Amirkabir Journal of Civil Engineering

Amirkabir J. Civil Eng., 54(10) (2023) 791-794
DOI: 10.22060/ceej.2022.20421.7422

Environmental Impacts Assessment of Water Demand Management Policies on Urban Water Systems Using Life Cycle Approach

M. Abbasi, M. Tabesh*, H. Safarpour, S. A. R. Shahangian

School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

ABSTRACT: Although increasing the population and urbanization worldwide have led decision-makers to consider urban water management policies more often, any policies, in turn, can positively and negatively affect urban water systems. In recent years, in response to intensifying water crisis across Isfahan province, pressure management has been applied in order to reduce water access as a new water demand management strategy in most cities of this province. The present study investigated the environmental effects of such a policy in Baharestan city (Isfahan province) during the 2018-2036 period, using a life cycle approach and different percentages of available water shortages. By considering the conditions of the study area, the life cycle assessment was conducted to explore the environmental impacts of processes such as network failure and energy consumption at the pumping station through SimaPro software. The results revealed that a significant part of the environmental effects in the water supply and distribution network were related to network failures, which, in comparison with energy consumption, have many effects on most midpoint and endpoint environmental effects. Based on the result, the endpoint environmental effects caused by network failures are, on average, 2.2 times greater than pumping systems. The finding suggested that by applying pressure management, the endpoint environmental effects in both short-term and long-term scenarios were reduced by 14.7% and 20.2%, respectively. Hence, it can be deduced that the pressure management policy can be an effective policy instrument in minimizing the environmental impacts of the water distribution network and pumping system.

Review History:

Received: Aug. 08, 2021
Revised: Mar. 18, 2022
Accepted: May, 16, 2022
Available Online: Jul. 03, 2022

Keywords:

Pressure Management
Water Distribution Network
Pumping System
Life Cycle Assessment (LCA)
Environmental Effects

1- Introduction

Although water security is the most critical prerequisite for achieving sustainable development, more than half of the world's population is suffering from water insecurity resulting from water scarcity nowadays [1]. Urban areas are particularly susceptible to water scarcity [1]. Water scarcity is a real problem in these areas and poses a severe threat to the sustainable development of human societies [2]. As a fundamental response to water scarcity and environmental concerns, water demand management policies are viewed as a practical approach to reducing urban water consumption [3, 4]. These policies will help to provide the most water services with the least amount of water supply [5]. Escalating water scarcity across the province of Isfahan has prompted policymakers to apply pressure management to reduce water access as a new water demand management strategy in most cities of the province. This is while that the implementation of any policy in urban water management, including water demand management, which is implemented to improve current and future conditions, will have wide positive and negative consequences on various system dimensions. Consequently, these might affect even urban water infrastructure [6]. The review of previous studies has shown a significant research gap in applying a comprehensive approach that utilizes a precise data set to comprehensively assess the environmental impacts of water demand management policies on urban water systems, specifically pressure management policy aimed at reducing water access. Among the previous research, only Safarpour et al. [6] examined the environmental effects of such policy only on the municipal wastewater system (including wastewater collection networks and treatment plants). Therefore, there is no assessment of the environmental impacts driven by applying pressure management policies aimed at reducing water access in municipal water distribution systems. The current study focused on evaluating the environmental impacts of implementing such policy in a real water supply system (including pumping station and distribution network) and the operation phase of the system. Ultimately, the present research findings can provide a tangible and valuable perspective for policymakers and researchers.

*Corresponding author's email: mtabesh@ut.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

Table 1. Population changes and reduced per capita water consumption of end-users based on different scenarios

Scenario	Time period		Population	Water Shortage (%)	Water consumption (lpcd)
1	Short term	1 Year	86011	0	204.2
2		1 Year	86011	8.8	186.2
3	Mid term	14 Year	131118	20	163.36
4	Long term	19 Year	148467	0	204.2
5		19 Year	148467	30	142/94

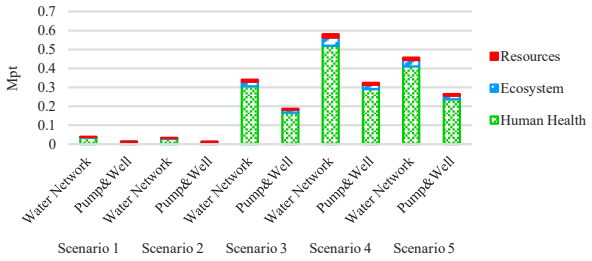


Fig. 1. Comparing environmental impacts between the water distribution network and pumping system in every scenario by the ReCipe endpoint method

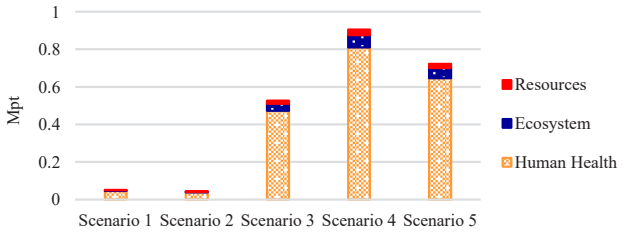


Fig. 2. Comparing scenarios using ReCipe endpoint method

2- Methodology

2.1. Case study and comparison of scenarios

Based on a case study (Bahararestan city), this paper appraised the environmental effects of applying pressure management policies during periods of water shortage in the water supply system. Using five different scenarios, the results of this study were analyzed, reviewed, and compared. The scenarios were classified into short-term, mid-term, and long-term, depending on the reduction in pressure in the distribution network and the water volume delivered to consumers (Table 1).

2- 1- Life cycle assessment

As part of an environmental assessment, life cycle assessment is widely adopted as one of the primary methods of assessing environmental processes, products, and services [7]. Life cycle assessment has been used to analyze urban water systems, including treatment plants, supply and distribution systems, and water collection and treatment systems [8-10]. The LCA study consists of four main stages [7]: (1) Determining the goal and scope of the study, which establishes the boundaries of the system, purpose, and limitations of the study. This study aimed to assess the environmental effects of applying several real and/or hypothetical scenarios of pressure management in facing water shortage conditions on the urban water supply system, including pumping station, water supply well, and urban water distribution network. The research frontier of the present study was also energy consumption by pumping stations and wells, network and asphalt failures, and transportation during operation; (2) Life cycle inventory (LCI) involved recording various types of data (input and output) within the system's boundaries. All data must be relevant to the functional unit defined in the objectives. In the operation stage, the water distribution network (including replacement or repair of damaged pipes and branches within the urban water distribution networks, re-asphalting in case of trench surface damage and additional damaged asphalt layers, as well as other operational processes related to the urban water distribution network) and water pumping system (including the electricity consumption for water pumping) are considered; (3) Life Cycle Impact Assessment (LCIA), in which the data collected had been appraised based on the evaluation methods and using SimaPro software; and (4) Interpretation of the results [7, 11, 12]. Following are the LCA steps by ISO standards that assess the environmental impacts of the municipal water distribution network and the water pumping system.

3- Results and Discussion

By using 18 midpoint indicators, this research compared the environmental effects of implementing the pressure management policy aimed diminishing households' water access during water scarcity conditions for two phases of the municipal water distribution network and the pumping system. Comparing Scenario 2 with Scenario 1 (short term) and Scenario 5 with Scenario 4 (long term), midpoint environmental impacts in the water distribution network phase decreased by 16% and 21%, respectively, while in the pumping system phase, they decreased by approximately 8.7% and 18.5%. According to Figure 1, in all scenarios, the municipal water distribution network's endpoint environmental impacts were more extensive than the pumping energy consumption. Furthermore, it had the most significant effect on human health in the group of final impacts. Most of the phases considered in all scenarios can threaten human health.

Figure 2 illustrated that by increasing the years of pressure management and the end of the design period approaches, the endpoint impacts intensify in scenarios 3 and 5, respectively. Scenario 4's endpoint impacts were approximately 1.25 times greater than Scenario 5. Human health had the most significant impact on this study, representing the most effects of the final effects group.

The values of scenarios in this category consisted of Scenario 4 (Mpt 0.81), Scenario 5 (Mpt 0.64), Scenario 3 (Mpt 0.47), Scenario 1 (M45 0.045), and Scenario 2 (Mpt 0.039). By implementing a water demand management policy in low water conditions, less energy and water were consumed in the long run, and the environmental impacts were reduced.

4- Conclusion

In general, the results of the study suggested the importance of addressing the various affective and influential aspects of the urban water system (e.g., assessing the environmental impacts) following the implementation of water demand management policies, particularly regarding pressure management when water scarcity occurs, which has relatively received little attention in previous studies. According to findings of evaluating the environmental impacts of pressure management policy aimed at reducing water access in the face of water scarcity conditions based on the life cycle approach, asphalt and network failures were almost twice as energy-intensive as operations. On the other hand, due to a large number of breaks in the branch pipes of the study city's water network, the environmental impacts of asphalt were considerable. As a result of reduced water consumption by end-users and fewer incidents and failures in the water distribution network, there were fewer environmental impacts associated with pressure management. However, the environmental burden was relatively low in the short term; as by approaching the end of the project period, with an increasing population and demand, the environmental burden increased even after demand management measures had been implemented. It demonstrated how vital water demand management policies are to reduce the impacts of urban water supply systems on the environmental categories. The research results not only can contribute to an in-depth understanding of this area and inform decision-makers to make comprehensive decisions in urban settings but may also provide a suitable practical guide for scholars for future studies.

References

[1] S.A. Shahangian, M. Tabesh, M. Yazdanpanah, T. Zobeidi, M.A. Raoof, Promoting the adoption of residential water conservation behaviors as a preventive policy to sustainable urban water management, Journal of Environmental Management, 313 (2022) 115005.

[2] S.A. Shahangian, M. Tabesh, M. Yazdanpanah, How can socio-psychological factors be related to water-efficiency intention and behaviors among Iranian residential water consumers?, Journal of Environmental Management, 288 (2021) 112466.

[3] M. Stavenhagen, J. Buurman, C. Tortajada, Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe, Cities, 79 (2018) 187-195.

[4] H. Safarpour, M. Tabesh, S.A. Shahangian, Social Impacts Assessment of Water Demand Management Policies on Wastewater System by Using SLCA Method, Amirkabir Journal of Civil Engineering, 53(12) (2022) 9-9.

[5] C.L. Cheng, Study of the inter-relationship between water use and energy conservation for a building, Energy and Buildings, 34(3) (2002) 261-266.

[6] H. Safarpour, M. Tabesh, S.A. Shahangian, Environmental Assessment of a Wastewater System under Water demand management policies, Water Resources Management, 36(6) (2022) 2061-2077.

[7] International Standard, ISO 14044: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Impact Interpretation, in, Geneva, Switzerland, 2006.

[8] W. Mo, Q. Zhang, J.R. Mihelcic, D.R. Hokanson, Embodied energy comparison of surface water and groundwater supply options, Water Research, 45(17) (2011) 5577-5586.

[9] A. Murray, A. Horvath, K.L. Nelson, Hybrid Life-Cycle Environmental and Cost Inventory of Sewage Sludge Treatment and End-Use Scenarios: A Case Study from China, Environmental Science & Technology, 42(9) (2008) 3163-3169.

[10] R. Renzoni, A. Germain, Life Cycle Assessment of Water: From the pumping station to the wastewater treatment plant (9 pp), The International Journal of Life Cycle Assessment, 12(2) (2007) 118-126.

[11] L. Corominas, D.M. Byrne, J.S. Guest, A. Hospido, P. Roux, A. Shaw, M.D. Short, The application of life cycle assessment (LCA) to wastewater treatment: A best practice guide and critical review, Water Research, 184 (2020) 116058.

