت آب زیرزمینی در غرب تهران استفاده می‌شود. طراحی شهری حساس به آب، ابزارهای سازه‌ای متنوعی را در اختیار قرار می‌دهد که با توجه به موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی، منابع آبی حاضر در آن و کاربری اراضی در این محدوده، از سه ابزار آسفالت نفوذپذیر، سدهای لاستیکی و تالاب‌های مصنوعی استفاده خواهد شد که در بخش روش‌شناسی جزئیات استفاده از این ابزار بیان خواهد شد. در شکل ۲ زیر جنبه‌های مختلف طراحی شهری

---

1 Ahammed
2 Beecham
3 Infiltration systems
4 Bioretention basins
5 Vegetated and Bio-filtration swales
6 Sand filters
7 Permeable and Porous pavements
8 Constructed wetlands
9 Vegetated filter strips
10 Rainwater tanks
11 Yazdi & Scholz
12 Brown, Chu, Duin & Valeo
13 Ranieri, Antonacci, Ying & Sansalone
14 Freni, Mannina & Viviani
15 Beecham, Pezzaniti & Kandasamy
16 Hsieh & Chen
17 Emami-Skardi, Kerachian & Abdolhay
18 Emami-Skardi, Momenzadeh & Kerachian

حساس به آب و خواستگاه و ضرورت آن را مشاهده می‌کنید که البته باید بسته به نیاز و مشکل یک منطقه یا محدوده شهری مورد بررسی، بومی‌سازی شود و بهترین گزینه و راهبرد انتخاب شود.



شکل ۲. ضرورت، خاستگاه و جنبه‌های مختلف استفاده از طراحی شهری حساس به آب در یک محدوده شهری

روش پژوهش

همان‌طور که بیان شد، هدف از این پژوهش، استفاده از رهیافت طراحی شهری حساس به آب برای کنترل افت تراز آبخوان در محدوده غرب تهران است. برای شبیه‌سازی هرچه جامع‌تر حوضه آبریز موردمطالعه، از یک مدل فیزیکی–رفتاری استفاده شد تا بتواند فرایندهای مرتبط با تغییرات هیدرولوژیکی و تأثیرات استفاده از رهیافت طراحی شهری حساس به آب را هرچه واقعی‌تر شبیه‌سازی کند. در شکل ۳ فلوچارت روش ارائه شده آورده شده است و جزئیات هر بخش نیز بیان شد.

دانش شهرسازی، دوره ٦، شماره ۱، ۱۵۵-۱۳۹، بهار ۱۴۰۱

شکل۳. مدل اجرایی روش ارائه شده در این پژوهش برای توسعه و استفاده از رهیافت طراحی شهری حساس به آب در یک محیط شهری

شناسایی سامانه

شناسایی سامانه و خصوصیات آن اولین گام در بررسی و مطالعه و درنهایت ارائه مدلی سازنده برای لحاظ نمودن ابزارهای طراحی شهری حساس به آب در یک جغرافیای شهری است. شناسایی جامع یک جغرافیای شهری شامل شناسایی گروداران حاضر در سامانه و منابع آب همراه با شبیه‌سازی فیزیکی فرایندهای مرتبط با آن می‌شود.

شناسایی فیزیکی

شناسایی فیزیکی یک سامانه شهری، اولین گام در شبیه‌سازی و گامی مهم در شناخت مهم‌ترین چالش‌ها و پیچیدگی‌های سامانه است. در اینجا اولین مرحله، تعیین و مشخص نمودن مرزهای جغرافیایی محیط مسئله است که در یک محیط شهری، به منابع آب موجود در سامانه و معیارهای اقتصادی، اجتماعی و سیاسی وابسته است. لذا مرزهای فیزیکی در محیط مسئله به

مشخصات هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژیکی، سیاسی یا ترکیبی از این موارد بستگی دارد (امامی اسکاردی، مومن‌زاده و کراچیان[1]، ۲۰۲۱). پس از مرحله فوق باید اطلاعات پایه‌ای و مورد نیاز برای شبیه‌سازی سامانه و بررسی کارایی ابزارهای مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب در محدوده مطالعاتی جمع‌آوری گردد. جمع‌آوری منابع آبی و مصارف آن از مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز برای جمع‌آوری اطلاعات پایه در یک محدوده شهری با کارایی متنوع است. بسته به نیاز مطالعات، این اطلاعات می‌تواند شامل داده‌های کمی و کیفی از محدوده مطالعاتی شود. در یک محیط شهری یا نزدیک و وابسته به یک جغرافیای شهری کاربرهای متنوعی شامل مواردی همانند مسکونی، صنعتی، فضای سبز، و حتی کشاورزی قابل شناسایی هستند. نیاز آبی هریک از کاربری‌ها باید در مصارف آبی دیده شود، یعنی نیاز آبی مرتبط با کاربری شهری تعیین کننده میزان مصرف آب برای آن کاربری است.

شناسایی مشکلات مرتبط با منابع آبی در جغرافیای شهری

دلیل و هدف از ارائه یک روش باید حل یا تلاش در جهت حل یک مسئله یا معضل آبی در یک محدوده و جغرافیای شهری باشد. مشکل یا معضل مورد بررسی، مهم‌ترین پارامتر در نوع ابزارهای مورد استفاده ذیل رهیافت طراحی شهری حساس به آب است. شناسایی مشکلات مرتبط با توسعه شهری برای منابع آبی در یک محدوده مطالعاتی می‌تواند از طریق مطالعه پژوهش‌های پیشین، بازدید از محدوده مطالعاتی و مصاحبه با افراد مطلع به دست آید. بسته به نوع مشکلات و معضلات شناسایی شده، می‌توان آن‌ها را در چند بخش یا دسته همانند مشکلات کیفی و کمی آب زیرزمینی و سطحی یا پساب دسته‌بندی نمود.

شناسایی گرودارن کلیدی

به اشخاص حقیقی و حقوقی تأثیرگذار و تأثیرپذیر در یک محیط، عامل یا گرودار می‌گویند. در یک محیط شهری گرودارن مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تغییرات مرتبط با منابع آبی هستند. شناسایی گرودارن مؤثر و رفتار آن‌ها می‌تواند به شبیه‌سازی جامع‌تر یک سامانه و برآورد میزان ورودی و خروجی آبی در آن کمک کند.

