Urban Development Policy Making
Home Page: https://judpm.ir
Online ISSN: 3092-6564

Feasibility Study of Reusing Urban Runoff and Treated Municipal Wastewater for Irrigation of Urban Spaces in Tehran

Zohreh Hesami[1] | Seyed Alireza Taheri Riabi[2] | Javad Yahaghi[3*]

1. Ph.D. Graduate, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Iran. E-mail: Zoh_hesami1357@yahoo.com
2. M.Sc Graduate, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Iran. E-mail: seyed.alireza.tehari@gmail.com
3. Corresponding Author, Ph.D. Candidate, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Iran. E-mail: javad.yahaghi@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 28 July 2025
Revised 04 September 2025
Accepted 04 November 2025
Published Online 01 January 2026

Keywords:
Unconventional water resource,
Urban runoff,
Wastewater reuse,
Urban green space of Tehran.

ABSTRACT

Given the population growth and the increasing demand for water, driven by factors such as climate change and evolving consumption patterns, efforts have shifted towards the utilization of unconventional water resources. In this context, the Municipality of Tehran has initiated a project aimed at supplying the water required for irrigating green spaces from surface runoff and treated municipal wastewater. In the present study, the water demand for both urban and peri-urban green spaces in Tehran was first calculated. Subsequently, the potential for utilizing effluent from municipal wastewater treatment plants and runoff flowing through urban channels as an alternative to groundwater resources for irrigating green spaces was examined, taking into account both quantitative (flow rate) and qualitative (effluent analysis) characteristics. Based on the research findings, the Municipality of Tehran can proactively reduce raw water consumption for urban green space irrigation from 73% to 32% over a ten-year period by designing and implementing a comprehensive project for the treatment and reuse of urban runoff and treated municipal wastewater, while increasing the share of runoff and treated wastewater usage from approximately 15.6% to 64%. Furthermore, to further reduce water consumption, methods for aquifer recharge using runoff can be employed for more efficient utilization, along with modifying urban green space development patterns to decrease water demand as additional strategies for water conservation. Ultimately, this initiative has the potential to play a pivotal role in replenishing groundwater resources, thereby providing a more sustainable future for water supply in the city of Tehran.

Cite this article: Hesami, Z.; Taheri Riabi, A. & Yahaghi, J. (2026). Feasibility Study of Reusing Urban Runoff and Treated Municipal Wastewater for Irrigation of Urban Spaces in Tehran. *Urban Development Policy Making*, 3 (1), 19-32.
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.554520.1070

© Zohreh Hesami, Seyed Alireza Taheri Riabi, Javad Yahaghi
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.554520.1070

Introduction

More than two-third of world population is facing water scarcity in present. With the ongoing population growth and the escalating demand for water driven by factors such as climate change and evolving consumption patterns, conventional water resources are increasingly proving inadequate, particularly in arid and semi-arid regions. Consequently, efforts have been directed towards the exploration and utilization of unconventional water resources to alleviate the pressure on traditional water supplies, especially groundwater resources. One effective measure in this context, is replacing the raw water used for irrigation of green spaces with treated wastewater and urban runoff, which are more sustainable. Unconventional water resources offer emerging opportunities to address water shortages in areas where sustainable access to water is unreliable and conventional water resources are

limited. The advantages of treating urban runoff and municipal wastewater for reuse purposes are manifold. Firstly, it enhances the resilience of urban water systems by diversifying water supply sources and reducing vulnerability to climate variability. Secondly, utilizing treated urban runoff and wastewater for the maintenance and development of urban green spaces contributes to improved aesthetic value, enhanced biodiversity, and increased carbon sequestration within cities

Methodology

In the present study, the water demand of urban green spaces (including parks, sides of streets, and forest parks) and green belt in Tehran was initially calculated based on plant species and the area covered, categorized by the 22 districts. Additionally, the amount of water extracted from groundwater sources (including wells and qanats) in the year 1401 (the base year of studies) was calculated. Furthermore, the volume of water available for harvesting from urban surface water-channels was determined based on the flow rate of surface water in these channels, which was calculated according to the width of the channel, water height, and flow velocity in the main water-channels of Tehran. The amount of treated wastewater received from wastewater treatment plants under the supervision of the Ministry of Energy was also estimated. Then, based on the obtained information, the amount of water that could be extracted from the aforementioned four sources was estimated for 3-year and 10-year periods, considering the policy for supplying water needed for irrigating green spaces from unconventional water resources. It is worth mentioning that in calculating all the mentioned figures, the location of water harvesting as well as the location and water needs of adjacent green spaces were taken into account.

Results

According to the Water Scarcity Index published by the United Nations, Tehran is currently experiencing severe water scarcity, utilizing over 80% of its available water resources. To alleviate this situation and reduce water uptake to below 60%, a 30% decrease in current water consumption is necessary. In this regard, the Tehran municipality has the opportunity to supply water for irrigation of urban green space by replacing conventional water sources, such as wells and qanats, with unconventional water resources, including urban runoff and treated wastewater. This study's assessment indicates a substantial potential to decrease dependence on raw water sources by increasing the utilization of treated wastewater from approximately 15.6% to 64%, primarily for irrigation of urban green spaces. This initiative can, not only increase the available water for irrigation from 180 to 250 Mm3/year, but also simultaneously reduce the reliance on well water from 73% to 32% of the total water demand (equal to water saving of 62 Mm3/year) over a ten-year period. This is specially important regarding sustainable supply of water from unconventional water resource which would also help for the prevention and mitigation of land subsidence in Tehran.

Conclusion

This study aims to evaluate the feasibility of substituting conventional water sources, such as groundwater and qanats, with unconventional water resources, including urban runoff and treated wastewater with the objective to reduce the extraction from underground raw water resources. An analysis of the data collected on water consumption in the irrigation of urban green spaces, alongside the availability of urban runoff and treated wastewater, indicates that groundwater extraction could be reduced as a result of Tehran municipality' project by 19 and 62 Mm3/year after 3 and 10 years, respectively. This initiative is not only feasible through the collaboration of relevant organizations but also has the potential to play a crucial role in the replenishment of groundwater resources, thereby promoting a more sustainable future for the city's water supply. Furthermore, implementing additional strategies, such as selecting plant species that are compatible with the local climate, optimizing planting patterns, and employing high-efficiency irrigation techniques like subsurface irrigation, will further contribute to reducing water consumption in the maintenance and development of urban green spaces.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https:// judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۳۰۹۲-۶۵۶۴

امکان‌سنجی تأمین آب فضای سبز عمومی شهر تهران از طریق بازچرخانی و مدیریت پساب و رواناب‌ها

زهره حسامی[۱] | سید علیرضا طاهری ریابی[۲] | جواد یاحقی[۳*]

۱. دانش‌آموختهٔ دکتری مهندسی محیط زیست - آلودگی هوا، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: Zoh_hesami1357@yahoo.com
۲. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد مدیریت محیط زیست - دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: seyed.alireza.taheri@gmail.com
۳. نویسندهٔ مسئول، دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست - مواد زائد جامد، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: javad.yahaghi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه:
منابع آب نامتعارف،
رواناب سطحی،
بازچرخانی پساب،
فضای سبز شهر تهران،
تأمین آب.

چکیده

با توجه به رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای آب که از عواملی مانند تغییرات اقلیمی و الگوهای مصرف در حال تحول نشئت می‌گیرد، تلاش‌ها به سمت استفاده از منابع آب نامتعارف معطوف شده است. در این زمینه، شهرداری تهران نیز طرحی به منظور تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز از محل رواناب‌های سطحی و فاضلاب شهری تصفیه‌شده اجرا کرده است. در مطالعهٔ حاضر، ابتدا نیاز آبی فضای سبز شهر تهران محاسبه شد. سپس، ظرفیت استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و رواناب‌ها به عنوان جایگزین منابع آب زیرزمینی در آبیاری فضای سبز با در نظر گرفتن نرخ جریان و مشخصات پساب بررسی شد. بر اساس یافته‌های پژوهش، شهرداری تهران می‌تواند در اقدامی پیشگیرانه با طراحی و اجرای یک پروژهٔ جامع برای تصفیه و استفادهٔ مجدد از رواناب‌های شهری و فاضلاب شهری تصفیه‌شده، مصرف آب خام را طی یک دورهٔ ده‌ساله (عمدتاً برای تأمین آب مورد نیاز فضاهای سبز شهری) از ۷۳ درصد به ۳۲ درصد کاهش داده و سهم استفاده از رواناب و فاضلاب تصفیه‌شده را از حدود ۱۵/۶ درصد به ۶۴ درصد افزایش دهد. علاوه بر این، به منظور کاهش هر چه بیشتر مصرف آب، می‌توان از روش‌های تغذیهٔ آبخوان به وسیلهٔ رواناب‌ها برای استفادهٔ بهینه‌تر از آن، و اصلاح الگوی توسعهٔ فضای سبز شهری به منظور کاهش نیاز آبی نیز به عنوان راهکارهای دیگر برای صرفه‌جویی در مصرف آب استفاده کرد. در نهایت، ابتکار حاضر این ظرفیت را دارد که نقش محوری در تجدید منابع آب زیرزمینی ایفا کند و به این‌ترتیب آینده‌ای پایدارتر برای تأمین آب شهر تهران فراهم آورد.