[12] A. Gallego-Schmid, R.R.Z. Tarpani, Life cycle assessment of wastewater treatment in developing countries: A review, Water Research, 153 (2019) 63-79.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

M. Abbasi, M. Tabesh, H. Safarpour, S. A. R. Shahangian, Environmental Impacts Assessment of Water Demand Management Policies on Urban Water Systems Using Life Cycle Approach, Amirkabir J. Civil Eng., 54(10) (2023) 791-794.

DOI: 10.22060/ceej.2022.20421.7422

This page intentionally left blank

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۴، شماره ۱۰، سال ۱۴۰۱، صفحات ۳۹۰۳ تا ۳۹۲۲
DOI: 10.22060/ceej.2022.20421.7422

ارزیابی اثرات محیطزیستی سیاست‌های مدیریت تقاضا بر سیستم آب شهری با رویکرد چرخه حیات

مهناز عباسی، مسعود تابش*، هانیه صفرپور، سید احمدرضا شاهنگیان

دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران .

خلاصه: اگر چه افزایش شهرنشینی و روند رو به رشد جمعیت، سیاست‌گذاران را به سمت اقداماتی در حوزه مدیریت مصرف آب شهری سوق داده است، اما اتخاذ چنین سیاست‌هایی می‌تواند تبعات مثبت و منفی گسترده‌ای را بر جنبه‌های مختلف سیستم آب شهری به همراه داشته باشد. در طی سال‌های اخیر به دنبال افزایش بحران آب در استان اصفهان، مدیریت فشار به منظور کاهش دسترسی به آب به عنوان سیاست جدید مدیریت تقاضای آب در شهرهای مختلف این استان اعمال شده است. در این راستا، مطالعه حاضر دیدگاه نوینی را با رویکرد چرخه حیات برای بررسی اثرات محیطزیستی ناشی از اعمال چنین سیاستی با فرض درصدهای مختلف کمبود آب در دسترس طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۱۵، ارائه و در شهر جدید بهارستان (استان اصفهان) بررسی کرده است. سیاهه‌نویسی چرخه حیات برای فرآیندهایی از جمله خرابی شبکه و مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ بر اساس شرایط منطقه مورد مطالعه انجام شده و با استفاده از نرم‌افزار SimaPro ارزیابی چرخه حیات صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از اثرات محیطزیستی در شبکه تامین و توزیع آب مربوط به خرابی‌های شبکه است که نسبت به مصرف انرژی، تأثیرات بسیاری در اکثر گروه‌های میانی و پایانی اثرات محیطزیستی دارد، به طوری که اثرات پایانی محیطزیستی خرابی‌های شبکه به صورت میانگین ۲/۲ برابر سیستم پمپاژ است. با اجرای سیاست مدیریت فشار می‌توان اثرات محیطزیستی شبکه توزیع آب و سیستم پمپاژ را کاهش داد. با اعمال مدیریت فشار در سناریوها با بازه زمانی یکسان، اثرات محیطزیستی پایانی به ترتیب به میزان ۱۴/۷ درصد (کوتاه مدت) و ۲۰/۲ درصد (بلند مدت) کاهش یافته است.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۷
بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۲
پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۶
ارائه آنلاین: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲

کلمات کلیدی:
مدیریت فشار
شبکه توزیع آب
سیستم پمپاژ
ارزیابی چرخه حیات
اثرات محیطزیستی

۱- مقدمه

اگر چه امنیت آب[1] مهم‌ترین پیش‌نیاز در دستیابی به توسعه پایدار[2] محسوب می‌شود، اما در حال حاضر بیش از نیمی از جمعیت جهان دچار ناامنی آب ناشی از کمبود آب هستند [۱]. شواهد تجربی نشان می‌دهد که محرک‌های انسانی بسیاری از جمله رشد جمعیت، شهرنشینی، توسعه اقتصادی، صنعتی شدن و گسترش کشاورزی، تقاضای جهانی آب را در طول سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰ به حدود ۸ برابر افزایش داده که در ترکیب با اثرات تغییر اقلیم و عدم تطابق زمانی و مکانی بین دسترسی و تقاضای آب، بسیاری از نقاط جهان را با کمبود گسترده آب مواجه کرده است [۲] و پیش‌بینی می‌شود با بدتر شدن شرایط در آینده، کاهش کیفیت و دسترسی به آب را نیز در پی داشته باشد [۱]. از طرف دیگر، به علت افزایش رقابت بر سر کاربردها و ذی‌نفعان (گروداران)[3] مختلف آب (شهری، کشاورزی، صنعتی و محیطزیست) و کاهش دسترسی به آب با کیفیت (به علت استفاده بیش از حد از منابع)، منابع آب محدودی در دسترس است. علاوه بر این، هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری، تصفیه، انتقال و توزیع آب نیز در حال افزایش است. بنابراین تأمین آب آشامیدنی با کیفیت یک چالش اصلی در سطح جهان محسوب می‌شود [۳]. محدودیت‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطزیستی برای تأمین آب شهری از طریق روش‌های معمولی (مخازن، انتقال آب و غیره) منجر به توجه بیشتر به اعمال مدیریت تقاضا و همچنین استفاده از منابع تأمین آب غیرمتعارف شده است [۴].

سیاست‌های مدیریت تقاضای آب که به عنوان یک رویکرد مهم برای کاهش مصرف آب و پاسخی اساسی به کمبود آب و نگرانی‌های محیطزیستی مطرح می‌شوند [۶ و ۵]، کمک می‌کنند تا بیشترین خدمات آبی با حداقل

1 Water security
2 Sustainable development
3 Stakeholders

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: mtabesh@ut.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

حجم آب ممکن فراهم شود [۷]. مدیریت تقاضای آب، با برقراری تعادل مناسب بین گسترش ظرفیت تأمین، می‌تواند منافع زیادی از جمله به تأخیر انداختن هزینه‌های بالای تأمین آب و آثار منفی محیطزیستی آن، کاهش در هزینه‌های بهره‌برداری، کاهش فاضلاب تولیدی، کاهش مصرف آب گرم و صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی را به همراه داشته باشد [۷]. مدیریت تقاضای آب طیف وسیعی از اقدامات را دربر می‌گیرد و به طور کلی، دو دسته سیاست‌های وابسته به قیمت آب و سیاست‌های مستقل از قیمت آب را شامل می‌شود [۸]. مناطق شهری به طور خاص در برابر کمبود آب آسیب‌پذیر هستند [۲ و ۱] که نه تنها یک مشکل واقعی و روبه رشد در این مناطق است، بلکه خطری جدی برای توسعه پایدار جوامع بشری نیز محسوب می‌شود [۱]. علاوه بر این، با توجه به سکونت اکثر جمعیت جهان در مناطق شهری، روند رو به رشد تقاضای آب در این مناطق و محدودیت در منابع تأمین آب، مدیریت تقاضای آب شهری، به یک چالش و در عین حال یک ضرورت برای حفظ منابع کمیاب آب در این مناطق به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک تبدیل شده است [۹].

نکته حائز اهمیت این است که اعمال هر گونه سیاستی در حوزه مدیریت آب شهری به ویژه مدیریت تقاضای آب که در راستای بهبود شرایط موجود و آینده اجرایی می‌شود، بسته به نوع آن، می‌تواند تبعات مثبت و منفی گسترده‌ای را بر ابعاد مختلف در بر داشته باشد؛ به طوری که دامنه این تبعات می‌تواند حتی زیرساخت‌های آب شهری را تحت تأثیر قرار دهد [۱۱ و ۱۰ و ۸]. شبکه توزیع آب شهری نیز که به عنوان یکی از عناصر کلیدی و تأثیرگذار در زیرساخت‌های شهری، وظیفه تأمین آب با فشار و کیفیت مناسب و در حد استاندارد را دارد [۱۲]، از این موضوع مستثنی نیست. در شرایط عادی بهره‌برداری از سامانه‌های آبرسانی (تأمین در حالت عدم مواجهه با بحران کم‌آبی)، آب پس از استحصال از منابع، انتقال به تصفیه‌خانه و طی کردن فرآیندهای تصفیه، از طریق ایستگاه‌های پمپاژ به مخازن آب شهری و سپس به شبکه‌های توزیع آب وارد می‌شود و با فشار و کیفیت مطلوب به دست مصرف کننده می‌رسد. این در حالی است که در شرایط بروز بحران کم‌آبی و کمبود منابع تأمین آب (به ویژه در فصل‌های خشک سال)، با توجه به نوع سیاستی که از سوی مدیران بخش آب برای مقابله با وضعیت پیش آمده اتخاذ می‌شود، شرایط بهره‌برداری از این سامانه‌ها می‌تواند دستخوش تغییرات شود. تغییر در وضعیت هیدرولیکی و حتی کیفی شبکه توزیع آب، تغییر در رژیم ایستگاه‌های پمپاژ، تغییر الگو و نوسانات مصرف و نیز میزان تقاضای آب مصرف کنندگان (مشترکین)، تغییر در تقاضای برق و امکان تحمیل اضافه بار به شبکه توزیع برق (انرژی)، امکان نارضایتی مشترکین و تحمیل هزینه‌های اقتصادی به خانوارها و متولیان شرکت‌های آب و فاضلاب، از جمله تبعاتی است که سیاست‌های مدیریت تقاضای آب در این شرایط ممکن است در بر داشته باشند اما در تحقیقات کمی به این موضوع پرداخته شده و بخشی از خلا تحقیقاتی محسوب می‌شود.

رویکرد مدیریت فشار در سیستم‌های توزیع آب که یکی از اقدامات مدیریت تقاضا به شمار می‌رود [۱۳] به علت صرفه‌جویی قابل‌توجه در مصرف و هدررفت آب، مسئله مهمی برای شرکت‌های آب و فاضلاب است. سیاست مدیریت فشار مزایای قابل‌توجهی را برای دو ذی‌نفع اصلی آب شهری، یعنی شرکت‌های آب و فاضلاب و مصرف کنندگان نهایی به همراه دارد. از جمله این مزایا می‌توان به کاهش هزینه‌های ناشی از نشت آب، کاهش نرخ شکست لوله‌ها، کاهش تقاضای مبتنی بر فشار و کاهش انرژی مصرفی اشاره کرد. طی سال‌های گذشته، مطالعات بسیاری اثرات سیاست مدیریت فشار در سیستم‌های آب آشامیدنی را از جنبه‌های مختلفی ارزیابی کرده‌اند. یکی از اثرات مهم مدیریت فشار، کاهش نشت در شبکه توزیع آب است [۱۴] که با توجه به تلفات زیاد و کمبود منابع آب که در سال‌های اخیر در سراسر جهان مشاهده شده است، شرکت‌های آب و فاضلاب را بر آن داشته است تا نشت موجود در شبکه توزیع آب را شناسایی، مکان‌یابی و ترمیم کنند [۱۵]. از طرفی درک رفتار مصرف آب به عنوان تابعی از فشار در بحث مدیریت فشار دارای اهمیت فراوانی است. گومز و همکاران [۱۶] مدلی برای برآورد مزایای مدیریت فشار ارائه دادند که در آن اجزای مصرف خانگی و غیرخانگی به صورت وابسته به فشار (مانند سیستم‌های آبیاری، دوش و شیرآلات) و مستقل از فشار (مانند مخازن توالت، ماشین ظرفشویی و ماشین لباسشویی) از هم جدا شده‌اند. بر این اساس، تنها مولفه‌های مصرف خانگی که ممکن است تحت تأثیر فرایند مدیریت فشار قرار گیرند، از اجزای وابسته به فشار هستند. با این وجود، اگر این امر از نظر فیزیکی نیز صحیح باشد، در عمل، برخی از رویکردها حاکی از آن است زمانی‌که فشار کافی در سیستم وجود دارد، تقاضای مشتری بدون توجه به فشار، متفاوت است. تنها در صورت فشار ناکافی، مصرف متاثر از فشار سیستم است [۱۸ و ۱۷]. علاوه بر تاثیر مدیریت فشار بر نشت و میزان مصرف، از دیگر مزایای مدیریت فشار می‌توان به نرخ وقوع شکستگی‌های جدید در شبکه توزیع، به تأخیر انداختن بازسازی و نوسازی لوله‌ها، افزایش عمر تأسیسات زیربنایی، کاهش هزینه‌های کنترل فعال نشت، کاهش انرژی مصرفی و بهبود خدمات‌رسانی به مشتریان از طریق افزایش ساعات آبرسانی اشاره کرد [۱۹].