شبیه‌سازی رفتاری گرودارن در یک سامانه

در رویکرد مدل‌سازی چندعاملی، مدل‌سازی رفتار گرودارن و فرایندهای تصمیم‌گیری آن‌ها دارای بیشترین اهمیت در بررسی سامانه است. گرودارن با تصمیمات خود بر محیط و اقدامات دیگر گرودارن تأثیر گذاشته و از شرایط دریافتی از محیط و اقدامات دیگر عوامل تأثیر می‌پذیرند (امامی اسکاردی، ۱۳۹۹). مدل شبیه‌سازی رفتاری استفاده شده در این پژوهش مبتنی بر روش مدل‌سازی چندعاملی با محیط مشترک با رهیافت Q-Learning ارائه شده توسط امامی اسکاردی، کراچیان و عبدالحی (۲۰۲۰)، است که برای مطالعه بیشتر می‌توان به مرجع موردنظر رجوع نمود.

شبیه‌سازی منابع آبی موجود در سامانه

نیاز مطالعات و دقت آن تعیین کننده میزان دقت شبیه‌سازی فیزیکی محیط مسئله است. شبیه‌سازی فیزیک محیط مسئله شامل شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آبی و ارتباط آن‌ها با یکدیگر می‌شود. برای این منظور نیاز است تا خصوصیات هیدرولوژیکی منابع آبی در یک جغرافیای شهری شبیه‌سازی شود.

شبیه‌سازی آب زیرزمینی

در این پژوهش نظر به مهم‌ترین مشکل ذکر شده در محدوده مطالعاتی، شبیه‌سازی آب زیرزمینی دارای اهمیت بالایی است. در این پژوهش برای شبیه‌سازی کمی آبخوان، از رویکرد بیلان آب استفاده شده که برگرفته از مدل ارائه شده توسط امامی اسکاردی و همکاران (۲۰۲۰) است. در این مدل، آبخوان به نواحی مختلفی تقسیم گردید تا بتوان ضرایب هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در نقاط مختلف را به‌صورت موضعی لحاظ نمود و دقت محاسبات را افزایش داد. نواحی تفکیک شده آبخوان همانند مخازن آب به یکدیگر متصل هستند و با رابطه دارسی انتقال آب بین آن‌ها مطالعه و شبیه‌سازی خواهد شد. در مدل بیلان آب زیرزمینی، میزان تغذیه و برداشت در هر ناحیه آبخوان، انتقال و تبادل آب بین نواحی مختلف آبخوان و بین آبخوان با آبخوان‌های مجاور در هر گام

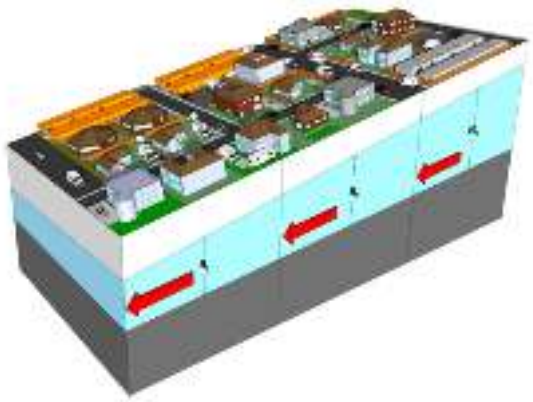
[1] Emami-Skardi, Momenzadeh & Kerachian

زمانی، ورودی‌های مدل هستند (امامی اسکاردی، ۱۳۹۹). وضعیت کمی آبخوان که با تراز آبی در آبخوان بیان می‌شود، خروجی مدل در هر ناحیه است. میزان انتقال آب بین هر دو جزء آبخوان از رابطه دارسی پیروی می‌کند که در معادله (۱) و (۲) بیان می‌شود.

$$Q = K \times i \times A \quad (۱)$$

$$i = \frac{dh}{dl} \quad (۲)$$

Q، K، i، A به ترتیب دبی انتقال آب، ضریب هدایت هیدرولیکی، گرادیان یا شیب هیدرولیکی و سطح مقطع عبور جریان هستند. مطابق مدل ارائه شده، مدل بیلان آب زیرزمینی به مدل شبیه‌سازی رفتاری متصل است و اثر رفتار و اقدامات گروداران را بر روی تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی می‌کند. در ادامه معادله بیلان کمی آب زیرزمینی برای یک آبخوان شیب‌دار که به چند منطقه تقسیم شده است، آورده شد. شکل ۴ نیز نمایش شماتیک تفکیک آبخوان‌ها به مناطق و نواحی مختلف برای شبیه‌سازی فیزیکی آن است.

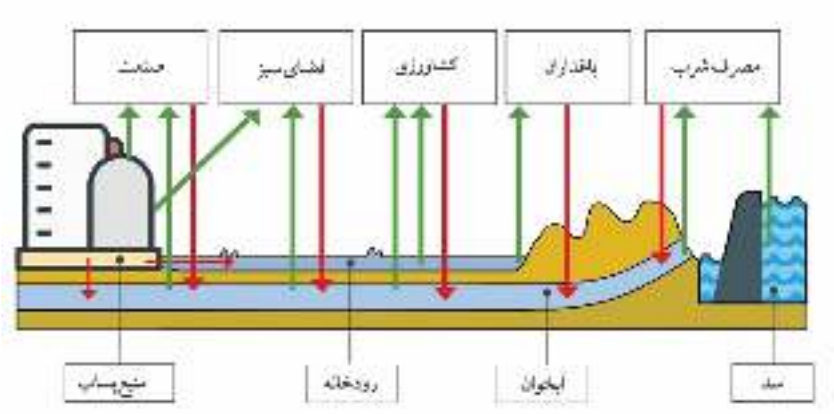


شکل ۴. نمای شماتیک یک آبخوان در یک محدوده شهری شیب‌دار با تفکیک به بخش‌های محلی برای افزایش دقت مطالعات
برگرفته از: عبدالحی ۱۳۹۷

$$B_{n,i+1} \times S_n \times A_n = B_{n,i} \times S_n \times A_n - Di_{T,n,i} + Re_{T,n,i} - Tr_{n,i} \quad (۳)$$