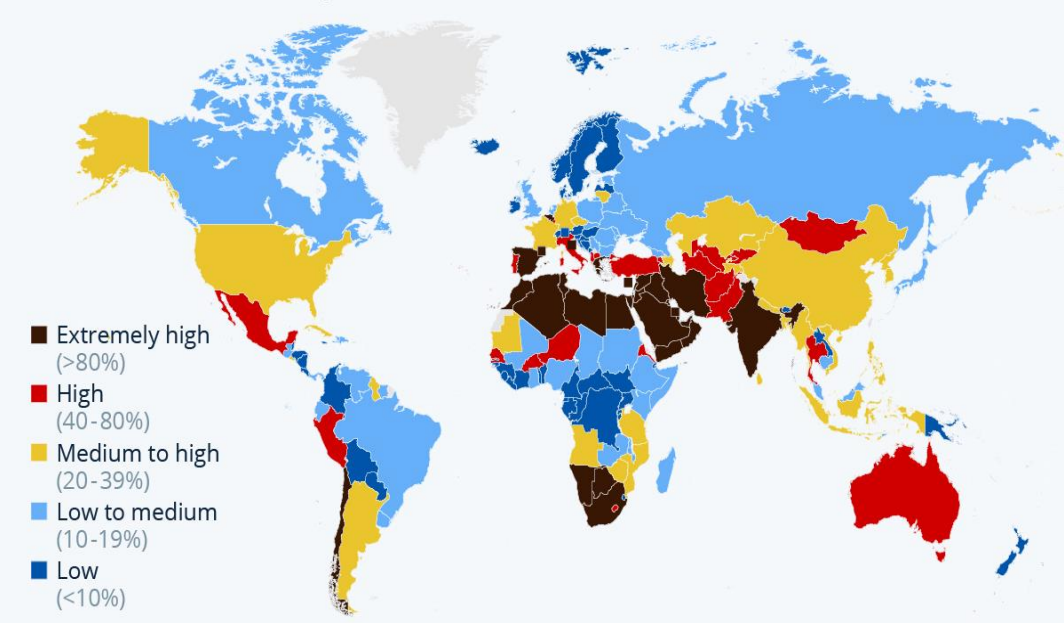
استناد: حسامی، زهره؛ طاهری ریابی، سید علیرضا و یاحقی، جواد (۱۴۰۵). امکان‌سنجی تأمین آب فضای سبز عمومی شهر تهران از طریق بازچرخانی و مدیریت پساب و رواناب‌ها. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۱) ۱۹-۳۲.

DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.554520.1070

© زهره حسامی، سید علیرضا طاهری ریابی، جواد یاحقی
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.554520.1070

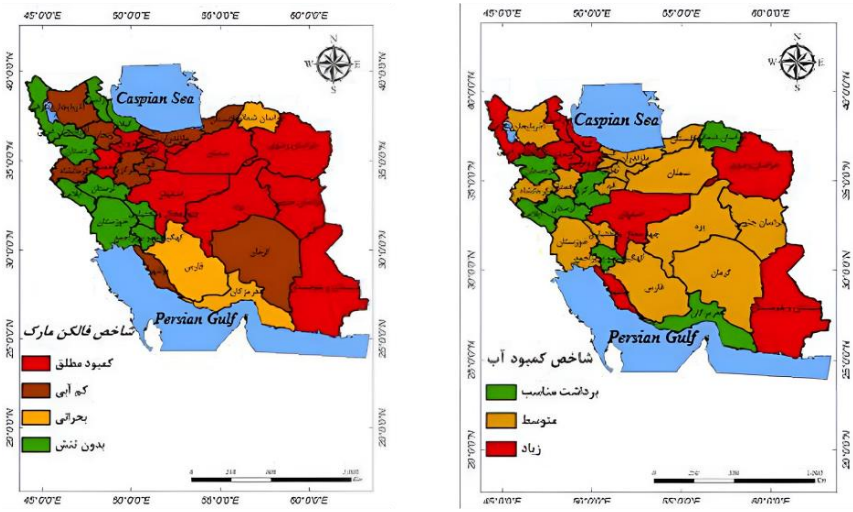
مقدمه

در عصر حاضر، شهرهای جهان با چالش‌های جدی در زمینهٔ مدیریت منابع آبی مواجه هستند. رشد فزایندهٔ جمعیت شهری، تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی‌ها، ضرورت بازنگری در نحوهٔ استفاده از منابع آب را بیش از پیش نمایان ساخته است. بیش از دو سوم جمعیت جهان طی سال حداقل یک ماه با کمبود شدید آب مواجه هستند [۱ و ۲]. در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، این مسئله با شدت بیشتری مواجه است. برای نمونه، در تهران متوسط بارش‌ها با روند نزولی مواجه شده و میزان بارندگی نسبت به آمار درازمدت ۶۲ درصد کاهش یافته است [۳]. همچنین، پیش‌بینی شده است که کشور ایران تا سال ۲۰۵۰ به وضعیت تنش شدید آبی خواهد رسید (شکل ۱) [۴].

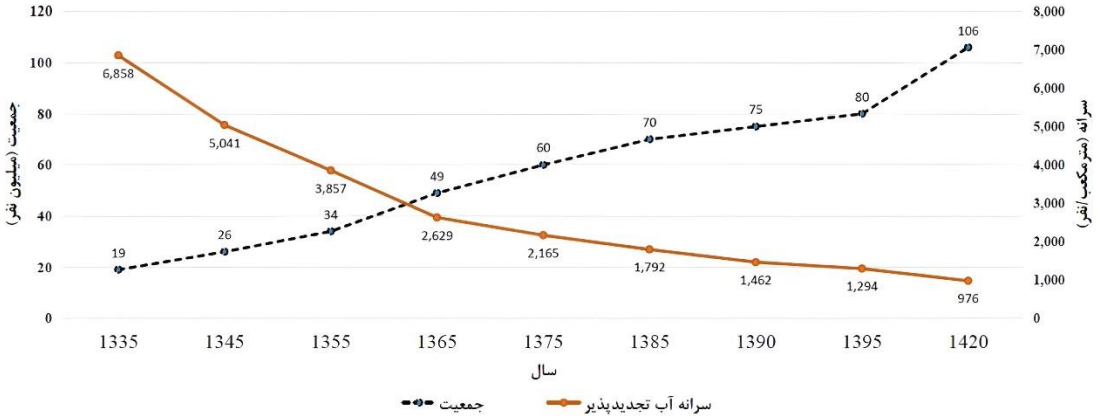


شکل ۱. پیش‌بینی وضعیت تنش آبی در کشورهای جهان بر اساس شاخص تنش آب سازمان ملل (تا سال ۲۰۵۰) [۴]

میزان تنش آبی در مناطق و کشورهای مختلف عموماً بر اساس دو شاخص فالکن مارک و شاخص تنش (بحران) آب سازمان ملل مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۲) [۵]. بر اساس شاخص فالکن مارک، در صورتی که مقدار سرانهٔ آب تجدیدپذیر در سال برای یک منطقه یا کشور پایین‌تر از ۱۷۰۰ مترمکعب بر نفر در سال باشد، آن کشور یا منطقه دچار تنش آبی است [۶]. همچنین، برای مقادیر پایین‌تر این شاخص نیز به‌ترتیب وضعیت‌های «کمبود آب» و «فقر آب» تعریف شده است. بر اساس شاخص تنش آب سازمان ملل، مرزبندی تنش آبی بر اساس دو پارامتر سرانهٔ آب در دسترس و میزان برداشت از منابع آب تجدیدپذیر تعریف می‌شود (جدول ۱). به عنوان مثال، منطقه یا کشوری که با سرانهٔ آب در دسترس کمتر از ۲ هزار مترمکعب در سال، بیش از ۴۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر خود را برداشت کند، دچار تنش آبی محسوب می‌شود. شاخص فالکن مارک در کشور ایران در سال ۱۳۹۵ عدد ۱۲۹۴ بوده (وضعیت تنش آبی) و پیش‌بینی شده است که این عدد تا سال ۱۴۲۰ به ۹۷۶ مترمکعب در سال به ازای هر نفر (وضعیت کمبود آب) برسد (شکل ۳) [۷]. همچنین، مجموع منابع آب در دسترس شهر تهران ۴۸۵۴ میلیون مترمکعب است که از این مقدار حدود ۴۲۰۱ میلیون مترمکعب (بیش از ۸۵ درصد) مصرف می‌شود [۸]. لذا با توجه به سرانهٔ ۳۶۶ مترمکعب آب تجدیدپذیر در سال برای شهر تهران، شاخص تنش آب سازمان ملل در تهران در وضعیت تنش آبی شدید به سر می‌برد. این وضعیت، ضرورت یافتن منابع آبی جایگزین را دوچندان می‌کند.