از آنجایی که تأمین آب یک صنعت انرژی بر است و ۲-۳ درصد انرژی در سراسر جهان را مصرف می‌کند، کاهش نشت آب در شبکه‌های توزیع و صرفه‌جویی در انرژی و کاهش اثرات محیطزیستی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است [۲۰]. در شبکه توزیع آب اجزای سازنده شبکه و پمپ‌های عملیاتی منجر به استفاده از انرژی و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند [۲۱]. میزان مصرف انرژی بسته به منبع آب از ۲ تا ۴۲ مگاژول انرژی به ازای هر متر مکعب آب است. طبق گفته استوکس و هوروات [۲۲] مقدار ۶۰/۷ گرم CO_2 برای ۱ مگاژول انرژی مصرف شده در فرایند تولید و توزیع آب منتشر می‌شود. بنابراین، اتلاف آب نه تنها بر درآمد تأمین کنندگان خدمات آب تأثیر می‌گذارد، بلکه مقدار زیادی انرژی را برای تصفیه و توزیع آب آشامیدنی هدر می‌دهد و انتشار گازهای گلخانه‌ای را افزایش می‌دهد [۲۳]. طی سال‌های گذشته مطالعات بسیاری اثرات محیطزیستی را در بخش مصرف انرژی، مصرف مواد شیمیایی، تولید لوله‌ها و تجهیزات شبکه مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۲۴]. استوکس و هوروات [۲۴] در تحقیقی چرخه حیات مصرف انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را برای مناطقی در آمریکا که از راهکار مدیریت فشار به منظور کنترل نشت در شبکه توزیع آب استفاده شده، ارزیابی کرده‌اند. نتایج ارزیابی چرخه حیات (LCA)[1]، خدمات آبرسانی برای یک مطالعه موردی [۲۵] در ایالات متحده نشان می‌دهد که ۸۱٪ از گازهای گلخانه‌ای منتشر شده به علت انرژی مصرفی پمپاژ است، در شرایطی که بخش عمده‌ای از انتشار این گازها نتیجه نشت در سیستم توزیع آب شهری است. از ارزیابی چرخه حیات که روشی استاندارد برای ارزیابی اثرات محیطزیستی یک محصول یا روند است [۲۶]، برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های آب شهری، از جمله تصفیه‌خانه، سیستم تأمین و توزیع آب و سیستم‌های جمع‌آوری و تصفیه‌خانه فاضلاب آب استفاده شده است [۳۰-۲۷]. اکثر مطالعات انجام شده بر روی سیستم‌های توزیع آب بیشتر بر استراتژی‌های تعمیر و نگهداری [۳۲ و ۳۱] و یا تجزیه و تحلیل انتخاب مواد مصرفی متمرکز شده‌اند [۳۳]. برخی از مطالعات نیز فرآیندهای نمک‌زدایی، ضد عفونی کردن و استفاده مجدد از آب را مورد بررسی قرار داده‌اند [۴۰-۳۴].

با بررسی مطالعات گذشته، می‌توان دریافت که خلاء تحقیقاتی بزرگی در به کارگیری یک رویکرد جامع که بتواند با استفاده از یک مجموعه داده دقیق، ارزیابی جامعی از اثرات محیطزیستی ناشی از اعمال سیاست‌های مدیریت تقاضای آب (به طور خاص تأثیر مدیریت فشار با هدف کاهش آب در دسترس) را بر سیستم‌های آب شهری انجام دهد، وجود دارد. این خلاءها عبارتند از: (۱) مطالعات پیشین، عمدتاً به بررسی اثرات محیطزیستی شبکه تامین و توزیع آب و نیز شبکه فاضلاب در مرحله ساخت، بهره‌برداری و نگهداری بدون در نظر گرفتن سیاست‌های مدیریت تقاضا پرداخته‌اند. (۲) سیاست مدیریت فشار در تحقیقات پیشین، سیاستی تعریف شده است که تمرکز آن به کاهش اضافه فشار شبکه و در نتیجه کاهش نشت و تقاضای آب اضافی معطوف شده است. از این رو تحقیقات گذشته، عمدتاً اثرات مدیریت فشار به منظور کاهش نشت بر شکست لوله‌ها، هدر رفت آب، مصرف انرژی و اثرات محیطزیستی را در شبکه تامین و توزیع آب مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. (۳) در سال‌های اخیر با توجه به کمبود شدید آب در برخی از استان‌های کشور از جمله استان اصفهان، از رویکرد مدیریت فشار به‌منظور کاهش حجم آب در دسترس مشترکین از طریق کاهش فشار شبکه به کمتر از محدوده مطلوب آن استفاده شده است. در واقع متولیان صنعت آب در این استان‌ها، در مواجهه با بحران کم‌آبی و با در نظر داشتن پیامدهای نامطلوب سیاست جیره‌بندی بر جنبه‌های مختلف سیستم از جمله اجتماعی، اقتصادی، فنی و بهداشتی، این رویکرد را به عنوان یک سیاست مدیریت تقاضای آب جدید در پیش گرفته‌اند. این در حالی است که تا پیش از این، فقط صفرپور و همکاران [۱۰] تأثیرات زیست‌محیطی چنین سیاستی را و آن هم صرفاً بر روی سیستم فاضلاب شهری (شامل شبکه جمع‌آوری و تصفیه‌خانه فاضلاب)، مورد بررسی قرار داده بودند و لذا شواهدی مبنی بر ارزیابی تأثیر اعمال سیاست مدیریت فشار به منظور کاهش دسترسی به آب بر روی سامانه‌های توزیع آب شهری (شامل سیستم پمپاژ و شبکه توزیع آب)، وجود ندارد. بنابراین، لزوم بررسی جنبه‌های مختلف اعمال چنین سیاستی در حوزه مدیریت آب شهری که می‌تواند ابزار سیاست‌گذاری مفیدی را در اختیار تصمیم‌گیران این حوزه قرار دهد تا به کمک آن بتوانند دیدگاه جامع‌تر و شفاف‌تری نسبت به تبعات مثبت و منفی اتخاذ چنین سیاستی داشته باشند، به شدت احساس می‌شود. در این راستا، مطالعه حاضر سعی دارد تا با استفاده از رویکرد چرخه حیات به ارزیابی اثرات محیطزیستی اجرای سیاست مدیریت فشار به منظور کاهش حجم آب در دسترس مشترکین، بر روی یک شبکه توزیع آب واقعی در مرحله بهره‌برداری به عنوان یکی از جنبه‌های مهم تأثیرپذیر از اعمال چنین سیاستی، از طریق ارائه یک رویکرد جدید بپردازد تا بتواند در حد امکان، به پر کردن شکاف‌های تحقیقاتی ذکر شده بپردازد و دیدگاه کاربردی و مفیدی را برای سیاست‌گذاران و محققین فراهم آورد.

1 Life Cycle Assessment

شکل ۱. نقشه شبکه آبرسانی شهر جدید بهارستان و محل قرارگیری شیرهای فشارشکن

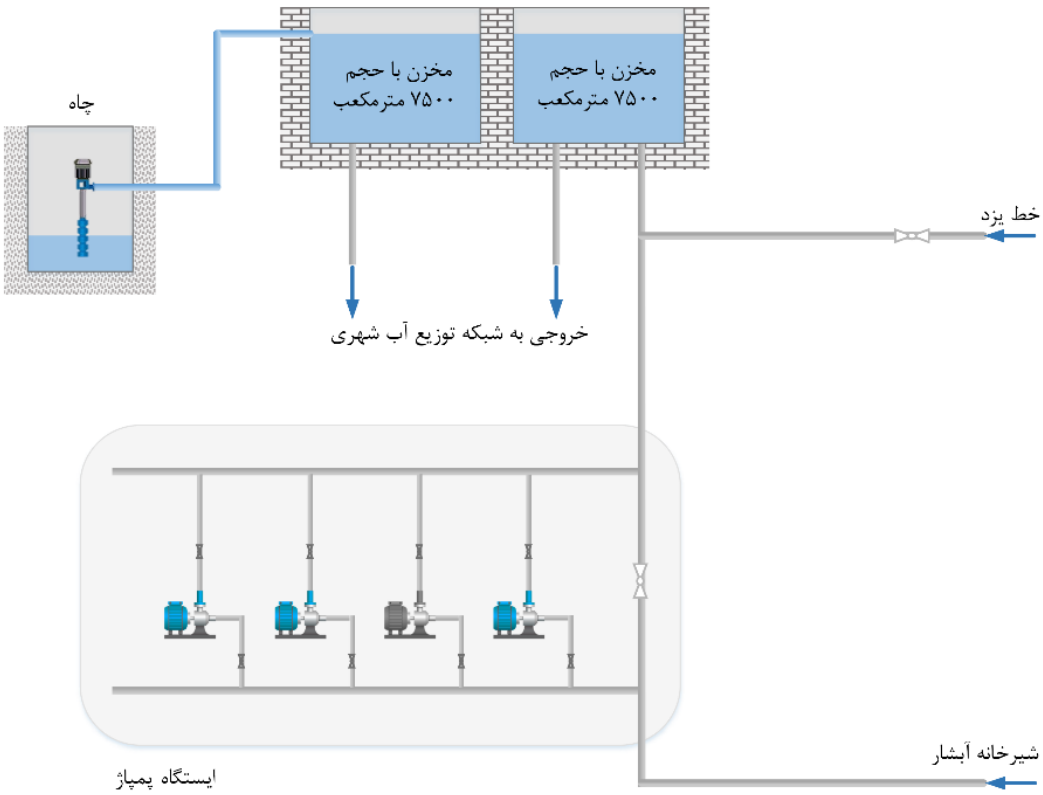
Fig. 1. A map of the water supply network in Baharestan city, showing the locations of the PRVs

۲- مواد و روش‌ها

۲- ۱- مطالعه موردی

در این تحقیق با استفاده از یک مطالعه موردی واقعی (شهر جدید بهارستان)، اثرات محیطزیستی اعمال سیاست مدیریت فشار در شرایط کمبود آب در سیستم تامین و توزیع آب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بهارستان شهری است واقع در استان اصفهان که در سال ۱۳۹۷ دارای جمعیت ۸۶۰۱۱ بوده است. با توجه به اطلاعات دریافتی از شرکت آب و فاضلاب شهر بهارستان، با بررسی‌های صورت گرفته و بازدیدهای میدانی، مشخص شد که تولید آب این شهر از سه طریق صورت می‌گیرد؛ ۱- چاه، ۲- برداشت از آب طرح اصفهان بزرگ و ۳- برداشت از خط انتقال یزد. آب منتقل شده از خط یزد و چاه مستقیما وارد مخزن شده و آب انتقال یافته از شیرخانه آبشار ابتدا وارد ایستگاه پمپاژ و سپس وارد مخزن می‌شود. این شهر دارای دو مخزن آب است که حجم هر یک از مخازن ۷۵۰۰ متر مکعب است که در ارتفاع ۱۶۳۰ متر از سطح دریا و در قسمت جنوب این شهر قرار دارند. ایستگاه پمپاژ نیز دارای ۴ پمپ دور متغیر با توان ۹۰ کیلووات است که به صورت موازی کار می‌کنند. در طول شبانه‌روز بسته به شرایط تامین آب ممکن است تمامی پمپ‌ها در مدار نباشند و ترکیبی از چند پمپ وظیفه پمپاژ را بر عهده داشته باشند. ایستگاه پمپاژ این شهر در شمالی‌ترین بخش شهر و در ارتفاع ۱۵۵۰ از سطح دریا قرار گرفته است. شمای کلی سیستم تامین آب شهر بهارستان در شکل ۲ آورده شده است.