$B_{n,i+1}$ تراز آب در ناحیه n ام در انتهای گام زمانی i ام، $B_{n,i}$ تراز آبخوان ناحیه nام در ابتدای گام زمانی iام، S_n ضریب آبدهی ویژه آبخوان ناحیه n ام، A_n مساحت آبخوان ناحیه n ام، $Di_{T,n,i}$ مجموع برداشت آب از آبخوان در ناحیه n ام در طول گام زمانی i ام و $Re_{T,n,i}$ مجموع تغذیه آبخوان در ناحیه n ام در طول گام زمانی i ام هستند. اندیس T نشان‌دهنده مجموع برداشت یا تغذیه در آبخوان است. $Tr_{n,i}$ نشان‌دهنده جریان خروجی از ناحیه nام در گام زمانی iام در اثر انتقال آب بین نواحی مختلف است و بر مبنای رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

شکل شماتیک ۵ فرایندهای فیزیکی مرتبط با منابع آب در جغرافیای شهری را نمایش می‌دهد. همان‌طور که بیان شد، یک ناحیه شهری می‌تواند تنوعی از منابع و مصارف آبی را شامل شود که در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. شماتیک منابع آبی و مصارف در یک منطقه شهری
برگرفته از: عبدالحی ۱۳۹۷

$$V_{R,out,i} = V_{R,in,i} + Rws_i - Di_{BA,i} - Di_{FA,i} - Pe_i \quad (۴)$$

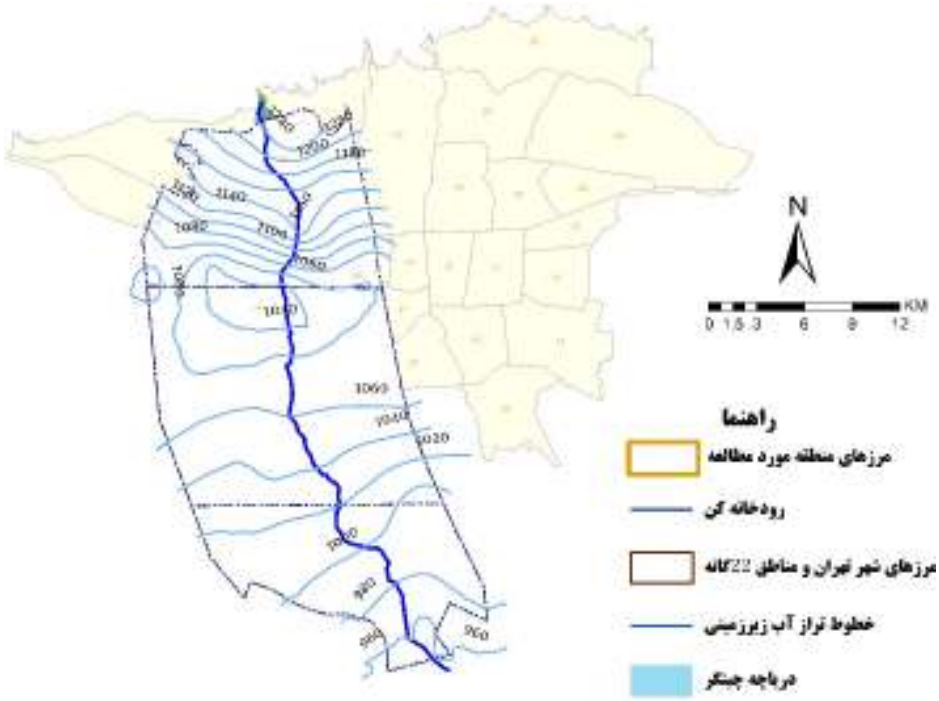
$$B_{i+1} \times S \times A_n = B_i \times S \times A_n - Di_{MU,i} - Di_{TP,i} - Di_{FA,i} - Di_{WO,i} + Re_{MU,i} + Re_{TP,i} + Re_{FA,i} + Re_{WO,i} + Re_{BA,i} + Rwg_i + Pe_i \quad (۵)$$

روابط (۴) و (۵) به ترتیب، بیلان آب رودخانه و بیلان آب آبخوان را نمایش می‌دهند. $V_{R,out,i}$ و $V_{R,in,i}$ به ترتیب حجم آب خروجی از بازه رودخانه در پایین‌دست و آورد آن در بالادست در گام زمانی iام هستند. $Di_{BA,i}$، $Di_{FA,i}$، Pe_i و Rws_i به ترتیب برداشت باغداران و کشاورزان از رودخانه و نفوذ از رودخانه به آب زیرزمینی و پساب انتقالی به رودخانه در گام زمانی iام را بیان می‌کنند. $Di_{MU,i}$، $Di_{TP,i}$، $Di_{FA,i}$ و $Di_{WO,i}$ به ترتیب برداشت آب برای فضای سبز، نیاز شرب، کشاورزان و صنایع در گام زمانی iام از آب زیرزمینی هستند. همچنین $Re_{MU,i}$، $Re_{TP,i}$، $Re_{FA,i}$، $Re_{WO,i}$ و $Re_{BA,i}$ نیز بیانگر آب بازگشتی از مصارف شهرداری، مصارف شرب، کشاورزی، صنایع و باغداران در گام زمانی iام هستند. همچنین Rwg_i پساب احتمالی انتقالی به چاه‌های تغذیه در گام زمانی iام است.

منطقه موردمطالعه

حوضه آبریز کن در غرب تهران به دلیل شرایط خاص در ایران و حتی خاورمیانه دارای شرایط ویژه‌ای است. از ویژگی‌های خاص این منطقه عبارت‌اند از: تنوع کاربری اراضی، انواع مختلف منابع و مصارف آبی، شرایط خاص افت تراز آبخوان در این محدوده مطالعاتی، وجود و توسعه دریاچه مصنوعی چیتگر در این محدوده، وجود یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های درون‌شهری به نام کن در این جغرافیا و تراکم جمعیتی و حجم پساب بالا در این محدوده. موقعیت جغرافیایی این محدوده مطالعاتی در شکل ۶ آورده شده است.