شکل ۲. شاخص فالکن مارک و شاخص تنش آب سازمان ملل در ایران [۶]



شکل ۳. تغییرات میزان سرانهٔ آب تجدیدپذیر (شاخص فالکن مارک) طی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۴۲۰ [۷]

جدول ۱. مرز تنش آبی بر اساس شاخص تنش آب سازمان ملل متحد

سرانه آب در دسترس (m^3 / copy)	منابع به سالانه آب برداشت متوسط بحرانی نسبت دسترس در آب			
	کمتر از 0.4	0.4 – 0.6	0.6 – 0.8	بیشتر از 0.8
کمتر از 2000	2	3	4	4
10000-2000	1	2	3	4
بیشتر از 10000	1	1	2	4

وضعیت	توصیف وضعیت	نسبت بحرانی متوسط برداشت آب سالانه به مناطق آب در دسترس	سرانه آب در دسترس (متر مکعب بر نفر در سال)
۱	نشاندهنده وجود منابع آبی فراوان و عدم تنش آبی است.	کمتر از ۴۰ درصد	سرانه بیشتر از ۲۰۰۰
۲	این محدوده بیانگر آغاز و آستانه آسیب پذیری می باشد.	کمتر از ۴۰ درصد	سرانه کمتر از ۲۰۰۰
۳	نشانگر تنش و بحران آبی است.	۴۰ تا ۶۰ درصد	سرانه کمتر از ۲۰۰۰
۴	در این بخش تنش آبی کاملاً شدید و جدی است.	بیشتر از ۶۰ درصد	سرانه کمتر از ۲۰۰۰

یکی از محل‌های مصرف آب در نواحی شهری، آبیاری فضای سبز است [۹ و ۱۰]. در حال حاضر، آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز شهر تهران عمدتاً از محل آب چاه و قنوات تأمین می‌شود. با وجود اینکه میزان مصرف آب در بخش آبیاری فضای سبز در شهر تهران درصد پایینی از کل مصرف آب در شهر تهران را تشکیل می‌دهد، اما با صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و جایگزین کردن منابع پایدار با منابع فعلی، می‌توان فشار برداشت آب از منابع زیرزمینی از جمله چاه‌ها و قنوات را کاهش داد. لذا در مقالهٔ حاضر، موضوع امکان‌سنجی استفاده از پساب و رواناب به منظور تأمین بخشی از آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، رویکردهایی از جمله تغذیهٔ آبخوان‌های زیرزمینی با استفاده از رواناب‌ها، استفاده از گونه‌های گیاهی سازگار با اقلیم و اصلاح الگوی کشت که می‌تواند به کاهش مصرف آب و توسعهٔ پایدارتر فضای سبز در محیط شهری منجر شود، مورد بحث قرار گرفته است.

پیشینهٔ تحقیق

افزایش ۶ برابری مصرف جهانی آب شیرین از سال ۱۹۰۰ و مصرف ۷۰ درصد آب مصرفی جهان در بخش کشاورزی سبب کمبود منابع آب شیرین در مناطق شهری و در نتیجه، فشار بر منابع آبی سطحی و زیرسطحی در بسیاری از کشورهای جهان شده است [۱۱]. به عنوان مثال، منابع آب شیرین تجدیدپذیر (جریان‌های رودخانه و آب‌های زیرزمینی ناشی از بارش) اتحادیهٔ اروپا از سال ۱۹۶۲ تا ۲۰۱۸ به میزان ۱۷ درصد کاهش یافته است [۱۲]. این امر باعث شده تا کشورهای مختلف، سیاست‌های خود را در زمینهٔ مصرف آب در مصارف مختلف بازنگری کنند و به دنبال منابع آب جایگزین و مکمل باشند. با افزایش تنش آبی، کاهش دسترسی به آب پایدار به دلیل پدیدهٔ تغییر اقلیم، و افزایش هزینه‌های مربوط به تأمین آب (به‌خصوص در مناطق با اقلیم خشک و نیمه‌خشک) بسیاری از کشورها به دنبال استفاده از منابع آب غیرمتعارف (Unconventional Water Resource) رفتند. بر اساس گفته‌های اودندال (۲۰۰۹)، منابع آبی که به طور سنتی برای تأمین نیازهای آب موجود استفاده نشده‌اند، می‌توانند به عنوان منابع آب غیرمتعارف (UWRs) طبقه‌بندی شوند [۱۲]. برخی از منابع آب غیرمتعارف عبارت‌اند از: ۱) تغذیهٔ مصنوعی؛ ۲) بارورسازی ابرها؛ ۳) شیرین‌سازی آب‌های شور؛ ۴) جمع‌آوری آب شبنم؛ ۵) آب زهکشی کشاورزی؛ ۶) جمع‌آوری آب مه؛ ۷) آب فسیلی؛ ۸) آب خاکستری؛ ۹) یخچال‌تراشی و انتقال یخچال‌ها؛ ۱۰) استحصال آب باران؛ ۱۱) آب مجازی و ۱۲) فاضلاب/پساب تصفیه‌شده. با این‌حال، تمامی این منابع از طریق روش‌های متعارف مانند آب‌های سطحی یا آب‌های زیرزمینی برای مصرف‌کنندگان در دسترس نیستند [۱۳] و به همین‌دلیل پساب تصفیه‌شده و رواناب‌های سطحی متداول‌ترین منابع آب غیرمتعارف در محدودهٔ شهری برای آبیاری فضای سبز است.

یکی از مصارف آب در مناطق شهری، آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز است. فضای سبز در محیط شهری از جمله المان‌های مهم است [۱۴] که علاوه بر زیباسازی نمای شهری، به افزایش شادابی، سلامت روان و کاهش علائمی همچون استرس، افسردگی و اضطراب در افراد منجر می‌شود [۱۵]. طبق استاندارد سازمان ملل، استاندارد سرانهٔ فضای سبز در مناطق شهری ۹ مترمربع به ازای هر فرد است [۱۶]. کاهش مصرف آب در آبیاری فضای سبز شهری از دو منظر می‌تواند محقق شود: ۱) بهره‌برداری از منابع آب مکمل و غیرمتعارف و ۲) بهینه‌سازی نرخ مصرف آب. در مورد آبیاری فضای سبز [۱۷]. بهره‌برداری از منابع آب مکمل و غیرمتعارف عمدتاً شامل استفاده از پساب تصفیه‌شده و استحصال رواناب‌های سطحی برای آبیاری و توسعهٔ فضای سبز است. از آنجا که فضای سبز شهری حساسیت کمتری نسبت به کیفیت آب دارد، می‌توان با سطح کمتری از تصفیه، آب مورد نیاز و استاندارد برای آبیاری فضای سبز را تأمین کرد [۱۷]. بهینه‌سازی نرخ مصرف آب در آبیاری فضای سبز نیز عمدتاً شامل به‌کارگیری روش‌های آبیاری با بازدهی بالا، استفاده از گونه‌های گیاهی متناسب با اقلیم و اصلاح الگوی کشت و توسعهٔ فضای سبز شهری است. استفاده از روش‌های یادشده، نه تنها می‌تواند فشار مصرف بر منابع آب خام و متعارف از جمله آب‌های زیرزمینی و سطحی را کاهش دهد، بلکه می‌تواند نگهداشت و توسعهٔ فضای سبز شهری را به گونه‌ای پایدارتر تضمین کند. این راهبرد دارای مزایای محیط زیستی (از جمله کاهش استخراج آب‌های شیرین، تغذیهٔ آبخوان، کنترل رواناب) و اقتصادی (کاهش هزینهٔ تأمین آب) است، اما چالش‌هایی در زمینه‌های بهداشتی (مانند آلودگی میکروبی و پاتوژن‌ها)، آلودگی شیمیایی (از طریق نمک‌ها، فلزات سنگین، داروها) و مدیریتی (قوانین محدودکننده، پذیرش اجتماعی) نیز به همراه دارد [۱۷].