شبکه توزیع آب این شهر دارای قطرهای اصلی ۳۵۰، ۲۵۰، ۲۰۰، ۱۶۰، ۱۲۵ و ۱۱۰ میلی‌متر است و لوله‌های فرعی و انشعابات از قطرهای ۱۰۰، ۹۰، ۷۵، ۶۳، ۵۰ و ۲۵ میلی‌متر تشکیل شده و جنس لوله‌های شبکه پلی‌اتیلن است. جمعیت انتهای دوره طرح بر اساس سرشماری‌های نفوس و مسکن سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷، به صورت خطی پیش‌بینی و معادل ۱۵۰ هزار در نظر گرفته شده است. در شکل ۱ نقشه شبکه آبرسانی شهر بهارستان و محل قرارگیری شیرهای فشارشکن مشاهده می‌شود. شبکه آب این شهر دارای ۵ شیر فشارشکن است که انجام تنظیمات ۲ عدد از شیرهای فشارشکن به صورت دستی و ۳ شیر دیگر به صورت از راه دور و اتوماتیک است. به دلیل خشکسالی و کمبود آب در استان اصفهان [۴۲ و ۴۱]، از سال ۱۳۹۷ رویکرد مدیریت فشار در شرایط کمبود آب برای کاهش مصرف آب با کاهش فشار شبکه پایین دست توزیع، به عنوان یکی از سیاست‌های مدیریت تقاضای آب اتخاذ شده است.



شکل ۲. شمای کلی سیستم تامین آب شهر بهارستان

Fig.2. Overview of Baharestan water supply system

۲- ۲- مقایسه سناریوها

با توجه به این که در سال ۱۳۹۷ به علت کمبود آب، سیاست مدیریت فشار بر شبکه توزیع آب در شهر بهارستان اعمال شده است، ایجاد محدودیت آب در دسترس مشترکین و کمبود فشار باعث شده تا این سیاست اثر خود را به عنوان یکی از راه‌کارهای مدیریت تقاضا بر مصرف کنندگان تحمیل کند. پنج سناریو برای تحلیل، بررسی و مقایسه نتایج در این پژوهش در نظر گرفته شده است. سناریوها با توجه به میزان کاهش فشار در شبکه توزیع آب و به تبع آن کاهش حجم آب تحویلی به مصرف کنندگان نهایی تعریف شده‌اند.

سناریوی ۱ (کوتاه مدت): در این سناریو شرایط عادی سیستم بدون لحاظ هیچ‌گونه کمبود آب و مدیریت فشار برقرار است. این سناریو برای یک سال و در سال ۱۳۹۷ به صورت کوتاه مدت و سرانه مصرفی مشترکین نیز ۲۰۴/۲ لیتر به ازای هر نفر در روز (lpcd)[1]، معادل میانگین سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۶ در نظر گرفته شده است.

سناریوی ۲ (کوتاه مدت): این سناریو نیز همانند سناریوی ۱ به صورت کوتاه مدت بوده و شرایط شبکه توزیع آب شهر مورد مطالعه در سال ۱۳۹۷ بررسی شده است. بر اثر اعمال مدیریت تقاضا و ایجاد کمبود طی یک سال، سرانه مصرفی به میزان ۸/۸ درصد در این شهر کاهش یافته است. با توجه به مقدار کاهش مصرف توسط مشترکین برای سازگاری با شرایط موجود، میزان مصرف آن‌ها به ۱۸۶/۲ lpcd رسیده است.

سناریوی ۳ (میان مدت): در این سناریو ۲۰٪ کمبود به شبکه توزیع آب اعمال شده و شرایط ایستگاه پمپاژ و چاه در سال ۱۴۱۰ به صورت میان مدت بررسی شده است. در نتیجه با اصلاح مصرف مشترکین به میزان ۲۰٪، مصرف سرانه آن‌ها به مقدار ۱۶۳/۳۶ lpcd می‌رسد. بر اساس اطلاعات گرفته شده از شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، از ابتدای اعمال مدیریت تقاضا در این استان، سرانه مصرف آب طی ۱۰ سال به ۲۰ درصد صرفه‌جویی رسیده و پس از آن نسبتا ثابت است. لذا در این تحقیق نیز فرض شده است که این عدد حد نهایی برای اعمال این شرایط بوده و لذا سناریوی ۳، بر مبنای این میزان کاهش مصرف طراحی و پیاده‌سازی شده است.

1 Litre Per Capita Per Day

جدول ۱. روند تغییرات جمعیت و سرانه آب مصرفی کاهش یافته مشترکین بر اساس سناریوهای مختلف

Table 1. The trend of population changes and reduced per capita water consumption of end-users based on different scenarios

سناریو	بازه زمانی		جمعیت (نفر)	کمبود آب (٪)	سرانه مصرف آب (lpcd)
۱	کوتاه مدت	۱ سال	۸۶۰۱۱	۰	۲۰۴/۲
۲		۱ سال	۸۶۰۱۱	۸/۸	۱۸۶/۲
۳	میان مدت	۱۴ سال	۱۳۱۱۱۸	۲۰	۱۶۳/۳۶
۴	بلند مدت	۱۹ سال	۱۴۸۴۶۷	۰	۲۰۴/۲
۵		۱۹ سال	۱۴۸۴۶۷	۳۰	۱۴۲/۹۴

سناریوی ۴ (بلند مدت): در این سناریو فرض شده است تا سال انتهای دوره طرح سیاست‌های مدیریت تقاضا بر سیستم اعمال نشده و شرایط همانند سناریوی ۱، یعنی میزان سرانه مصرفی مشترکین lpcd ۲۰۴/۲ است. زمان این سناریو به صورت بلند مدت، از سال ۱۳۹۷ تا انتهای دوره طرح (سال ۱۴۱۵) است.

سناریوی ۵ (بلند مدت): میزان کاهش حجم آب در دسترس مشترکین در این سناریو ۳۰٪ است و شرایط این سناریو به صورت فرضی و حدی بر اساس تحقیقات پیشین [۴۳] تا سال انتهای دوره طرح به صورت بلند مدت در نظر گرفته شده است. میزان مصرف کاهش یافته مشترکین بر اساس این سناریو و با توجه به میزان انعطاف‌پذیری زیاد در رفتار مشترکین lpcd ۱۴۲/۹۴ است.

همانطور که پیداست با افزایش درصد کمبود و اعمال سیاست‌های سخت‌گیرانه‌تر، میزان کاهش سرانه مصرفی توسط مشترکین بیشتر خواهد بود. روند تغییرات جمعیت، سرانه مصرفی کاهش یافته مشترکین و کمبود طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۱۵ در جدول ۱ آورده شده است.