دانش شهرسازی، دوره ٦، شماره ۱، ۱۵۵-۱۳۹، بهار ۱۴۰۱



شکل ۶. محل دقیق حوضه موردمطالعه و موقعیت آن روی نقشه شهر تهران
برگرفته و ویرایش از: امامی-اسکاردی و همکاران، ۲۰۲۱

منطقه شهری موردمطالعه شامل ۵ منطقه شهری ۵، ۹، ۱۸، ۲۱ و ۲۲ تهران، بخشی از شهر اسلامشهر را شامل می‌شود. تراکم جمعیتی در این منطقه نیاز آبی شرب را به یک مصرف مهم تبدیل کرده است. دما و بارش از مهم‌ترین اطلاعات هواشناسی در بررسی یک حوضه آبریز از منظر هیدرولوژیکی هستند. در این منطقه، ایستگاه هواشناسی مهرآباد واقع شده است که از مهم‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی موجود در کشور است. از ایستگاه هواشناسی مهرآباد برای شبیه‌سازی فیزیکی حوضه موردمطالعه، اطلاعات کامل دما و بارش مربوط به این ایستگاه برای استفاده در مدل شبیه‌سازی فیزیکی استفاده شده است.

منابع آبی مهم در این محدوده مطالعاتی عبارت‌اند از:

- آب انتقالی از سدها: اغلب سدهای اطراف تهران برای تأمین آب شرب این شهر مورد استفاده قرار می‌گیرند. اطلاعات مرتبط با آب انتقالی تهران در جدول زیر نشان داده شده است. به‌طور ویژه یکی از اثرات گسترش شهرنشینی در اطراف تهران و در حوضه آبریز دریاچه نمک، انتقال منابع آبی اطراف شهر تهران برای مصارف شرب در تهران و تحت تأثیر قرار گرفتن حوضه‌های آبریز مجاور این شهر است.

جدول ۱
میزان آب تخصیص داده شده به مصرف شرب منطقه موردمطالعه برحسب میلیون مترمکعب از سدهای کرج و طالقان

سال	حجم آب	سال	حجم آب
۱۳۷۱	۹۹/۴۵	۱۳۸۴	۱۰۳/۲۲
۱۳۷۲	۱۰۰/۰۱	۱۳۸۵	۱۰۱/۶۳
۱۳۷۳	۹۲/۷۲	۱۳۸۶	۹۵/۱۱
۱۳۷۴	۹۶/۶۲	۱۳۸۷	۷۴/۰۷
۱۳۷۵	۹۷/۶۲	۱۳۸۸	۷۶/۵۸
۱۳۷۶	۸۶/۴۲	۱۳۸۹	۷۹/۸۱
۱۳۷۷	۹۹/۶۰	۱۳۹۰	۷۸/۲۸
۱۳۷۸	۸۳/۷۲	۱۳۹۱	۷۸/۰۵
۱۳۷۹	۸۷/۶۱	۱۳۹۲	۷۸/۷۳
۱۳۸۰	۷۱/۱۳	۱۳۹۳	۸۰/۹۷

۱۳۸۱	۹۷/۸۹	۱۳۹۴	۸۱/۰۸
۱۳۸۲	۱۰۱/۶۵	۱۳۹۵	۸۱/۲۸
۱۳۸۳	۱۰۱/۰۴		

برگرفته از: وب‌سایت سیستم اطلاعات سدهای مخزنی در حال بهره‌برداری، ۱۳۹۸

- رودخانه کن: کن پرآب‌ترین رودخانه شهر تهران واقع در غرب آن است. امامزاده داوود (ع) با ارتفاع ۳۸۲۲ متر در بالادست این رودخانه قرار دارد. در بالادست و طول مسیر این رودخانه چند ایستگاه آب‌سنجی قرار دارد. ایستگاه سولقان از ایستگاه‌های مهم اندازه‌گیری در مسیر رودخانه کن است. جدول زیر اطلاعات مربوط به ایستگاه سولقان را نشان می‌دهد. رودخانه کن از مهم‌ترین منابع آبی در این محدوده مطالعاتی برای تغذیه آبخوان می‌تواند باشد. در طول رودخانه کن برداشت‌های مختلفی برای مصارف متنوع صورت گرفته و این رودخانه محل دفع و ورود پساب و خروجی برخی صنایع، تصفیه‌خانه‌ها و رواناب شهری است.

جدول ۲

حجم آب سالیانه ورودی به رودخانه کن (اندازه‌گیری شده در ایستگاه سولقان) از سرشاخه‌های موجود برحسب میلیون مترمکعب

سال	حجم آب	سال	حجم آب
۱۳۷۱	۱۵۷/۲۴	۱۳۸۴	۷۷/۵۱
۱۳۷۲	۱۲۸/۱۰	۱۳۸۵	۸۳/۴۱
۱۳۷۳	۱۲۳/۳۶	۱۳۸۶	۹۰/۹۸
۱۳۷۴	۹۸/۷۹	۱۳۸۷	۲۷/۰۴
۱۳۷۵	۱۱۲/۱۶	۱۳۸۸	۷۷/۱۱
۱۳۷۶	۳۷/۳۶	۱۳۸۹	۶۴/۱۴
۱۳۷۷	۷۰/۲۷	۱۳۹۰	۷۸/۸۰
۱۳۷۸	۳۸/۰۰	۱۳۹۱	۱۰۸/۷۲
۱۳۷۹	۴۷/۳۰	۱۳۹۲	۴۰/۰۸
۱۳۸۰	۳۷/۵۵	۱۳۹۳	۳۷/۴۱
۱۳۸۱	۷۷/۱۴	۱۳۹۴	۸۲/۲۷
۱۳۸۲	۹۵/۱۵	۱۳۹۵	۵۸/۲۳
۱۳۸۳	۸۹/۸۶		