مروری بر تجربیات داخلی و خارجی

استفادهٔ مجدد از پساب تصفیه‌شده به عنوان یک راه‌حل پایدار و نوآورانه برای کمبود جهانی منابع آب در حال ظهور است. بررسی تجربیات کشورهای دیگر در شرایط کم‌آبی نشان داده است که با افزایش تقاضای آب به دلیل رشد جمعیت، تغییر سبک زندگی، توسعهٔ شهری و صنعتی و نرخ سریع تغییرات اقلیمی، دیگر استفاده از منابع آب خام یا شرب برای آبیاری فضای سبز توجیهی نداشته و بسیاری از شهرداری‌ها به سمت بهره‌برداری از منابع آب غیرمتعارف (UWRs[1]) به جای منابع آب متعارف (CWRs[2]) حرکت کرده‌اند [۱۳]. یکی از منابع نامتعارف برای تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز شهری، استفاده از پساب و رواناب‌های تصفیه‌شده است [۱۸]. به عنوان مثال، در تیخوانا (مکزیک) که منطقه‌ای خشک است، فاضلاب ۵۲ هکتار منطقهٔ مسکونی (تولیدشده توسط ۶۱۹۳ نفر و ۱۵۳ کسب‌وکار کوچک) در یک سیستم تصفیهٔ فاضلاب غیرمتمرکز تصفیه، و پساب تصفیه‌شده برای آبیاری فضاهای سبز شهری استفاده می‌شود [۱۹]. علاوه بر این، Schwecke و همکاران (۲۰۰۷) امکان بهره‌برداری پایدار از بازچرخانی آب‌های سطحی شهری برای آبیاری زمین گلف منلی در استرالیا را ارزیابی کردند. در مطالعهٔ یادشده مشخص شد که فقط پارامترهای نیتروژن و فسفر در رواناب‌ها بالاتر از حد استاندارد بودند، که برای حذف آن از روش تالاب مصنوعی استفاده شد [۲۰]. در چین، استفادهٔ مجدد از آب‌های خاکستری به عنوان یک استراتژی کلیدی برای صرفه‌جویی در آب پذیرفته شده و از دههٔ ۱۹۸۰ پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است. پس از پروژه‌های پایلوت موفق، این روش، به‌ویژه در شمال کشور با محدودیت منابع آب، به یک راه‌حل کلیدی درازمدت تبدیل شده است. در سال ۲۰۱۹، چین ۱۲/۶۲ میلیارد مترمکعب آب خاکستری را دوباره استفاده کرد که بیشتر برای مصارف اکولوژیکی، صنعتی و شهری (از جمله آبیاری فضای سبز) بوده و اهمیت روزافزون این رویکرد در مدیریت منابع آب را نشان می‌دهد. در فرانسه، استفادهٔ مجدد از آب‌های خاکستری تصفیه‌شده که از دههٔ ۱۹۸۰ در مناطق ساحلی و جزیره‌ای آغاز شده، همچنان حاشیه‌ای باقی مانده و تنها ۰/۲ درصد از آب‌های خاکستری تصفیه‌شدهٔ هر ساله را شامل می‌شود. در سال ۲۰۱۷، گزارشی از Cerema ۱۲۸ طرح برای استفادهٔ مجدد از آب‌های خاکستری تصفیه‌شده که عمدتاً برای آبیاری کشاورزی (۶۰ درصد) و آبیاری زمین‌های گلف (۲۶ درصد) بوده است را شناسایی کرد [۲۱].

در اروپا نیز، استفادهٔ مجدد از آب‌های خاکستری تصفیه‌شده یک عمل توسعه‌یافته است. در میلان (ایتالیا) در سال ۲۰۰۵ بزرگ‌ترین کارخانهٔ تصفیهٔ آب در اروپا احداث شد که قادر به تصفیهٔ ۳۴۵ هزار مترمکعب در روز برای آبیاری بیش از ۲۲ هزار هکتار از محصولات باغی بود. در اسپانیا، هر سال تقریباً ۳۶۸ میلیون مترمکعب آب خاکستری دوباره استفاده می‌شود که بیشتر برای کشاورزی (۸۶ درصد) و همچنین برای آبیاری زمین‌های گلف، تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی و افزایش جریان رودخانه‌ها به کار می‌رود [۲۱ و ۲۲]. در پاسخ به افزایش شهرنشینی و کمبود فزایندهٔ آب، کرهٔ جنوبی و دولت آن سیاستی را به منظور تشویق استفاده از سیستم‌های پیشرفتهٔ تصفیهٔ آب (مرحلهٔ دوم) برای استفادهٔ ایمن مجدد از آب‌های خاکستری در کشاورزی اتخاذ کرده‌اند. در حال حاضر، بسیاری از کشورها دستورالعمل‌ها و فناوری‌هایی را برای استفاده از آب‌های خاکستری تصفیه‌شده به عنوان منبع آبیاری توصیه کرده‌اند. در ژاپن و ایالات متحده، چندین شهرداری شبکه‌های توزیع دو دایره‌ای را اتخاذ کرده‌اند که آب شرب را از آب‌های خاکستری تصفیه‌شده جدا می‌کند. آب‌های خاکستری تصفیه‌شده عمدتاً برای آبیاری مناطق سبز، طراحی منظر، نظافت شهری و اطفای حریق استفاده می‌شود که نمایانگر یک راه‌حل پایدار برای مدیریت منابع آب است.

در ایران نیز در شهر اصفهان، تصفیه‌خانهٔ مجهز به فناوری نانو اُزُن، توانسته ۵۰ لیتر بر ثانیه پساب تولید کند که پساب خروجی از آن برای آبیاری فضای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد و امکان افزایش ظرفیت تا ۲۰۰ لیتر بر ثانیه را نیز دارد [۲۳]. در شهر یزد با اقلیم بیابانی و نیمه‌بیابانی، از فاضلاب تصفیه‌شدهٔ بیمارستان شهدای کارگر یزد برای آبیاری فضای سبز محدودهٔ اطراف استفاده می‌شود [۲۴]. این طرح‌ها همگی اثربخشی استفادهٔ مجدد از پساب را در مدیریت پایدار منابع آب نشان می‌دهند.

بررسی وضعیت کنونی منابع آب در شهر تهران و نیاز آبی فضای سبز شهری

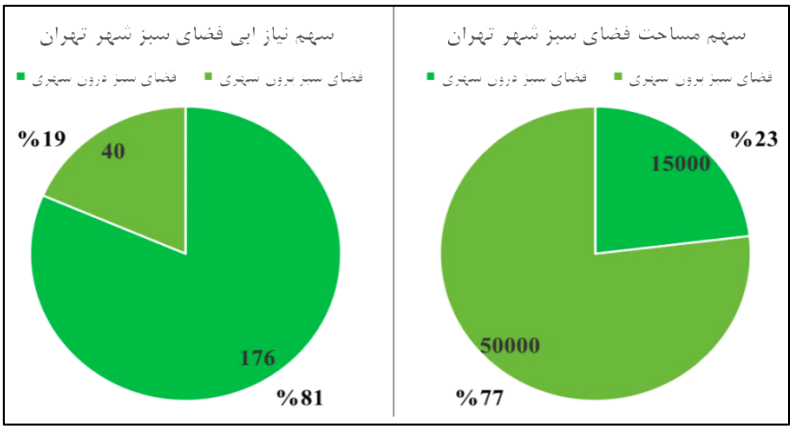
تهران، پایتخت و بزرگ‌ترین کلان‌شهر ایران، در حال حاضر با بحرانی بی‌سابقه در تاریخ صد سال اخیر خود از نظر منابع آبی