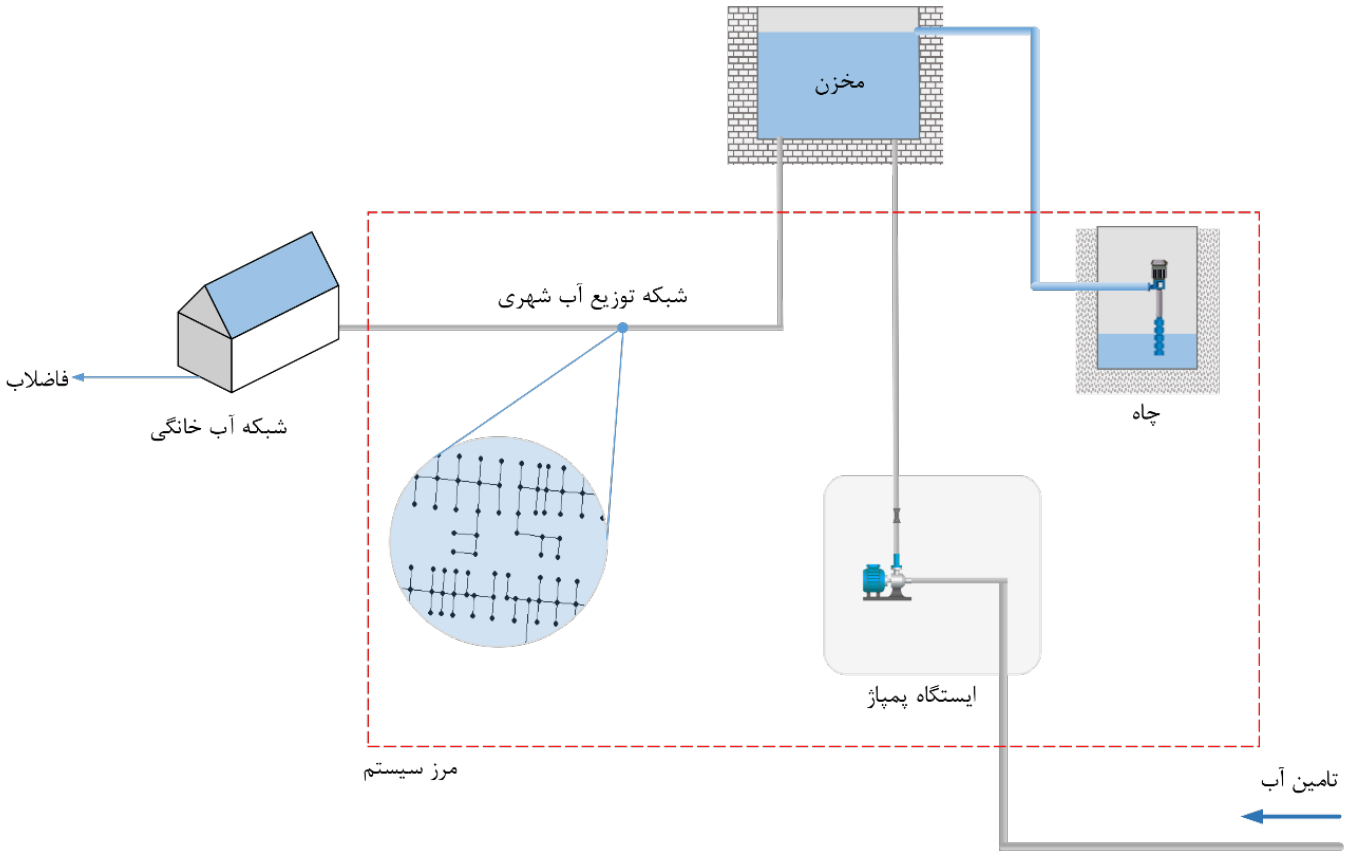
۲- ۳- ارزیابی چرخه حیات

ارزیابی چرخه حیات یکی از رویکردهای ارزیابی محیطزیستی است که امروزه به عنوان یکی از روش‌های استاندارد و پرکاربرد در ارزیابی محیطزیستی فرایندها، محصولات و خدمات مورد استفاده قرار می‌گیرد. ارزیابی چرخه حیات ابزاری کاربردی با رویکرد کلی‌نگر است، به طوری که تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های ضروری در بسیاری از مراحل و عملیات‌های چرخه حیات در درون مرزهای سیستم لحاظ می‌شود. قدرت LCA در این است که نگرانی‌های محیطزیستی را فراتر از یک مسئله خاص بسط دهد و می‌کوشد تا محدوده وسیعی از مسائل محیطزیستی با استفاده از روشی کمی برای تصمیم گیرندگان مورد بحث و بررسی قرار دهد. LCA می‌تواند میزان اثرات محیطزیستی سیستم مورد مطالعه، مانند گرم شدن کره زمین، کمبود منابع فسیلی و مصرف آب را به صورت کمی بیان کند. چهار مرحله اصلی در یک مطالعه LCAوجود دارد [۲۶]: (۱) تعریف هدف و دامنه، که مرزهای سیستم، هدف و محدودیت‌های مطالعه را مشخص می‌کند؛ (۲) سیاهه‌نویسی داده‌های مورد نیاز چرخه حیات (LCI)[1] که شامل مجموعه‌ای از انواع مختلف داده‌ها (ورودی و خروجی) است که در مرزهای سیستم قرار گرفته‌اند. داده‌ها باید با واحد کارکردی مرتبط باشند که در تعریف اهداف عنوان شده است؛ (۳) ارزیابی اثرات چرخه حیات (LCIA)[2] که در آن داده‌های جمع‌آوری شده بر اساس روش‌های ارزیابی و با استفاده از نرم‌افزار SimaPro ارزیابی می‌شوند (در این تحقیق از روش (ReCipe در نرم‌افزار (SimaPro) استفاده شده است) و (۴) تفسیر نتایج [۴۵ و ۴۴ و ۲۶]. در بخش‌های زیر، مراحل LCA مطابق با استانداردهای ISO برای ارزیابی اثرات محیطزیستی شبکه توزیع آب شهری و سیستم پمپاژ آب ارائه شده است.

۲- ۳- ۱- تعریف هدف و دامنه

هدف این مطالعه مقایسه اثرات محیطزیستی ناشی از اعمال سناریوهای متعدد واقعی و فرضی مدیریت فشار در شرایط کمبود آب بر روی سیستم تأمین و توزیع آب شهری از جمله ایستگاه پمپاژ، چاه تامین آب و شبکه

1 Life Cycle Inventory
2 Life Cycle Impact Assessment

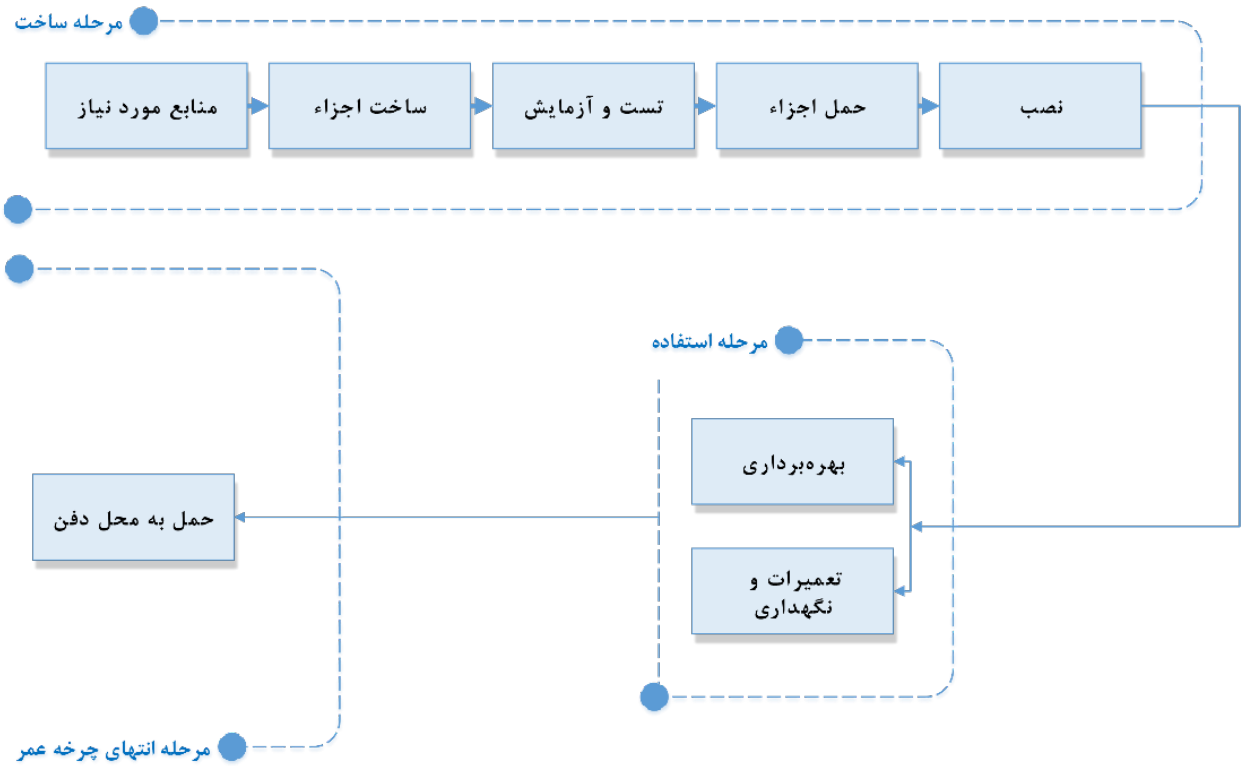


شکل ۳. مرز سیستم در ارزیابی چرخه حیات

Fig. 3. System boundary in life cycle assessment

توزیع آب شهری در مرحله بهره‌برداری است. اهداف مورد نظر در این ارزیابی شامل (۱) تهیه فهرست دقیق از مواد مصرفی در فرآیندها، حمل و نقل، ماشین آلات، مصرف انرژی در فاز بهره‌برداری، (۲) مشخص کردن سهم اثرات محیطزیستی شبکه توزیع آب و سیستم پمپاژ و (۳) ارزیابی اثرات محیطزیستی سناریوهای مختلف با توجه به اعمال سیاست مدیریت فشار در شرایط کمبود آب، است. بازه زمانی ارزیابی اثرات محیطزیستی در سناریوهای مختلف متفاوت و حداکثر تا پایان دوره طرح شبکه (سال ۱۴۱۵) در نظر گرفته شده است. با توجه به هدف این مطالعه مرز تحقیق شامل مصرف انرژی توسط پمپ‌های ایستگاه پمپاژ و چاه، خرابی‌های شبکه و آسفالت و حمل و نقل در مرحله بهره‌برداری است. در اینجا از مراحل ساخت و انتهای چرخه عمر سیستم پمپاژ و شبکه صرف‌نظر شده است. مرز سیستم در شکل ۳ نشان داده شده است. در درون مرزهای در نظر گرفته شده در زمان بهره‌برداری از سیستم در صورت شکست در شبکه توزیع آب، لوله‌های شبکه نیاز به تعمیر و یا تعویض دارند که در این راستا تمامی مراحل ساخت، استفاده و انتهای چرخه عمر این لوله‌ها در بازه زمانی و مرز در نظر گرفته شده، لحاظ شده است. مراحل مورد نظر برای ارزیابی چرخه حیات شکست لوله‌های شبکه توزیع آب در شکل ۴ آورده شده است. واحد عملکردی (FU)[1] که برای تعیین ورودی و خروجی در روش LCA استفاده می‌شود، باید متناسب با هدف مطالعه و مرزهای سیستم باشد [۲۶]. با توجه به هدف و دامنه تعریف شده در تحقیق حاضر، واحد عملکردی، یک مترمکعب آبی است که از طریق ایستگاه پمپاژ و چاه تامین آب، به مخزن آب شهری تزریق شده، سپس وارد شبکه توزیع آب شده و در نهایت به گره‌های مصرف تحویل داده شده است.

1 Functional Unit



شکل ۴. مراحل ارزیابی چرخه حیات خرابی لوله‌ها در شبکه توزیع آب

Fig. 4. Process for assessing the life cycle of pipe failure in water distribution network

۲- ۳- ۲- تحلیل سیاهه‌نویسی (LCI)

تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های لازم برای ارزیابی چرخه حیات یک سیستم (به عنوان مثال مواد و فرایندها) با کمک داده‌های جمع‌آوری شده، کمی می‌شوند. به این ترتیب لیستی از موجودی مربوط به مرحله بهره‌برداری و نگهداری سیستم پمپاژ و شبکه توزیع آب شهری تهیه شد. داده‌های مورد نیاز از شرکت آب و فاضلاب شهر بهارستان، مراجع علمی، مصاحبه‌ها و بازدید از محل به دست آمده است. علاوه بر این، از پایگاه داده Ecoinvent 3.5 برای مدل‌سازی داده‌های فرایند استفاده شد.

۱-۲-۳-۲- تحلیل سیاهه شبکه توزیع آب شهری

در مرحله بهره‌برداری شبکه توزیع آب شهری تعویض و یا تعمیر لوله‌های شبکه توزیع آب و انشعاب آسیب دیده، آسفالت مجدد در صورت آسیب سطح ترانشه، لایه آسفالت‌های تخریب شده اضافی و سایر فرایندهای عملیاتی مربوط به هر یک در نظر گرفته شده است. فرآیندهای لحاظ شده در این سیاهه شامل حفاری، وصله زدن و یا تعویض لوله‌ها، خاک‌ریزی مجدد و انتقال زائدات به محل دفن و بازسازی لایه آسفالت تخریب شده است و از فرآیندهای پس از انتقال به محل دفن چشم‌پوشی شده است. به منظور تهیه فهرست سیاهه در بخش شبکه توزیع آب به داده‌های فشار، حوادث و شکست‌هایی که در شبکه رخ می‌دهد و نیازمند تعمیر یا تعویض هستند، فاصله حمل مورد نیاز و زائدات حاصله از بازسازی و یا نوسازی شبکه مورد نیاز است. اطلاعات مورد نظر از بررسی داده‌های ۳ ساله (سال‌های ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) دریافتی از شرکت آب و فاضلاب شهر بهارستان به دست آمده است. با توجه به عدم اطلاعات کافی از علل وقوع خرابی‌ها در شبکه، نرخ سالانه شکست از سال ۱۳۹۸ تا انتهای دوره طرح ثابت در نظر گرفته شده است.