برگرفته از: شرکت آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۹۸

- آبخوان: آبخوان تهران همانند بسیاری از آبخوان‌ها در نواحی خشک و نیمه‌خشک، یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب است. برداشت بی‌رویه از این منبع آبی در شهر تهران موجب فرونشست زمین و مشکلات ناشی از آن برای شهر تهران شده است. آبخوان این منطقه در قسمت‌های شمالی برای شرب، فضای سبز و صنایع و در نواحی جنوبی برای کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. اطلاعات مرتبط با برداشت از آبخوان در این منطقه با فرونشست زمین ارتباط مستقیم دارد. در شکل ۶، تراز فعلی آبخوان در این ناحیه برگرفته از مطالعات اسکاردی و همکاران (۲۰۲۱) آورده شده است.
- پساب: حجم آب برگشتی یا پساب از دیگر منابع مهم آبی است که ضرورت مدیریت آن با توجه به اهمیت بازچرخانی آب بسیار بالا است. ازجمله مسائل مهم در این محدوده استفاده محدود از آب برای تغذیه آبخوان یا بهره‌برداری از آن برای مصارف دیگر همانند صنایع، فضای سبز و کشاورزی است.

مصارف آبی مهم در این محدوده نیز به شرح زیر است.

- مصرف‌کنندگان شهری: تنوع کاربری اراضی منجر به تعدد و تنوع مصارف آبی در این محدوده مطالعاتی شده است. مصرف‌کنندگان شهری در این محدوده مطالعاتی دارای بیشترین سهم آبی هستند. حجم زیادی از آب برای مصارف شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب، مسئولیت اصلی تأمین آب در این محدوده مطالعاتی را بر عهده دارند.

- مصرف‌کنندگان کشاورزی: در جنوب منطقه مورد بررسی، اراضی کشاورزی وجود دارند که بخشی زیادی از آب مورد نیاز برای آن‌ها از آبخوان تأمین می‌شود. همچنین برداشت از رودخانه کن و برداشت و استفاده از پساب نیز بخش دیگری از روش تأمین نیاز آبی کشاورزی است. سازمان جهاد کشاورزی را می‌توان مسئول یا نماینده کشاورزان در محدوده مطالعاتی دانست.
- مصارف صنعتی: این محدوده تهران ازجمله مناطق و نواحی مهم صنعتی در ایران است و صنایع بزرگ خودروسازی و برخی از صنایع مهم بهداشتی در این محدوده قرار دارند. وزارت صنعت و معدن متولی و مسئول توسعه صنایع در محدوده مطالعاتی است.
- مصارف فضای سبز: از مصارف مهم شهری در تهران برداشت آب برای فضایی سبز است. مسئولیت مدیریت و گسترش فضای سبز در این محدوده با شهرداری است.شهرداری متولی و مسئول توسعه فضای سبز در محدوده مطالعاتی است.
- باغات: باغات در بالادست رودخانه کن از نیازهای آبی هستند که مستقیم از رودخانه کن برداشت آب انجام می‌دهند.
- دریاچه چیتگر: دریاچه مصنوعی چیتگر از مصارف آبی ایجادشده برای نیازهای تفریحی در این محدوده مطالعاتی است که نحوه مدیریت و مصرف آب را به شکل خاصی تعریف می‌کند. جهاد کشاورزی مسئول تأمین آب برای نیاز آبی باغات است.

مصارف عمده آبی در محدوده موردمطالعه را برحسب منبع تأمین آب در وضعیت موجود در جدول زیر مشاهده می‌شود.

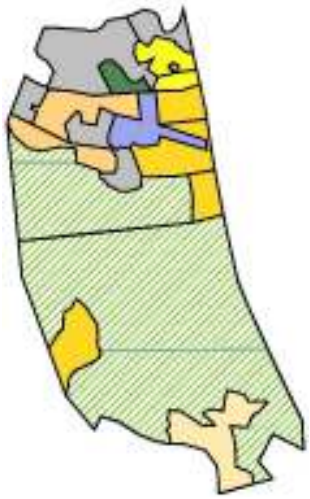
جدول ۳

منابع و مصارف آبی در محدوده مطالعاتی در وضع موجود

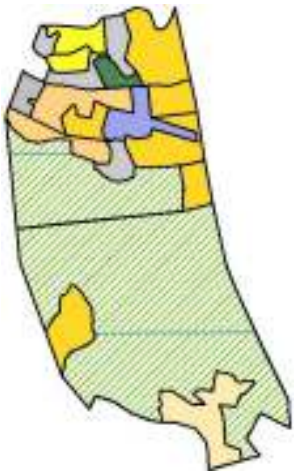
کاربری اراضی	تقاضایی آبی (میلیون مترمکعب)	منبع آبی	
		آب زیرزمینی (درصد)	آب سطحی (درصد)
مسکونی	۲۴۰	۶۷/۵	۳۲/۵
کشاورزی	۱۸۰	۲۵	۷۵
فضای سبز	۶۰	۱۰۰	۰
صنعتی	۲۰	۱۰۰	۰

برگرفته از امامی- اسکاردی و همکاران، (۲۰۲۱)

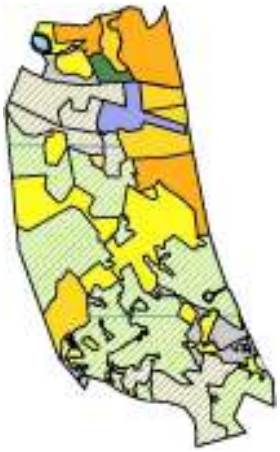
با توجه به شکل ۷ که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از گوگل ارث استخراج شده است، تغییرات و تنوع کاربری اراضی و مصارف آبی در این محدوده قابل توجه است، که مدیریت آن‌را با چالش‌های قابل‌توجهی همراه می‌کند. از این روی استفاده از رویکردهای مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب در عین حال که می‌تواند موجب برآورد نیازهای توسعه‌ای در این محدوده شود، می‌تواند به مدیریت بهتر منابع آبی همانند آب زیرزمینی و کاهش عوارض توسعه شهری کمک نماید.