1. Unconventional Water Resources
2. Conventional Water Resources

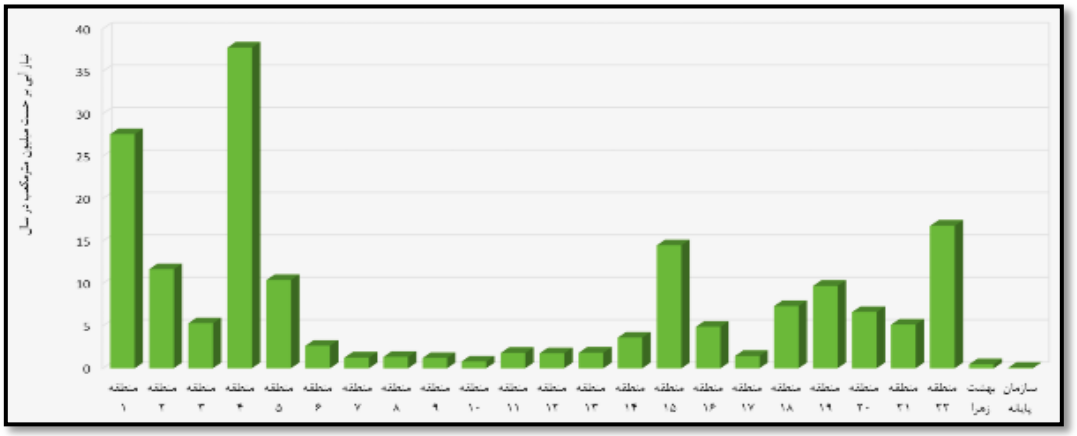
مواجه است. این بحران که نتیجهٔ عوامل متعددی از جمله خشکسالی، افزایش جمعیت، و مصرف بالا است، تأثیر عمیقی بر تأمین آب شرب و نیز آبیاری فضای سبز شهری گذاشته است. در حال حاضر، سدهای پنجگانهٔ تهران (لار، لتیان، ماملو، طالقان و امیرکبیر) که مسئولیت اصلی تأمین آب شرب پایتخت را به عهده دارند، در وضعیتی بحرانی قرار گرفته‌اند. در چنین شرایطی و با توجه به تنش آبی موجود، الگوی مصرف آب برای شهروندان از ۱۵۰ لیتر بر روز در سال ۱۴۰۳ به ۱۳۰ لیتر بر روز در سال ۱۴۰۴ کاهش پیدا کرده است [۲۵].

سهم مصرف آب استان تهران در بخش‌های شرب و خانگی، کشاورزی، صنعتی و آبیاری فضای سبز به‌ترتیب ۵۷، ۳۴، ۴/۴ و ۲/۸ درصد است. این در حالی است که در شهر تهران با میزان مصرف کل ۴۲۰۱ میلیون مترمکعب (م.م.م) [۲۶]، اعداد یادشده به‌ترتیب به ۶، ۸۴، ۶ و ۴ درصد تغییر می‌کنند. در حقیقت، مصرف اصلی آب در شهر تهران به بخش شرب و خانگی مربوط است که دلیل آن، تراکم بالای جمعیت (حدود ۱۰ هزار نفر بر کیلومتر مربع) است. در حال حاضر، بیش از ۸۰ درصد از آب مورد نیاز برای آبیاری فضای شهری از منابع زیرزمینی (چاه‌ها و قنات‌ها) تأمین می‌شود [۲۷]. درخور یادآوری است، تداوم این وضعیت می‌تواند باعث فرونشست خطرناک زمین شود؛ اتفاقی که هم‌اکنون در محدودهٔ استان البرز و اصفهان رخ داده است.

در یک دسته‌بندی کلی، فضای سبز شهر تهران به فضای سبز درون‌شهری و برون‌شهری تقسیم می‌شود. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، مساحت فضای سبز شهر درون‌شهری تهران در حدود ۱۵ هزار هکتار (معادل سرانهٔ تقریباً ۱۷ مترمربع به ازای هر تهرانی) و مساحت فضای سبز برون‌شهری تهران (کمربند سبز) حدود ۵۰ هزار مترمربع است [۲۸]. با این‌حال، نیاز آبی فضای سبز درون‌شهری تهران (معادل ۱۷۶ م.م.م) به دلیل کاشت گونه‌های گیاهی با نیاز آبی بیشتر، به مراتب بیشتر از نیاز آبی فضای سبز برون‌شهری (معادل ۴۰ م.م.م) است، و بنابراین، کل نیاز آبی فضای سبز تهران حدود ۲۱۶ م.م.م (معادل ۵ درصد از مصرف آب کل شهر تهران) تخمین زده شده است [۲۸]. در شکل ۵ نیاز آبی فضای سبز شهر تهران به تفکیک مناطق ۲۲گانه بیان شده است.



شکل ٤. مساحت و نیاز آبی فضای سبز شهر تهران به تفکیک درون‌شهری و برون‌شهری (کل نیاز آبی: ۲۱۶ م.م.م) [۲۸]



شکل ۵. نیاز آبی فضای سبز موجود در مناطق ۲۲گانهٔ شهر تهران (بر حسب م.م.م) به تفکیک مناطق ۲۲گانه در سال ۱۴۰۴ [۲۸]

تکنولوژی‌های تصفیهٔ پساب و مدیریت/ مهار رواناب

فاضلاب شهری تصفیه‌شده و رواناب‌های سطحی عموماً دارای سطح آلودگی پایین هستند، به طوری که در کشورهای توسعه‌یافته گاه حتی بدون فرایند تصفیهٔ تکمیلی، برای استفاده در مکان‌های تفرجی یا آبیاری فضای سبز شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. استرالیا به عنوان کشوری باران‌خیز و پیشرو در مدیریت رواناب‌های سطحی از چاهک‌های نفوذ باران[1] برای مهار و تغذیهٔ رواناب سطحی به داخل زمین با فیلتراسیون طبیعی استفاده می‌کنند [۲۹]. همچنین، حوضچه‌های تعدیل با بستر طبیعی[2]، ساخت پیاده‌روها با روکش‌های نفوذپذیر[3]، احداث ترانشه‌های نفوذ[4]، تالاب‌های مصنوعی[5]، جوی باغچه‌ها[6] از جمله دیگر روش‌ها برای مهار و افزایش نفوذ رواناب‌های سطحی است، که آبخوان‌های زیرزمینی نیز به وسیلهٔ آن‌ها تغذیه می‌شوند [۳۰]. با اجرای روش‌های یادشده، ضمن کاهش خطر جاری شدن سیلاب در الگوهای بارش سیلابی، ضریب نفوذ آب به داخل زمین در مناطق شهری افزایش پیدا کرده و در نتیجه می‌توان آبخوان‌های زیرزمینی را با استفاده از رواناب‌های شهری تغذیه کرد.

با این‌حال، ممکن است کیفیت فاضلاب شهری تصفیه‌شده یا رواناب‌های سطحی به دلایلی همچون تصفیهٔ ناقص، تخلیهٔ غیرمجاز فاضلاب به درون جوی‌ها و غیره افت کرده و به صورت مستقیم امکان استفادهٔ مجدد از آن مقدور نباشد. در چنین شرایطی برای استفاده از پساب/ رواناب به منظور آبیاری فضای سبز نیاز به طراحی و تعبیهٔ فرایند تصفیهٔ تکمیلی بر اساس استانداردهای تعیین‌شده وجود دارد. برای تصفیه و بازچرخانی رواناب‌های سطحی به منظور آبیاری فضای سبز شهری، بسته به کیفیت و مشخصات پساب/ رواناب از مجموعه‌ای از روش‌های متداول از جمله فرایندهای فیزیکی به عنوان پیش‌تصفیه (دانه‌گیری و آشغال‌گیری)، فرایندهای بیولوژیکی (لجن فعال هوازی)، فرایند فیزیکوشیمیایی (انعقاد و لخته‌سازی) و در صورت نیاز از فیلتراسیون نهایی (فرایندهای غشایی، میکروفیلتراسیون، نانوفیلتراسیون) بهره گرفته می‌شود [۱۷ و ۲۱]. این روش‌ها به منظور حذف آلاینده‌ها، کاهش مواد مغذی، کنترل رسوبات و تأمین کیفیت مناسب آب برای گیاهان به کار می‌رود (جدول ۲).

جدول ۲. فرایندهای متداول به منظور تصفیه و بازچرخانی رواناب و پساب (فاضلاب تصفیه‌شده) برای آبیاری فضای سبز [۱۷ و ۲۱]

ردیف	نوع فرایند تصفیه	توضیحات
۱	فیزیکی	فرایندهای حذف فیزیکی از جمله آشغال‌گیرها و مخازن ته‌نشینی برای حذف جامدات درشت. برخی از این فرایندها عبارت‌اند از: توری‌ها و آشغال‌گیرها: برای جدا کردن ذرات درشت مانند برگ، پلاستیک و آشغال پیش از ورود به سامانهٔ فرایندی استفاده می‌شود. حوضچه‌های ته‌نشینی: رسوبات و ذرات معلق موجود در رواناب را در این مرحله خارج می‌کنند تا از گرفتگی مراحل بعد جلوگیری شود.
۲	بیولوژیکی	برای حذف آلاینده‌های آلی محلول. دو فرایند متداول عبارت‌اند از: فرایند MBBR: استفاده از بسترهای رشد چسبیده معلق برای افزایش بار میکروبی در مخزن تصفیه فرایند اختلاط کامل (لجن برگشتی): هوادهی فاضلاب و برگشت لجن جمع‌آوری‌شده در مرحلهٔ ته‌نشینی به فرایند تصفیهٔ هوازی
۳	فیزیکوشیمیایی	استفاده از مواد منعقدکننده (مانند سولفات آلومینیوم و فریک کلراید) و لخته‌ساز (پلی‌الکترولیت‌ها) برای تسهیل ته‌نشینی مواد جامد معلق و کلوئیدی در ترکیب فاضلاب
۴	گندزدایی	برای حذف جمعیت میکروبی داخل پساب/ رواناب تا حدود استاندارد. شامل استفاده از مواد ضدعفونی‌کننده مانند هیپوکلریت‌های سدیم یا کلسیم، گاز کلر، گاز اُزُن
۵	فیلتراسیون نهایی	برای حذف ترکیبات آلایندهٔ باقی‌مانده در ترکیب فاضلاب که در مراحل قبلی به طور کامل حذف نشده‌اند. برخی از این فرایندها عبارت‌اند از: فیلتر شنی، فیلتر کربن، میکروفیلتراسیون، نانوفیلتراسیون