۲-۲-۳-۲- تحلیل سیاهه سیستم تأمین آب شهری

در بخش تأمین، یعنی ایستگاه پمپاژ و چاه، انرژی الکتریکی برای پمپاژ آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان انرژی مورد استفاده در ایستگاه پمپاژ تقریبا ۹۵۰ مگاوات ساعت در یک سال است. همچنین میزان مصرف انرژی

جدول ۲. مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ و پمپ چاه در سال ۱۳۹۷ (شرکت آب و فاضلاب بهارستان)

Table 2. Energy consumption of pumping station and well pump in 1397 (Baharestan Water and Sewerage Company)

سال	دبی پمپاژ شده ایستگاه پمپاژ (m^3)	دبی تولیدی چاه بهارستان (m^3)	مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ (kWh)	مصرف انرژی چاه (kWh)
۱۳۹۷	۵۵۴۰۹۷۳	۳۰۵۵۴۷	۵۵۸۹۷۸	**۵۲۹۴۶**

جدول ۳. مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ و پمپ چاه در هر سناریو

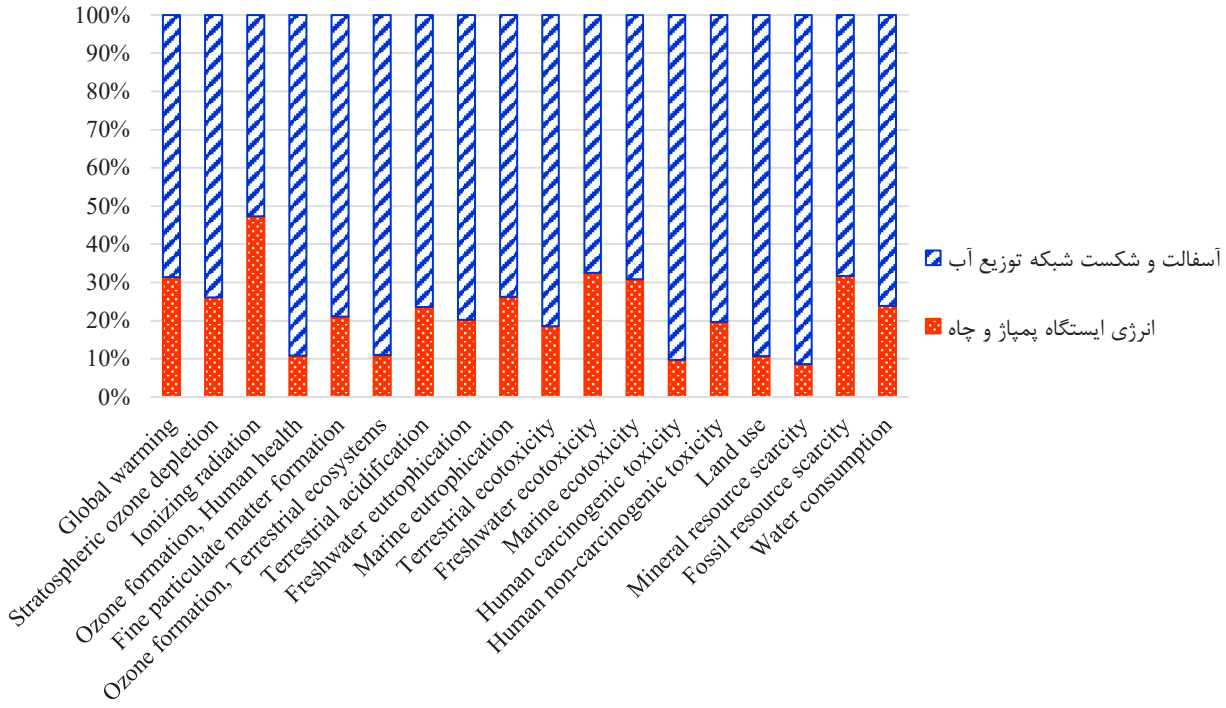
Table 3. Energy consumption of pumping station and well pump in each scenario

سناریو	دبی پمپاژ شده ایستگاه پمپاژ (m^3)	دبی پمپاژ شده چاه (m^3)	مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ (kWh)	مصرف انرژی چاه (kWh)
۱	۶۰۷۵۶۲۹	۳۳۵۰۲۹	۶۱۲۹۰۹	**۵۸۰۵۵**
۲	۵۵۴۰۹۷۳	۳۰۵۵۴۷	۵۵۸۹۷۸	**۵۲۹۴۶**
۳	۹۱۳۲۶۳۹۴	۴۶۲۷۴۴۰	۹۲۱۳۰۰۷	**۸۰۱۸۵۲**
۴	۱۵۹۵۹۸۵۷۳	۸۸۰۰۷۶۵	۱۶۱۰۰۳۰۴	**۱۵۲۵۰۱۴**
۵	۱۲۸۲۶۶۹۶۱	۷۰۷۳۰۴۲	۱۲۹۳۹۵۷۱	**۱۲۲۵۶۳۱**

پمپ چاه حدود ۵۷ مگاوات ساعت در یک سال است. محاسبات انرژی مورد نیاز برای تأمین آب از طریق ایستگاه پمپاژ و پمپ چاه با کمک اطلاعات دریافتی از شرکت آب و فاضلاب شهر بهارستان انجام شده است. کمبود منابع تأمین آب که باعث تزریق آب کمتری از طریق ایستگاه پمپاژ و چاه به مخازن آب شده، اتخاذ سیاست کاهش فشار در شرایط کمبود آبی توسط متولیان آب را به دنبال دارد که به تبع آن کاهش حجم آب در دسترس مصرف کنندگان در شبکه توزیع آب شهری را در پی دارد. این موضوع منجر به تغییرات در رژیم ایستگاه پمپاژ و چاه تأمین آب شده و باعث می‌شود تا برداشت از مخزن تامین آب شهر کاهش یابد. با توجه به اینکه ایستگاه پمپاژ و چاه با ظرفیت کمتری در شرایط کمبود آب کار می‌کنند در نتیجه مصرف برق نیز کاهش می‌یابد. با کمک اطلاعات مصرف برق و مصرف آب شهر در سال ۱۳۹۷، میزان مصرف انرژی به ازای هر یک مترمکعب مصرف محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است. با در نظر گرفتن اطلاعات متوسط سرانه آب مصرفی، جمعیت و میزان کمبود اعمال شده بر شبکه توزیع آب در سال‌های مختلف، می‌توان میزان مصرف انرژی را در سناریوهای تعریف شده به دست آورد. با استفاده از مقادیر محاسباتی مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ و چاه به ازای یک مترمکعب، می‌توان میزان مصرف انرژی کل را برای سناریوهای تعریف شده بر اساس کل دبی مصرفی توسط مشترکین در هر سناریو محاسبه نمود (جدول ۳). لازم به ذکر است نسبت دبی پمپاژ شده توسط ایستگاه پمپاژ و چاه در سناریوهای تعریف شده، همانند اطلاعات در دسترس سال ۱۳۹۷ فرض شده است.

۲- ۳- ۳- ارزیابی اثرات چرخه حیات (LCIA)

با ارزیابی چرخه حیات تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های لحاظ شده برای هر بخش در مرحله قبل به اثرات محیط‌زیستی تبدیل می‌شود. در این مرحله بر اساس روش انتخابی و شاخص‌های آن، اثرات به طبقه‌بندی‌های اختصاص می‌یابد. در این مطالعه به منظور مدل‌سازی، تحلیل و ارزیابی اثرات محیط‌زیستی از نرم‌افزار SimaPro v9.1 و برای وارد نمودن اطلاعات از پایگاه داده‌های Ecoinvent v3.5 استفاده شده است [۴۶]. در این مقاله هر دو دسته از اثرات میانی و پایانی در نظر گرفته شده‌اند. برای شاخص‌های پایانی (آسیب به سلامت انسان، آسیب به اکوسیستم و آسیب به منابع طبیعی) و شاخص‌های میانی (گرمایش جهانی، استفاده از زمین، تشکیل ازن، کمبود منابع سوخت‌های فسیلی، مصرف آب و ...) از روش ReCiPe که یکی از پرکاربردترین روش‌ها است، استفاده شده است. ارزیابی محیط‌زیستی در این مطالعه برای تمامی سناریوها که دارای بازه‌های زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت هستند، انجام شده است.



شکل ۵. مقایسه فازها از نظر گروه اثرات میانی با استفاده از روش ReCipe در سناریوی ۲

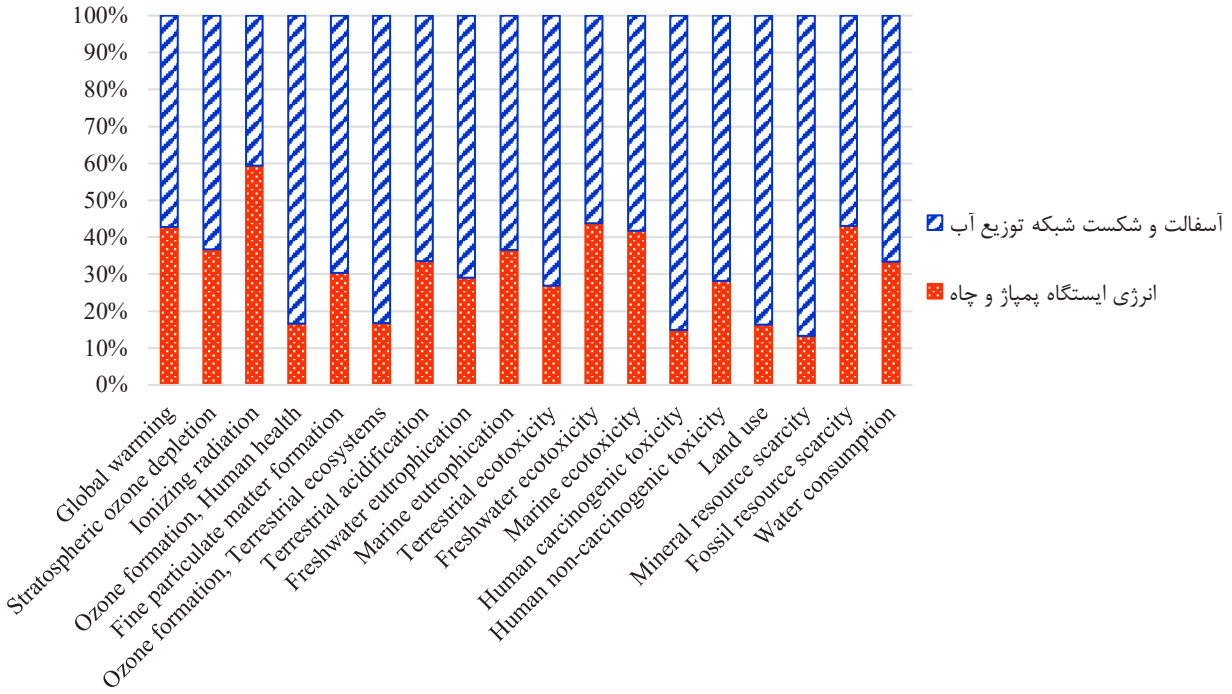
Fig. 5. Comparing phases of scenario 2 using the ReCipe midpoint method

۳- تفسیر نتایج

تفسیر نتایج، آخرین مرحله در ارزیابی محیطزیستی چرخه حیات است. در این بخش برای ارزیابی و مقایسه بهتر سناریوهای مختلف فازهایی در هر سناریو در نظر گرفته شده است. این بخش با معرفی فازها شروع شده، سپس نتایج ارزیابی اثرات محیطزیستی هر ۵ سناریو در فازهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه مقایسهای بین شبکه توزیع آب شهری و سیستم پمپاژ صورت گرفته و در نهایت مقایسه بین سناریوها انجام شده و نتایج مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتهاند.