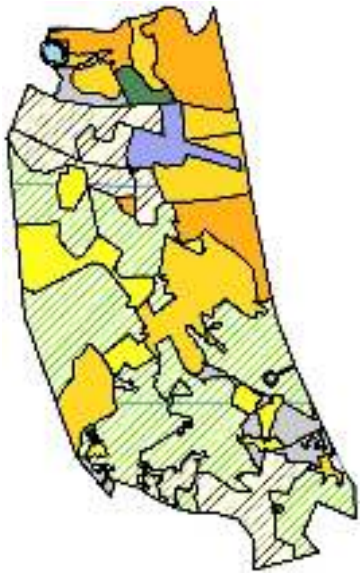
کاربری اراضی سال ۱۳۷۱



کاربری اراضی سال ۱۳۸۳



کاربری اراضی سال ۱۳۹۲



کاربری اراضی سال ۱۳۹۵

راهنما

شکل۷. تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در غرب تهران (تغییرات گسترده شهرسازی و تنوع نیاز آبی در این محدوده قابل توجه است).

یافته‌ها

در این پژوهش بسته به نیاز مطالعات در محدوده مطالعاتی که افت تراز آبخوان و فرونشست زمین است، سه راهکار مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب برای کنترل افت تراز آبخوان و فرونشست زمین در این محدوده استفاده شده است. آسفالت نفوذپذیر، تالاب‌ها و سدهای لاستیکی از ابزارهای مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب هستند که در این پژوهش مورد استفاده قرارگرفته‌اند و در ادامه بیان خواهند شد.

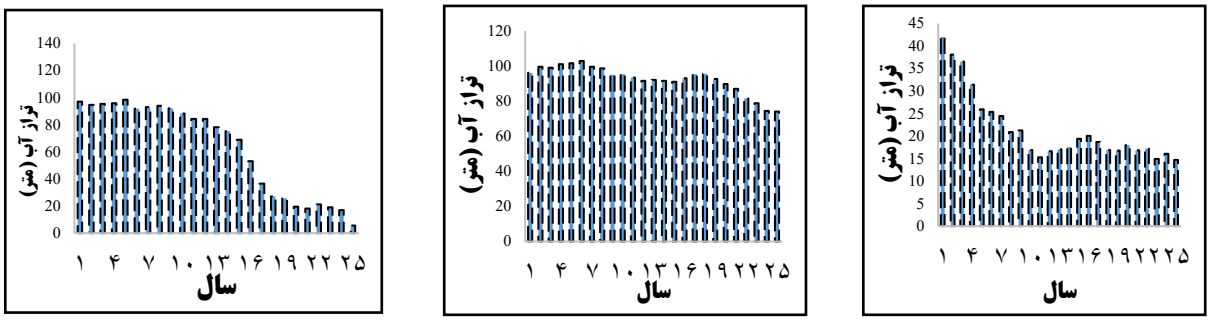
آسفالت نفوذپذیر: هدف از طراحی شهری حساس به آب، نه برهم زدن برنامه‌های توسعه‌ای شهر بلکه استفاده از پتانسیل‌های موجود در طرح‌های توسعه برای بهبود وضعیت چرخه آب شهری است. به همین علت استفاده از آسفالت نفوذپذیر راهی برای حفظ چرخه آب شهری و هم‌زمان استفاده از معابر و راه‌های شهری برای اهداف موردنظر آن‌ها است. با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده برای شهر تهران، در منطقه غربی این شهر، طولی برابر ۱۵۵۰ کیلومتر به‌عنوان راه مشخص شده است. برای توسعه آسفالت نفوذپذیر، اگر فرض شود حدود ۵۰ درصد راه‌های شهری در این محدوده تهران تبدیل به آسفالت نفوذپذیر شود با توجه به مساحت این راه‌ها، میزان سطح برای توسعه آسفالت نفوذپذیر برابر ۳۴۵۸ هکتار خواهد شد که امکان مناسبی برای استفاده از آن برای تغذیه آبخوان را فراهم می‌کند.

تالاب: در محدوده مطالعاتی غرب تهران، با توجه به فضاهای سبزی که وجود دارد این امکان فراهم است تا با ایجاد تالاب‌های مصنوعی در آن‌ها، آب جمع‌آوری شده در این فضاهای سبز را برای تغذیه آبخوان مورد استفاده قرار دهیم. در این محدوده مطالعاتی حدود ۴/۶ هکتار اراضی برای تالاب‌ها منظور شده است که رواناب سطحی حدود ۱۸۰ هکتار را در برگرفته و به‌تدریج وارد آبخوان می‌کند.

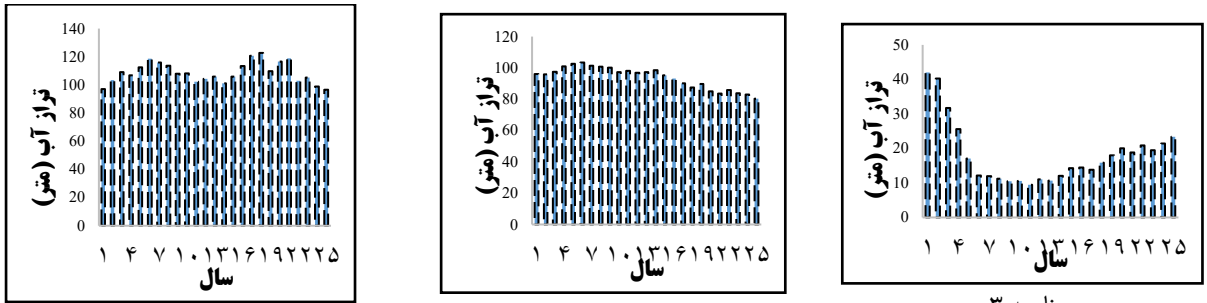
سدهای لاستیکی: رودخانه کن و امکان استفاده از آن در این محدوده شهری برای حفظ چرخه طبیعی آب، ازجمله موارد مهمی است که باید مورد بررسی جدی قرار گیرد. رودخانه کن در نواحی پائین‌دست آن می‌تواند با استفاده از سدهای لاستیکی به‌عنوان تغذیه‌کننده آبخوان استفاده شود. وجود چند سد لاستیکی در امتداد رودخانه می‌تواند به تغذیه آبخوان در مساحتی در حدود ۹۳ هکتار کمک نماید.