استفاده از پساب تصفیه‌شده و رواناب‌های سطحی به عنوان منابع آبی جایگزین برای آبیاری فضای سبز شهری، نه تنها راه‌حل هوشمندانه‌ای برای حفظ منابع آب شیرین محسوب می‌شود، بلکه با داشتن مزایایی همچون صرفهٔ اقتصادی، تأمین مواد

1. Infiltration basin
2. Bioswale
3. Porous pavement
4. Infiltration trench
5. Artificial wetland
6. Grass swales

مغذی (پساب حاوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، کاهش آلودگی محیط زیست و افزایش پایداری، نقش کلیدی در تحقق اهداف توسعهٔ پایدار شهری ایفا می‌کند [۱۶، ۱۷، ۲۱ و ۳۰].

مواد و روش‌ها

در مطالعهٔ حاضر، ابتدا نیاز آبی فضاهای سبز درون‌شهری (شامل بوستان‌ها، معابر، بوستان‌های جنگلی) و برون‌شهری (کمربند سبز) تهران با توجه به گونه‌های گیاهی و مساحت تحت پوشش، به تفکیک مناطق ۲۲گانه محاسبه شد. همچنین، میزان برداشت آب از منابع زیرزمینی (شامل چاه‌ها و قنات‌ها) در سال ۱۴۰۱ (سال مبنا) محاسبه شد. علاوه بر این، دبی آب قابل برداشت از کانال‌های سطحی بر اساس دبی آب سطحی جاری در آن‌ها که بر اساس عرض کانال، ارتفاع آب و سرعت جریان در مسیل‌های اصلی شهر تهران محاسبه شد. همچنین، میزان برداشت و دریافت فاضلاب تصفیه‌شده از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تحت نظارت وزارت نیرو تخمین زده شد. سپس با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده، میزان آب قابل برداشت از منابع چهارگانهٔ یادشده در برش‌های ۳ساله و ۱۰ساله و با توجه سیاست تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز از منابع آبی نامتعارف، تخمین زده شد. درخور یادآوری است، در محاسبهٔ تمامی اعداد یادشده، موقعیت محل برداشت و استحصال آب و همچنین، موقعیت و نیاز آبی فضای سبز مجاور در نظر گرفته شد. علاوه بر موارد یادشده، مقالات و نوشته‌های علمی از درگاه‌های داخلی و خارجی همچون Scopus، WOS، Elsevier، علم‌نت، و ... با استفاده از کلیدواژه‌هایی همچون بازچرخانی پساب، بازیابی آب، و استفاده از منابع آب نامتعارف برای نگهداشت و توسعهٔ فضای سبز پیدا شد و مورد بررسی قرار گرفت تا روش‌های مناسب برای استفادهٔ مجدد از رواناب‌ها و تأمین آب برای آبیاری فضای سبز از طریق منابع آبی غیرمتعارف مشخص شوند.

یافته‌ها

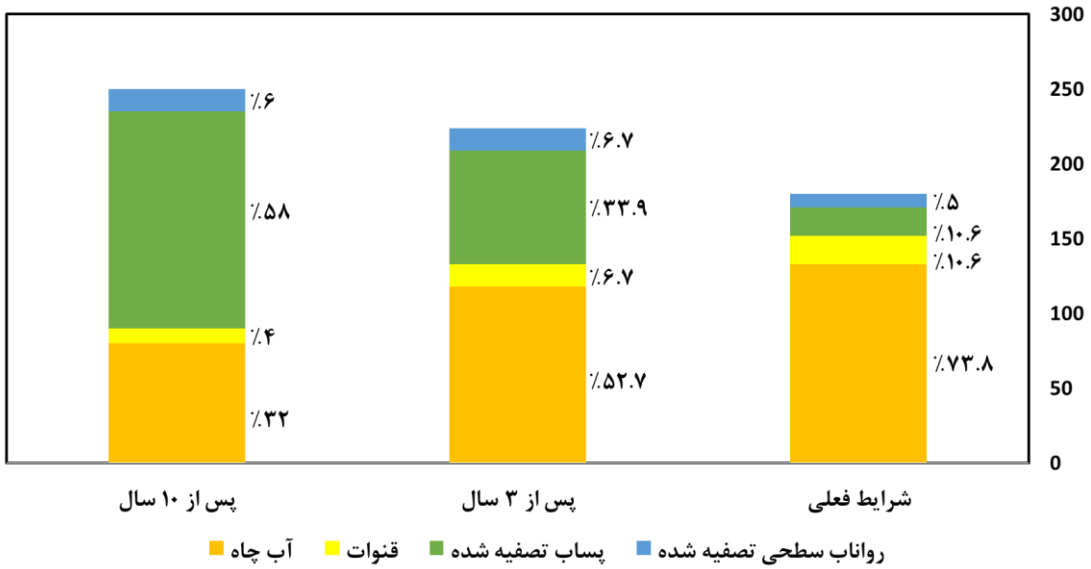
بر اساس شاخص تنش آب سازمان ملل و با توجه سرانهٔ آب در دسترس ۳۶۶ مترمکعب در سال در تهران، شهر تهران با برداشت بیش از ۸۰ درصد از کل منابع آبی شهر تهران، در حال حاضر در وضعیت «تنش آبی شدید» قرار دارد. برای کاهش تنش آبی از وضعیت قرمز به نارنجی (جدول ۱)، مصرف آب از ۴۲۰۱ م.م.م مکعب در حال حاضر، باید به ۲۹۱۲ م.م.م در سال (معادل ۶۰ درصد از کل منابع آبی) کاهش پیدا کند که این به معنای کاهش ۳۰ درصدی مصرف نسبت به شرایط فعلی است. یک اقدام مؤثر در این زمینه، جایگزینی پساب و رواناب‌های تصفیه‌شده با آب چاه‌ها و قنات‌ها برای آبیاری فضای سبز است.

در این‌زمینه، شهرداری تهران که در چارچوب مدیریت شهری غیرمتمرکز (Disintegrated Urban Management) فعالیت می‌کند، در نظر دارد تا سهم منابع آب غیرمتعارف را برای تأمین نیازهای آبی به‌ویژه مرتبط با آبیاری و افزایش فضاهای سبز شهری و همچنین، نیازهای ایستگاه‌های آتش‌نشانی، نظافت معابر عمومی و سایر کاربردهای جزئی افزایش دهد. این طرح شامل تصفیه و بازچرخانی رواناب‌های سطحی شهری از طریق تأسیس ۲۴ واحد تصفیهٔ فاضلاب غیرمتمرکز با ظرفیت کل ۱۵ میلیون متر مکعب در سال در یک دورهٔ سه‌ساله است. علاوه بر این، شهرداری تهران برنامه‌ای برای بازچرخانی داوطلبانهٔ پساب تصفیه‌شدهٔ شهری از ۱۶ واحد تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهری موجود طراحی کرده است. این امر با نصب ایستگاه‌های پمپاژ، مخازن ذخیره‌سازی موقت و شبکهٔ انتقال در هفت مکان مشخص محقق خواهد شد.