۳- ۱- مقایسه اثرات محیطزیستی میانی

اثرات محیطزیستی اجرای سیاست مدیریت فشار در شرایط کمبود آب در دو فاز شبکه توزیع آب شهری و سیستم پمپاژ با استفاده از ۱۸ پیامد میانی مقایسه میشود. اثرات محیطزیستی فازها در سناریوهای ۲ و ۵ به ترتیب در شکلهای ۵ و ۶ نشان داده شده است. نمودار مقایسه فازها از نظر گروه اثرات میانی در سناریوهای ۱، ۳ و ۴ و مقایسه کلی سناریوها در پیوست ۱ آورده شده است. بر اساس نتایج درصد اثرات محیطزیستی فرآیندهای آسفالت و شکست شبکه در تمامی شاخصها تحت سناریوهای ۱ و ۲ از درصد اثرات محیطزیستی مصرف انرژی در سیستم پمپاژ بیشتر است. در سناریوهای ۳، ۴ و ۵ نیز به غیر از شاخص تابش یونی این امر برقرار است. در شاخصهای محیطزیستی کمبود منابع معدنی و سمیت غیرسرطانزا در انسان، فاز آسفالت و شکست دارای تاثیرگذاری بیشتری است و فاز مصرف انرژی تاثیر قابل توجهی بر شاخصهای تابش یونی و سمیت آبهای سطحی دارد. با گذشت زمان با اعمال سیاست مدیریت فشار در شرایط کمبود آب (سناریوهای ۲، ۳ و ۵) و عدم اعمال سیاست مدیریت فشار (سناریوهای ۱ و ۴)، رشد درصد شاخصهای محیطزیستی فاز سیستم پمپاژ نسبت به فاز شبکه بیشتر است. به بیانی دیگر مقدار اثرات محیطزیستی آسفالت و شکست شبکه توزیع در سناریوی ۳ (۲۰٪ کاهش حجم آب در دسترس در سال ۱۴۱۰) نسبت به سناریوی ۲ (۸/۸ ٪ کاهش حجم آب در دسترس در سال ۱۳۹۷) حدودا ۱۰ برابر شده اما همین نسبت برای اثرات محیطزیستی مصرف انرژی ۱۶ برابر است. به همین ترتیب نتایج نشان دهنده این است که اثرات محیطزیستی مصرف انرژی در سناریوی ۵ (با کاهش ۳۰٪ حجم آب در سال ۱۴۱۵) نسبت به سناریوی ۲ (بازه زمانی کوتاه مدت) ۲۳ برابر و اثرات محیطزیستی



شکل ۶. مقایسه فازها از نظر گروه اثرات میانی با استفاده از روش ReCipe در سناریوی ۵

Fig. 6. Comparing phases of scenario 5 using the ReCipe midpoint method

آسفالت و شکست شبکه ۱۴ برابر شده است. در نهایت اثرات محیطزیستی میانی در فاز شبکه توزیع در سناریوی ۲ نسبت به سناریوی ۱ (بدون اعمال سیاست مدیریت فشار در شرایط کمبود آب در سال ۱۳۹۷) و سناریوی ۵ نسبت به سناریوی ۴ به ترتیب ۱۶٪ و ۲۱٪ و در فاز سیستم پمپاژ حدودا ۸/۷٪ و ۱۸/۵٪ کاهش یافته است. برخی از شاخص‌های اثرات محیطزیستی میانی در بخش‌های بعدی بررسی شده است.

۳- ۱- ۱- گرمایش جهانی

اثرات محیطزیستی انتشار گازهای گلخانه‌ای که به شاخص میانی گرمایش کره زمین مرتبط است، در سناریوی ۱ به ازای هر واحد عملیاتی ۲۳۹/۲ گرم معادل CO_2 بر مترمکعب به ۲۲۴/۴ گرم معادل CO_2 بر مترمکعب در سناریو ۲ کاهش می‌یابد. این موضوع به دلیل کاهش مصرف انرژی و کاهش تعداد شکست شبکه در کوتاه مدت است. اما به صورت کلی اثرات گرمایش کره زمین ناشی از انتشار گازها از ۲۷/۸ میلیون کیلوگرم معادل CO_2 در سناریوی ۴ با میانگین سرانه مصرفی ۲۰۴/۲ lpcd به مقدار ۲۲/۳ میلیون کیلوگرم معادل CO_2 در سناریوی ۵ با میانگین سرانه مصرفی ۱۶۸/۵ lpcd در بازه زمانی ۱۹ سال برای هر دو سناریو، کاهش یافته است. کاهش قابل توجه در اثرات کلی بیشتر به دلیل کاهش چشمگیر مصرف آب و کاهش فشار شبکه توزیع آب است.

۳- ۱- ۲- سمیت در انسان

اثرات محیطزیستی در سناریوهای مدیریت فشار و عدم مدیریت فشار بر روی شاخص‌های سمیت سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا در انسان که مجموع آن‌ها در سناریوهای ۱ تا ۵ به ترتیب ۶۱/۳، ۵۷/۲، ۴۰/۹، ۴۰/۵ و ۳۹/۵ گرم معادل ۱/۴ دی کلرو بنزن به ازای هر مترمکعب است، عمدتا از فرآیند آسفالت و شکست شبکه ایجاد شده است.

۳- ۱- ۳- کمبود منابع معدنی

همان‌طور که ذکر شد فرآیند آسفالت و شکست شبکه سهم بسیار زیادی در شاخص کمبود منابع معدنی اثرات میانی دارد. به عبارت دیگر، به صورت میانگین حدود ۸۹٪ از اثرات محیطزیستی این شاخص از اثرات میانی به دلیل مصرف منابع معدنی در فاز آسفالت و شکست شبکه است. مقادیر عددی این شاخص به ترتیب ۲/۵۳، ۲/۱۳، ۲۳/۶، ۴۰/۴ و ۳۲ هزار کیلوگرم معادل مس در سناریوهای ۱ تا ۵ است که با گذشت سال‌ها و افزایش مجموع تعداد شکست‌ها افزایش یافته است.

شکل ۷. مقایسه اثرات پایانی شبکه توزیع آب و سیستم پمپاژ در تمامی سناریوها با استفاده از روش ReCipe

Fig. 7. Comparing environmental impacts between the water distribution network and pumping system in every scenario by the ReCipe endpoint method

۳- ۱- ۴- کمبود منابع فسیلی

در این مطالعه اثرات محیطزیستی مصرف انرژی که در شاخص کمبود منابع فسیلی نمایانگر است حدود ۲۰٪ (از ۹/۶ میلیون کیلوگرم معادل روغن به حدود ۷/۷ میلیون کیلوگرم معادل روغن) در سناریوی ۵ نسبت به سناریوی ۴ کاهش یافته است. متوسط سرانه مصرفی در سناریوی ۴ از مقدار ۲۰۴/۲ lpcd به ۱۶۸/۵ lpcd در سناریوی ۵ کاهش یافته است. کاهش اثرات محیطزیستی سناریوی ۵ در این شاخص به دلیل کاهش مصرف انرژی در ایستگاه پمپاژ است که با کاهش سرانه مصرفی اتفاق افتاده است.

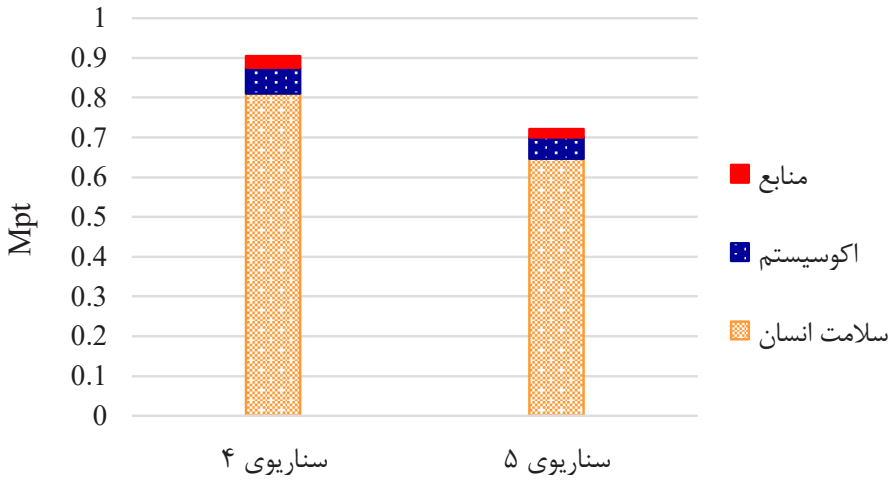
۳- ۱- ۵- تابش یونی

اثرات تابش یونی عمدتا به استفاده از برق در فرآیند مصرف انرژی پمپاژ مرتبط است. مصرف انرژی سیستم پمپاژ در سناریوها ۶۰-۴۵ درصد از کل اثرات تابش یونی را تشکیل می‌دهد. عامل آسفالت و شکست شبکه در سناریوی ۱ و ۲ به ترتیب ۵۵ و ۵۲ درصد از اثرات تابش یونی را تشکیل می‌دهد.

۳- ۲- مقایسه اثرات محیطزیستی پایانی

اثرات محیطزیستی پایانی از پارامترهای هم واحد شده که توسط نرم‌افزار SimaPro انجام می‌شود به دست می‌آید. برای هم واحدسازی، ابتدا نرمال‌سازی و سپس وزن‌دهی انجام می‌شود و در نهایت نتایج به صورت مجموع و با یک واحد ارائه می‌شود تا مقایسه آسان‌تر شود. واحدی که در نهایت از آن استفاده می‌شود Pt است که از کلمه Point گرفته شده است. این واحد امکان مقایسه بین فرایندها و محصولات را فراهم می‌کند که یک Pt بیانگر یک هزارم بار محیطزیستی سالانه برای یک شهروند است.

بر اساس دسته‌بندی که دستورالعمل نرم‌افزار برای گروه‌های اثرات میانی روش ReCipe انجام داده است؛ گروه‌های اثرات نابودی لایه ازن، تابش یونی، تشکیل ازن (سلامت انسان)، تشکیل ذرات معلق، سمیت سرطان‌زا در انسان، سمیت غیرسرطان‌زا در انسان تشکیل دهنده گروه اثرات پایاننونی سلامت انسان هستند و تشکیل ازن (اکوسیستم)، اسیدی شدن، مغذی شدن آب‌های سطحی، مغذی شدن آب‌های عمیق، سمیت اکوسیستمی زمینی، سمیت آب‌های سطحی، سمیت آب‌های عمیق و استفاده از زمین در گروه اثرات پایانی اکوسیستم قرار می‌گیرند. همچنین طبق این تقسیم‌بندی گرمایش جهانی و مصرف آب در هر دو گروه اثرات پایانی نام برده شده مشترک هستند و در نهایت کمبود منابع معدنی و کمبود منابع فسیلی در گروه اثرات پایانی منابع جای می‌گیرند [۴۶]. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در تمامی سناریوها اثرات محیطزیستی پایانی شبکه توزیع آب شهری بیشتر از مصرف انرژی پمپاژ است. همچنین بیشترین اثرات در گروه اثرات پایانی سلامت انسان است. زیرا اکثر فازهای در نظر گرفته شده در تمامی سناریوها می‌تواند تهدیدی برای سلامت انسان باشد.



شکل ۸. مقایسه سناریوهای ۴ و ۵ بر اساس گروه اثرات پایانی با استفاده از روش ReCipe

Fig. 8. Comparing scenarios 4 and 5 using the ReCipe endpoint method

در شکل ۸ مقایسه اثرات پایانی سناریوهای ۴ و ۵ آورده شده است. همان‌طور که مشخص است با اتخاذ سیاست مدیریت فشار در شرایط کم آبی اثرات پایانی در سناریوی ۵ کاهش می‌یابد. در سناریوی ۴ از سال ۱۳۹۷ تا سال ۱۴۱۵ که مدیریت فشار در شرایط کمبود آب در شبکه توزیع آب انجام نشده است به علت افزایش جمعیت، مصرف انرژی بیشتر و شکست بیشتر، اثرات محیطزیستی پایانی دارای بیشترین مقدار در میان تمامی سناریوها است.