سه ابزار مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب بیان شده در بالا، برای تغذیه مصنوعی آبخوان مورد استفاده قرار گرفتند و معطوف به مشکل این محدوده مطالعاتی یعنی افت تراز آبخوان و فرونشست زمین توسعه پیدا کرده‌اند. ابزارهای ذکر شده به‌عنوان ورودی به مدل شبیه‌سازی فیزیکی–رفتاری وارد شده و خروجی آن تراز آبخوان در سه حالت مختلف خواهد بود. در شرایط فعلی فرض خواهد شد از پساب برای تغذیه آبخوان استفاده نشود که نتیجه در شکل ۸ نشان داده شده است. در ادامه و با توجه به اینکه استفاده از پساب برای تغذیه آبخوان امری مورد نیاز به شمار می‌آید، شکل ۹ تغذیه آبخوان را با استفاده از پساب و نتیجه آن نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۸ عدم استفاده از پساب در این محدوده می‌تواند مشکلات جدی را برای تراز آب زیرزمینی و فرونشست زمین ایجاد کند. درنتیجه نیاز و اهمیت استفاده از پساب برای تغذیه آب زیرزمینی واجب به نظر می‌رسد. شکل ۱۰ میزان تغییرات تراز آب زیرزمینی را تحت استفاده از روش‌های مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب را نشان می‌دهد.

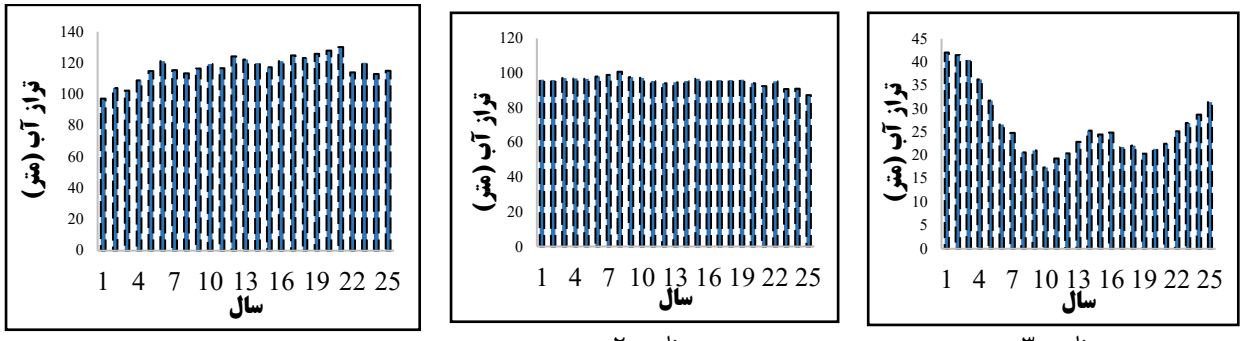
همان‌طور که از گراف‌های ارائه شده قابل‌مشاهده است، نیاز به استفاده از پساب برای تغذیه آب زیرزمینی مورد نیاز است. همچنین استفاده از ابزارهای مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب برای تغذیه آبخوان با استفاده از رواناب سطحی می‌تواند، بخصوص در ناحیه سه، کمک‌کننده باشد.



شکل ۸. تراز آب زیرزمینی در سه ناحیه آبخوان بدون تغذیه با پساب و ابزارهای مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب



شکل ۹. تراز آب زیرزمینی در سه ناحیه آبخوان با تغذیه با پساب و بدون ابزارهای مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب



شکل ۱۰. تراز آب زیرزمینی در سه ناحیه آبخوان با تغذیه با پساب و ابزارهای مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب

نتیجه‌گیری

در این پژوهش یکی از مهم‌ترین مشکلات مرتبط با تعارض گسترش شهرنشینی با منابع طبیعی در محدوده جغرافیایی شهرها، یعنی افت تراز آب در آبخوان‌ها و درنهایت فرونشست زمین مورد بررسی و مطالعه قرارگرفته است. حوضه آبریز دریاچه نمک در نواحی مرکزی ایران و دربرگیرنده شهر تهران با افت تراز آب زیرزمینی و درنهایت فرونشست زمین مواجه است. این مسئله با توسعه شهری و غیرقابل نفوذ نمودن اراضی شهری تشدید می‌شود. در این پژوهش از ابزارهای مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب به همانند آسفالت نفوذپذیر، تالاب‌های مصنوعی و سدهای لاستیکی برای کنترل افت تراز آبخوان در ناحیه شهری غرب تهران

استفاده شده است. منابع آبی مهم در این محدوده، آب‌زیرزمینی، آب سطحی (انتقالی از سد) و پساب است ولی به دلیل توسعه شهری، رشد جمعیت و به‌هم خوردن چرخه طبیعی آب، افت آب زیرزمین و به تبع آن فرونشست زمین در این محدوده قابل توجه است. آب انتقالی از سدها در این منطقه عمدتاً برای مصرف آب شرب استفاده می‌شود و دیگر مصارف آبی همانند فضای سبز، صنعت، بخشی از کشاورزی و بخش زیادی از آب شرب به منابع آب زیرزمین وابسته است. به همین علت نیاز خواهد بود تا افت تراز آب زیرزمینی به طور جدی مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر اینکه آب زیرزمینی در این جغرافیایی شهری و مصارف آبی آن دارای اهمیت است، برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی می‌تواند منجر به فرونشست زمین شده و به تأسیسات شهری آسیب رسانده و حتی توسعه شهری را نیز تحت تأثیر قرار دهد. طبق نتیجه به‌دست‌آمده، استفاده از پساب برای تغذیه آبخوان مهم است و طراحی شهری حساس به آب می‌تواند بخشی از افت تراز آبخوان را در این محدوده کنترل نماید. باوجود مؤثر بودن طراحی شهری حساس به آب برای کنترل افت تراز آبخوان در محدوده ناحیه ۱، ۲ و ۳ نیاز است تا از ابزارهای غیر سازه‌ای و رهیافت‌های مبتنی بر طراحی شهری حساس به آب برای کنترل تقاضای آب، بخصوص در ناحیه ۳، استفاده گردد.