در حال حاضر، توزیع برداشت آب از منابع مختلف توسط شهرداری تهران به شرح زیر است: چاه‌ها در حدود ۱۳۳ میلیون متر مکعب در سال، قنات‌ها ۱۹ میلیون متر مکعب در سال، فاضلاب تصفیه‌شده ۱۹ میلیون متر مکعب در سال و بازچرخانی آب‌های سطحی شهری ۹ میلیون متر مکعب در سال را تأمین می‌کنند (جدول ۳). با اجرای طرح حاضر، علاوه بر افزایش ظرفیت کل آب موجود از ۱۸۰ به ۲۵۰ میلیون متر مکعب در سال طی ده سال آینده، پیش‌بینی می‌شود کاهش قابل توجهی در وابستگی به چاه‌ها و قنات‌ها ایجاد کند و سهم آن‌ها را از ۸۴/۵ درصد به ۳۶ درصد کاهش دهد. به طور هم‌زمان، انتظار می‌رود سهم بازچرخانی آب‌های سطحی شهری و فاضلاب شهری از تأمین کل آب از ۱۵/۶ درصد به حدود ۶۴ درصد طی افق ده‌ساله افزایش یابد (شکل ۶). با اجرای طرح حاضر، میزان برداشت از چاه‌ها و قنوات شهری پس از ۳ و ۱۰ سال به‌ترتیب ۱۹ م.م.م و ۶۲ م.م.م نسبت به میزان برداشت فعلی (مبنا) کاهش خواهد یافت که گام مؤثری در کاهش تنش آبی در شهر تهران خواهد بود.

جدول ۳. میزان برداشت فعلی و برنامه‌ریزی‌شده آب از منابع آبی مختلف

نوع منبع آبی	مصرف آب سال ۱۴۰۱ (مبنا) (م.م.م در سال)	افق ۳ساله (م.م.م در سال)	افق ۱۰ساله (م.م.م در سال)
آب چاه	۱۳۳	۱۱۸	۸۰
قنات‌ها	۱۹	۱۵	۱۰
پساب تصفیه‌شده	۱۹	۷۶	۱۴۵
رواناب سطحی تصفیه‌شده	۹	۱۵	۱۵
کل	۱۸۰	۲۲۴	۲۵۰



شکل ٦. سهم مبنا و برنامه‌ریزی‌شده (پس از ۳ و ۱۰ سال) برای برداشت آب از منابع مختلف به منظور آبیاری فضای سبز

علاوه بر این، شهرداری تهران می‌تواند منابع فاضلاب تصفیه‌شده را از تأسیسات تصفیهٔ فاضلاب مجتمع‌های مسکونی، تأسیسات تصفیهٔ فاضلاب صنعتی و سیستم‌های فیلتراسیون پساب تأسیسات تصفیهٔ آب شناسایی کند و ارزیابی لازم را برای امکان استفاده از این پساب‌های تصفیه‌شده به عنوان جایگزینی برای آب خام استخراج‌شده از چاه‌ها و قنات‌ها انجام دهد. در صورت داشتن کیفیت مورد نیاز، پساب‌های یادشده نیز می‌توانند به عنوان منابع آب نامتعارف برای آبیاری فضای سبز مورد استفاده قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

یک راهکار پایدار به منظور تأمین آب مورد نیاز برای نگهداشت و توسعهٔ فضای سبز، استفاده از رواناب‌های سطحی و پساب تصفیه‌شده برای آبیاری است. بر اساس مطالعات انجام‌شده، مجموع نیاز آبی فضای سبز درون‌شهری و برون‌شهری شهر تهران حدود ۲۱۶ م.م.م در سال است. در شرایط فعلی، آب برداشتی از منابع چاه‌ها، قنات‌ها، پساب تصفیه‌شده و رواناب‌های سطحی به‌ترتیب با سهم‌های ۷۴، ۱۰/۵، ۱۰/۵ و ۵ درصد، به میزان ۱۸۰ م.م.م است. بر اساس برنامه‌ریزی انجام‌شده میزان برداشت آب از منابع چاه‌ها و قنات‌های شهری پس از ۳ و ۱۰ سال، می‌تواند به‌ترتیب به مقدار ۱۹ و ۶۲ م.م.م کاهش یابد. همچنین، درخور یادآوری است که ظرفیت استفادهٔ بیشتر از منابع رواناب‌های سطحی و پساب تصفیه‌شده نیز وجود دارد؛ با این‌حال، چالش‌هایی نظیر مالکیت حقوقی پساب تصفیه‌شده و رواناب‌های سطحی، و همچنین، عدم امکان آبیاری تمامی فضاهای سبز شهری از جمله بخش‌های تفرجی مانند پارک‌ها با پساب شهری به دلیل مسائل بهداشتی، باعث می‌شود نتوان ظرفیت استفاده از منابع غیرمتعارف یادشده با بیش از این را افزایش داد. بنابراین، پساب تصفیه‌شده و رواناب‌های سطحی هر دو می‌توانند منابع قابل

اتکایی برای آبیاری فضای سبز شهری باشند؛ اما سطح تصفیه باید بر اساس نوع کاربری (چمن عمومی، پارک بازی کودکان، درختکاری) و استانداردهای تدوین‌شده مشخص شود.

یک راهکار دیگر برای کاهش مصرف آب در آبیاری فضای سبز و به تبع آن، کاهش برداشت آب از منابع زیرزمینی، کاهش نیاز آبی از طریق کاشت گونه‌های گیاهی مناسب سازگار با اقلیم و با مصرف آب پایین و به‌کارگیری آن‌ها در توسعهٔ فضای سبز شهری است [۳۱]. در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک و تا حدی خشک تهران (با تابستان‌های گرم، زمستان‌های نسبتاً کوتاه و بارندگی سالانهٔ محدود) انتخاب گونه‌های گیاهی با نیاز آبی پایین و سازگار با مشخصات خاک منطقه اهمیت اساسی در توسعهٔ پایدار فضای سبز شهری دارد [۳۲]. تنوع ارتفاع، نوع خاک منطقه، دما و میزان بارش از جمله پارامترهای تأثیرگذار در انتخاب پوشش گیاهی مناسب هستند [۳۱ ـ ۳۳]. بر اساس مطالعات انجام‌شده و بر اساس اقلیم شهر تهران، گونه‌های درختی همچون داغداغان و زیتون تلخ و پسته چینی، گونه‌های درختچه همچون ارغوان و سنجد زینتی، و گونه‌های گیاه‌های پوششی و زینتی همچون گل‌ناز و جونی‌پروس از جمله گونه‌های مناسب و سازگار با اقلیم شهر تهران هستند [۳۲].

شایان یادآوری است که کاشت گونه‌های بومی و مقاوم باید با مطالعات خاک و انتخاب دقیق گونه بر اساس موقعیت جغرافیایی، نوع خاک و کاربری انجام شود. همچنین، باید در نظر داشت که ایجاد فضای سبز و مناظر آب‌بر در اقلیم خشک رویکردی ناکارآمد است، چرا که در میان‌مدت و بلندمدت به ایجاد چالش در تأمین آب مورد نیاز منجر خواهد شد [۳۱]. در چنین شرایطی، طراحی خشک‌منظره (xeriscape) نیز می‌تواند رویکرد مناسبی باشد که در آن ترکیب گیاهان کم‌آب‌بر با زیرساخت سبز و روش‌های آبیاری کارآمد به کار گرفته می‌شود [۳۴]. استفاده از رویکردهای پایدارتر، فوایدی همچون کاهش نیاز آبی، افزایش دوام و کاهش هزینه‌های نگهداری، را به دنبال خواهد داشت [۳۱].

همچنین، یک راهکار مؤثر دیگر در راستای کاهش آب مصرفی در فضای سبز، استفاده از روش‌های آبیاری نوین با بازدهی بالا است. انتخاب یک سیستم آبیاری مناسب با آب بازیابی‌شده برای اطمینان از کاربرد یکنواخت و کارایی بالا حائز اهمیت است. کیفیت فاضلاب، نوع خاک و گونه‌های گیاهی، توانایی کاربر در استفاده از روش‌های مختلف و خطرات بالقوه برای محیط زیست و سلامت انسان نوع آبیاری انتخابی را تعیین می‌کند [۱۷]. روش‌های آبیاری را می‌توان به پنج دسته تقسیم کرد: ۱) آبیاری غرقابی (Flood irrigation)، ۲) آبیاری جوی و پشته (Furrow irrigation)، ۳) آبیاری بارانی (Sprinkle irrigation)، ۴) آبیاری زیرسطحی (Subsurface irrigation) و ۵) آبیاری موضعی (Localized irrigation) [۳۵ ـ ۳۷].

آبیاری زیرسطحی از نوین‌ترین و مؤثرترین روش‌ها برای آبیاری فضای سبز شهری است که با توجه به بحران آب و لزوم توسعهٔ پایدار، جایگاه ویژه‌ای در مدیریت بهینهٔ منابع آبی پیدا کرده است. در این روش، آب به‌وسیلهٔ لوله‌ها یا نوارهای قطره‌ای که در عمق مشخصی از خاک (معمولاً ۲۰ تا ۵۰ سانتی‌متر) نصب می‌شوند، مستقیم به ناحیهٔ ریشهٔ گیاهان منتقل می‌شود. این فناوری هم در پارک‌ها، بلوارها و فضاهای سبز شهری و هم در زمین‌های کشاورزی قابل پیاده‌سازی است و می‌تواند فوایدی همچون صرفه‌جویی بسیار زیاد در مصرف آب، کاهش رشد علف‌های هرز، کاهش بیماری‌های گیاهی، امکان استفاده از پساب تصفیه‌شده یا آب‌های بازیافتی و افزایش بهره‌وری و رشد گیاه را در پی داشته باشد. با این‌حال، ملاحظاتی مانند عمق دفن لوله، نوع قطره‌چکان و فشار آب متناسب با نوع گیاه و مشخصات خاک در طراحی این سیستم‌ها باید در نظر گرفته شود.