منابع

عبدالحی، علی. (۱۳۹۷).تدوین یک مدل رفع اختلاف برای مدیریت تخصیص آب در محیطهای شهری با توجه به دیدگاه یادگیری تقویتی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

امامی اسکاردی، محمدجواد (۱۳۹۹). مدیریت تخصیص منابع آب و پساب در مناطق شهری مبتنی بر تعادل همبسته و بهینه اجتماعی. رساله دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب. دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

References

Abdolhay, A. (2018). Developing a conflict resolution model for water allocation in urban areas considering the concept of reinforcement learning. M.Sc. Thesis (In Persian). University of Tehran, Tehran, Iran.

Ahammed, F. (2017). A review of water-sensitive urban design technologies and practices for sustainable stormwater management. Sustain. *Water Resources Management*, 3, 269–282. https://doi.org/10.1007/s40899-017-0093-8

Ashraf, S., Nazemi, A. & Aghakouchak, A. (2021). Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. www.nature.com/scientificreports, 1–10. https://doi.org/10.1038/s41598-021-88522-y

Butler, D. & Davies, J.W., (2011). Urban Drainage, *third ed. Spon Press*, London.

Beecham, S. (2003). Water sensitive urban design: a technological assessment. *Waterfall, Journal of the Stormwater Industry Association*, 17, 5–13.

Beecham, S. (2010). WSUD 1: water sensitive urban design, *Adelaide: Water of a City*, eds Daniels, C. & Hudson, J., Barbara Hardy Centre for Sustainable Urban Environments, University of South Australia, Adelaide, 451–465.

Beecham, S. & Chowdhury, R. K. (2010). Temporal characteristics and variability of point rainfall: a statistical and wavelet analysis. International Journal of Climatology, 30(3), 458–473.

Beecham, S. Pezzaniti, D. & Kandasamy, J. (2012). Stormwater treatments using permeable pavements. *Water Management,* 165(3), 161–170.

Beecham, S. Pezzaniti, D., Myers, B., Shackel, B. & Pearson, A. (2009). Experience in the application of permeable interlocking concrete paving in Australia. Proceedings of the 9th International Conference on Concrete Block Paving, Argentina, 1–8.

Brown, C., Chu, A., Duin, B. V. & Valeo, C. (2009b). Characteristics of sediment removal in two types of permeable pavements. *Water Quality Research Journal of Canada,* 44(1), 59–70.

de Graaf, I. E. M., Gleeson, T., van Beek, L. P. H., Sutanudjaja, E. H. & Bierkens, M. F. P. (2019). Environmental flow limits to global groundwater pumping. *Nature,* 574, 90–94.

Edalat, A., Khodaparast, M. & Rajabi, A. M. (2020). Detecting land subsidence due to groundwater withdrawal in Aliabad Plain, Iran, using ESA sentinel-1 satellite data. *Natural Resources Research*, 29, 1935–1950.

Emami-Skardi, M. J., Kerachian, R. & Abdolhay, A. (2020). Water and Treated Wastewater Allocation in Urban Areas Considering Social Attachments. *Journal of Hydrology*, 124757. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124757

Emami-Skardi, M.J. (2020). Water & Reclaimed Wastewater Allocation in Urban Areas with Emphasis on Correlated Equilibrium and Social Optimality. PhD dissertation. (In Persian). University of Tehran, Tehran, Iran.

Emami-Skardi, M.J., Momenzadeh, N. & Kerachian, R. (2021). Social Learning Diffusion and Influential Stakeholders Identification in Socio-Hydrological Environments. *Journal of Hydrology*. In press. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126337

Eyni, A., Emami-Skardi, M.J.& Kerachian, R. (2021). A regret-based behavioral model for shared water resources management: Application of the correlated equilibrium concept. *Science of the Total Environ*ment, 759, 143892. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143892

Freni, G., Mannina, G. & Viviani, G. (2010). Urban storm-water quality management: centralized versus source control. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(2), 268–278.

Haghshenas Haghighi, M. & Motagh, M. (2019). Ground surface response to continuous compaction of aquifer system in Tehran, Iran: results from a long-term multi-sensor InSAR analysis. *Remote Sensing of Environment*, 221, 534–550.

Her, Y., Jeong, J., Arnold, J., Gosselink, L. & Glick, R. (2017). Environmental Modelling & Software A new framework for modeling decentralized low impact developments using Soil and Water Assessment Tool. *Environmental Modelling and Software*, 96, 305–322. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.005

Hsieh, P. C. & Chen, Y. C. (2012). Surface water flow over a pervious pavement. *International Journal* for *Numerical and Analytical Methods in Geo-mechanics*, 37(9):1095–1105.

Mahmoudpour, M. Khamehchiyan, M. Nikudel, M. R. & Ghassemi, M. R. (2013). Characterization of regional land subsidence induced by groundwater withdrawals in Tehran, Iran. *Jornal of Geopersia,* 3(2), 49–62.

Motagh, M. et al. (2008). Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation. *Geo-physical Research Letters*, 35: L16403. DOI:10.1029/2008GL033814.

Prasad, Y. S. & Rao, B. V. (2018). Groundwater depletion and groundwater balance studies of Kandivalasa River Sub Basin, Vizianagaram District, Andhra Pradesh, India. *Groundwater Sustainable Development*, 6, 71–78.

Ranieri, V., Antonacci, M. C., Ying, G. & Sansalone, J. J. (2010). Application of Kozeny- Kovacs model to predict the hydraulic conductivity of permeable pavements. *Journal of the Transportation Research Board,* 21(95), 168–176.

Suter, J. F., Rouhi Rad, M., Manning, D. T., Goemans, C. & Sanderson, M. R. (2021). Depletion, climate, and the incremental value of groundwater. *Resources and Energy Economics,* 63, 101- 143. https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2019.101143.

Wang, M., Sweetapple, C., Fu, G., Farmani, R. & Butler, D. (2017). A framework to support decision making in the selection of sustainable drainage system design alternatives. *Journal of Environmental Management*, 201, 145–152. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.034

Yazdi, S. K. & Scholz, M. (2008). Combined bio-filtration, water detention and infiltration system treating road runoff. Proceedings of the 10th British Hydrological Symposium, Exeter, 353–358.