بنابراین با توجه به مطالب یادشده، پساب تصفیه‌شده و رواناب مهارشده به عنوان منابع آب نامتعارف، هر دو می‌توانند منبع قابل اتکایی برای آبیاری فضای سبز شهری باشند؛ با این‌حال سطح تصفیه باید بر اساس نوع کاربری (چمن عمومی، پارک بازی کودکان، درختکاری) تعیین شود. مزایای تصفیهٔ آب‌های سطحی شهری و فاضلاب شهری برای مقاصد بازچرخانی متعدد است. نخست اینکه، این کار تاب‌آوری سیستم‌های آبی شهری را با تنوع بخشیدن به منابع تأمین آب و کاهش آسیب‌پذیری نسبت به تغییرات اقلیمی افزایش می‌دهد. دوم اینکه، استفاده از آب‌های سطحی شهری و فاضلاب تصفیه‌شده برای نگهداری و توسعهٔ فضاهای سبز شهری به بهبود ارزش زیبایی‌شناختی، افزایش تنوع زیستی و افزایش کربن‌زدایی در شهرها کمک می‌کند [۱۸]. در پایان، یادآوری این موضوع ضرورت دارد که با کاهش تقاضا برای آب شرب در کاربردهای غیرشرب، حفاظت و پایداری آب توسعه داده می‌شود.

منابع

1. Mekonnen MM, Hoekstra AY. Four billion people facing severe water scarcity. Sci Adv. 2016;2(2):e1500323.
2. Water scarcity | UNICEF [Internet]. [cited 2025 Sep 22]. Available from: https://www.unicef.org/wash/water-scarcity
3. General Directorate of Meteorology of Tehran Province. Spring 1404 Quarterly Journal of Tehran Meteorology. 1404.
4. Martin Armstrong. Global water accessibility. 2024 [cited 2025 Aug 29]. Where Water Stress Will Be Highest by 2050 | Statista. Available from: https://www.statista.com/chart/26140/water-stress-projections-global/
5. Hosseini SM. Development of an Urban Water Scarcity Index (Case Study: Tehran City). Iran-Water Resources Research. 2023;19(1):167–74.
6. Nabavi S, Mostafazadeh R. Analysis of water stress indices and the network of water governance in the Sixth 5-year development plan of Iran. Irrigation and Water Engineering. 2021;12(2):394–413.
7. Ministry of Energy. 43rd meeting of the Supreme Water Council of the Ministry of Energy. 1400.
8. Regional Water Company of Tehran. No Title. 1401.
9. Volkova NE, Ivanyutin NM, Popovich V V. Assessment of the prospects for the use of treated wastewater for irrigation purposes in the Republic of Crimea. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing; 2022. p. 12028.
10. Al-Murshady KR, Al-Qaisi AZ, Ali ZH. The ability of using treated wastewater for irrigation purposes: middle Euphrates of Iraq as a case study. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing; 2021. p. 12101.
11. Ritchie H, Roser M. Water Use and Stress. Our World in Data [Internet]. 2018 Jul 1 [cited 2025 Aug 29]; Available from: https://ourworldindata.org/water-use-stress
12. Odendaal PE. Unconventional sources of water supply. Water and Health; EOLSS: Oxford, UK. 2009;2:88.
13. Karimidastenaei Z, Avellán T, Sadegh M, Kløve B, Haghighi AT. Unconventional water resources: Global opportunities and challenges. Science of the Total Environment. 2022;827:154429.
14. Dayani S, Sabzalian MR, Hadipour M, Eslamian S. Water scarcity and sustainable urban green landscape. Handbook of drought and water scarcity. 2017;557–604.
15. Xu Z, Marini S, Mauro M, Maietta Latessa P, Grigoletto A, Toselli S. Associations between urban green space quality and mental wellbeing: Systematic review. Land (Basel). 2025;14(2):381.
16. Organization WH. Urban green space interventions and health: A review of impacts and effectiveness. Urban green space interventions and health: a review of impacts and effectiveness. 2017;
17. Santos AF, Alvarenga P, Gando-Ferreira LM, Quina MJ. Urban wastewater as a source of reclaimed water for irrigation: barriers and future possibilities. Environments. 2023;10(2):17.
18. Oron G, Campos C, Gillerman L, Salgot M. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. Agric Water Manag. 1999;38(3):223–34.
19. Garcia D, Muñoz Meléndez G, Arteaga A, Ojeda-Revah L, Mladenov N. Greening urban areas with decentralized wastewater treatment and reuse: a case study of Ecoparque in Tijuana, Mexico. Water (Basel). 2022;14(4):596.
20. Schwecke M, Simmons B, Maheshwari B. Sustainable use of stormwater for irrigation case study: Manly Golf Course. Environmentalist. 2007;27:51–61.
21. Boukhaffa C, Lafdil M, Chkird F, Derouiche M, Boulida Z, Arabi M, et al. Reusing Treated Wastewater for Irrigation in Urban Areas: Challenges and Opportunities for Green Spaces. In: E3S Web of Conferences. EDP Sciences; 2025. p. 1011.
22. Farah GT. SEMINAIRE INTERNATIONAL SUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES DANS LA REGION ARABE. 2011;
23. Municipality of Isfahan. World of Economy Newspaper. 1403 [cited 2025 Aug 31]. Irrigation of green spaces in Isfahan with treated wastewater using nano-ozone. Available from: https://donya-e-eqtesad.com/نانوازون-با-شده-تصفیه-پساب-با-اصفهان-سبز-فضای-آبیاری-63/4080916-نامه-ویژه-بخش

24. Darapour et al. Use of treated hospital wastewater for irrigating green spaces. Journal of water and wastawater. 1383;
25. Ministry of Energy. Resolution of the Ministry of Energy regarding the determination of non-subsidized water prices approved on 31/01/1404 with subsequent amendments and additions. 1404.
26. Regional Water Company of Tehran. Meeting for the Development of Drought Adaptation Program for Tehran Province. 1400.
27. Department of Environment and Sustainable Development M of T. Operational plan for wastewater and runoff reuse. 1401.
28. Department of Environment and Sustainable Development M of T. Comprehensive Raw Water Study. 1404.
29. Fletcher TD, Deletic A, Mitchell VG, Hatt BE. Reuse of urban runoff in Australia: a review of recent advances and remaining challenges. J Environ Qual. 2008;37(S5):S-116.
30. Jusić S, Hadžić E, Milišić H. Urban stormwater management–new technologies. In: International Conference "New Technologies, Development and Applications". Springer; 2019. p. 790–7.
31. Arhuire-Ossio M, Vélez-Azañero A, Quiros-Rossi L, Thomas E, Ladd B. Optimizing water use efficiency in urban green space of a hyper-arid megacity through tree species selection: a case study. Urban Water J. 2023;20(10):1331–5.
32. Rabiei Sadeghabadi M, Nouri O, Deihimfard R. Plant selection for semi-arid urban landscapes with an emphasis on climate change (case study: Tehran). Environ Sci (Ruse). 2020;18(1):219–36.
33. Ahmadi M, Alibakhshi Z, Farajzade Asl M. Detection of Spatio-temporal changes in the vegetation of Tehran and satellite cities in association with land surface temperature. Environ Sci (Ruse). 2019;17(4):133–50.
34. Jahangiri L, Mehrabanigolzar MR, Zarrabi MM. Modification of green space planting pattern based on the principles of xeriscaping to reduce water consumption in metropolitan areas. 2022;
35. Kumar P. A review on types of irrigation system and their advantages. IJRAR. 2018;5(3):79–84.
36. Derbala AA, Elmetwalli AH, Attafy TM, Abdelglil AA, Amer MM. Performance evaluation of drip irrigation system using two types of irrigation water. Misr Journal of Agricultural Engineering. 2023;40(3):203–16.
37. Fam D, Mosley E, Lopes A, Mathieson L, Morison J, Connellan G. Irrigation of urban green spaces: A review of the environmental, social and economic benefits. CRC for Irrigation Futures Technical Report. 2008;4(08).