مهم‌ترین گروه اثرات پایانی گروه سلامت انسان است که در این مطالعه بیشترین اثرات متعلق به این دسته است. مقدار این دسته از اثرات پایانی در سناریوهای ۴ و ۵ به ترتیب ۰/۸۱ Mpt و ۰/۶۴ Mpt است. همچنین ترتیب سناریوها در گروهای دیگر اثرات پایانی مشابه ترتیب سناریوها در گروه اثرات سلامت است که مقادیر آن‌ها کمتر از گروه سلامت انسان است. در واقع در سناریوی ۴ و ۵ که هر دو از لحاظ بازه زمانی یکسان هستند و تفاوت آن‌ها در اعمال و عدم اعمال سیاست مدیریت فشار در شرایط کمبود آب است، مجموع اثرات پایانی در سناریوی ۴ تقریبا ۱/۲۵ برابر سناریوی ۵ است. این موضوع نشان دهنده اثرات مثبت اتخاذ سیاست مدیریت تقاضای آب در شرایط کم‌آبی با استفاده از مدیریت فشار در شرایط کمبود آب، به تبع آن مصرف انرژی و آب کمتر در بلند مدت است که بار محیطزیستی را کاهش می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

مدیریت تقاضا از راه‌کارهای اصلی به منظور کاهش مصرف آب است که به یک ضرورت در محیط‌های شهری تبدیل شده است. سیاست‌های مدیریت تقاضا بسته به نوع آن تبعات مثبت و منفی گسترده‌ای را از جنبه‌های مختلف به همراه دارد. در این مطالعه، اثرات محیطزیستی اعمال سیاست مدیریت فشار در شرایط کمبود آب بر سیستم تأمین و توزیع آب شهری، شامل ایستگاه پمپاژ، چاه تأمین آب و شبکه توزیع آب در مرحله بهره‌برداری مورد بررسی قرار گرفت. برای رسیدن به این هدف، سناریوهای مختلف مدیریت فشار و کاهش حجم آب در دسترس به صورت کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت از سال ۱۳۹۷ تا سال ۱۴۱۵ تعریف و یک فهرست جامع از مصرف مواد و انرژی، تعمیر لوله‌ها و حمل و نقل تهیه شد. پس از محاسبات مصرف انرژی، حجم آسفالت مصرفی و نرخ شکست لوله‌های شبکه در سناریوهای تعریف شده، با استفاده از نرم‌افزار SimaPro ارزیابی محیطزیستی چرخه حیات انجام شد. به طور کلی نتایج نشان دهنده اهمیت در نظر گرفتن اثرات محیطزیستی سیاست مدیریت فشار در شرایط کمبود آب در سیستم توزیع آب است که در مطالعات قبلی نادیده گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که اثرات محیطزیستی آسفالت و شکست شبکه تقریباً ۲ برابر مصرف انرژی در مرحله بهره‌برداری است. اگر چه در بسیاری از مطالعات به اهمیت اثرات محیطزیستی مصرف انرژی اشاره شده، همان طور که هندریکسون و هوروات

[۲۵] نیز در مطالعه‌ای بیان کردند که ۸۱٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف انرژی در سیستم تامین و توزیع آب شهری است، اما در مطالعه حاضر تنها سیستم پمپاژ به عنوان مصرف کننده انرژی مدل‌سازی شده و باقی بخش‌های مصرف کننده انرژی در نظر گرفته نشده است. از طرفی به دلیل شکست بسیار زیاد در لوله‌های انشعاب شبکه توزیع آب شهر مورد مطالعه، اثرات محیطزیستی آسفالت و شکست شبکه دارای مقادیر قابل توجهی است. در سناریوهای مدیریت فشار با توجه به کاهش مصرف آب توسط مصرف کنندگان نهایی و کاهش حوادث و شکستگی‌های شبکه توزیع آب اثرات محیطزیستی به صورت سناریوی ۴> سناریوی ۵ و سناریوی ۲> سناریوی ۱ بود. به عبارت دیگر در سناریوها با بازه زمانی مشابه، سناریوی با مصرف آب کمتر دارای اثرات محیطزیستی کمتری است. در کوتاه مدت اثرات محیطزیستی کلی کمتر بوده و با نزدیک شدن به سال‌های انتهای دوره طرح با افزایش جمعیت و تقاضا حتی با اعمال سیاست‌های مدیریت تقاضا، میزان بار محیطزیستی افزایش می‌یابد. این موضوع، اهمیت و نقش سیاست‌های مدیریت تقاضای آب در کاهش اثرات محیطزیستی سیستم تأمین و توزیع آب شهری را نشان می‌دهد. اما به منظور تصمیم‌گیری جامع از سوی سیاست‌گذاران بررسی جامعی از اتخاذ این سیاست‌ها الزامی است که نتایج این تحقیق، می‌تواند گام بزرگی را در راستای ایجاد بینشی عمیق در این حوزه فراهم کند. اطلاعات دقیق فهرست سیاهه جمع‌آوری شده در این مطالعه برای تحقیقات آینده مفید و قابل استفاده خواهد بود.

قدردانی

بدین وسیله از شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان و شهر بهارستان (به خصوص آقای مهندس آلمانی) به دلیل همکاری در انجام این تحقیق و در اختیار قرار دادن اطلاعات مربوطه، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

[1] S.A. Shahangian, M. Tabesh, M. Yazdanpanah, T. Zobeidi, M.A. Raoof, Promoting the adoption of residential water conservation behaviors as a preventive policy to sustainable urban water management, Journal of Environmental Management, 313 (2022) 115005.

[2] S.A. Shahangian, M. Tabesh, M. Yazdanpanah, Psychosocial determinants of household adoption of water-efficiency behaviors in Tehran capital, Iran: Application of the social cognitive theory, Urban Climate, 39 (2021) 100935.

[3] S.K. Sharma, K. Vairavamoorthy, Urban water demand management: prospects and challenges for the developing countries, Water and Environment Journal, 23(3) (2009) 210-218.

[4] D. Saurí, Lights and Shadows of Urban Water Demand Management: The Case of the Metropolitan Region of Barcelona, European Planning Studies, 11(3) (2003) 229-243.

[5] H. Safarpour, M. Tabesh, S.A. Shahangian, Social Impacts Assessment of Water Demand Management Policies on Wastewater System by Using SLCA Method, Amirkabir Journal of Civil Engineering, 53(12) (2022) 9-9.

[6] M. Stavenhagen, J. Buurman, C. Tortajada, Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe, Cities, 79 (2018) 187-195.

[7] C.L. Cheng, Study of the inter-relationship between water use and energy conservation for a building, Energy and Buildings, 34(3) (2002) 261-266.

[8] S.A. Shahangian, M. Tabesh, H. Safarpour, A Review of the Conceptual Framework of the Interactive Cycle and Modeling Process Used in Urban Water Management, Iran-Water Resources Research, 16(3) (2020) 63-79.

[9] S.A. Shahangian, M. Tabesh, M. Yazdanpanah, How can socio-psychological factors be related to water-efficiency intention and behaviors among Iranian residential water consumers?, Journal of Environmental Management, 288 (2021) 112466.

[10] H. Safarpour, M. Tabesh, S.A. Shahangian, Environmental Assessment of a Wastewater System under Water demand management policies, Water Resources Management, 36(6) (2022) 2061-2077.

[11] S.A. Shahangian, M. Tabesh, H. Safarpour, M. Khashei,

[20] K. James, Godlove, C.E. and Campbel, S.L, Watergy: Taking Advantage of Untapped Energy and
Water Efficiency Opportunities in Municipal Water Systems, Washington, DC, 2002.

[21] R.a.S. Goldstein, W. Smith, U.S. Electricity Consumption for Water Supply & Treatment—The Next
Half Century, Electric Power Research Institute, Water & Sustainability, 2002.

[22] J.R. Stokes, A. Horvath, Energy and Air Emission Effects of Water Supply, Environmental Science &
Technology, 43(8) (2009) 2680-2687.

[23] Q. Xu, Q. Chen, W. Li, J. Ma, Pipe break prediction based on evolutionary data-driven methods with
brief recorded data, Reliability Engineering & System Safety, 96(8) (2011) 942-948.

[24] J. Stokes, A. Horvath, Life Cycle Energy Assessment of Alternative Water Supply Systems (9 pp),
The International Journal of Life Cycle Assessment, 11(5) (2006) 335-343.

[25] T.P. Hendrickson, A. Horvath, A perspective on cost-effectiveness of greenhouse gas reduction
solutions in water distribution systems, Environmental Research Letters, 9(2) (2014) 024017.

[26] International Standard, ISO 14044: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle
Impact Interpretation, International Standard Organization Geneva, Switzerland, 2006.

[27] W. Mo, Q. Zhang, J.R. Mihelcic, D.R. Hokanson, Embodied energy comparison of surface water and
groundwater supply options, Water Research, 45(17) (2011) 5577-5586.

[28] A. Murray, A. Horvath, K.L. Nelson, Hybrid Life-Cycle Environmental and Cost Inventory of Sewage
Sludge Treatment and End-Use Scenarios: A Case Study from China, Environmental Science &
Technology, 42(9) (2008) 3163-3169.

[29] R. Renzoni, A. Germain, Life Cycle Assessment of Water: From the pumping station to the wastewater
M. Abbasi, Presentation of the Integrated and
Comprehensive Framework in Assessment of Water Demand Management Policies, Journal of Water and
Wastewater Science and Engineering, 5(4) (2020) 16-23.

[12] S. Shahangian, Tabesh, M., Mirabi, M, Numerical investigation of leakage from steel pipes submerged
in water based on the experimental results of non-submerged pipes, Journal of Hydraulics, 11(4) (2017) 29-
44.

[13] A. Marunga, Z. Hoko, E. Kaseke, Pressure management as a leakage reduction and water demand
management tool: The case of the City of Mutare, Zimbabwe, Physics and Chemistry of the Earth, Parts
A/B/C, 31(15) (2006) 763-770.

[14] P.J. Skipworth, A. Cashman, A. Saul, Whole life costing for water distribution network management,
Thomas Telford, Thomas Telford, 2002.

[15] R. Pilcher, S. Hamilton, H. Chapman, D. Field, B. Ristovski, S. Stapely, Leak Location and Repair:
Guidance Notes, International Water Association, Specialist Group on Efficient Operation and
Management of Urban Water Distribution Systems, Water Loss Task Force, 2007.

[16] E. Gómez, R. Del Teso, E. Cabrera, E. Cabrera, J. Soriano, Labeling Water Transport Efficiencies,
Water, 10(7) (2018) 935.

[17] J. Liu, G. Yu, D. Savic, Deficient-Network Simulation Considering Pressure-Dependent Demand,
Sustainable Solutions for Water, Sewer, Gas, and Oil Pipelines, Beijing, China, (2011) 886-900.

[18] A. Pathirana, EPANET2 desktop application for pressure driven demand modeling. In Water
Distribution Systems Analysis, Tucson, Arizona, 2011.

[19] A. Lambert, M. Fantozzi, Recent developments in pressure management, in: International Water
Association Conference Water Loss 2010, Sao Paolo, Brazil, 2010.

[39] E. Lyons, P. Zhang, T. Benn, F. Sharif, K. Li, J. Crittenden, M. Costanza, Y.S. Chen, Life cycle
assessment of three water supply systems: importation, reclamation and desalination, Water Supply, 9(4)
(2009) 439-448.

[40] R.G. Raluy, L. Serra, J. Uche, Life Cycle Assessment of Water Production Technologies - Part 1: Life
Cycle Assessment of Different Commercial Desalination Technologies (MSF, MED, RO) (9 pp), The
International Journal of Life Cycle Assessment, 10(4) (2005) 285-293.

[41] S. Pishyar, H. Khosravi, A. Tavili, A. Malekian, Desertification Risk Mapping based on Water
Resources Degradation using Multi Criteria Decision Making, Case Study: Kashan, Journal of Water and
Soil Science, 21 (2018).

[42] A. Gohari, S. Eslamian, A. Mirchi, J. Abedi-Koupaei, A. Massah Bavani, K. Madani, Water transfer
as a solution to water shortage: A fix that can Backfire, Journal of Hydrology, 491 (2013) 23-39.

[43] S. Ratnasiri, C. Wilson, W. Athukorala, M.A. Garcia-Valiñas, B. Torgler, R. Gifford, Effectiveness of
two pricing structures on urban water use and conservation: a quasi-experimental investigation,
Environmental Economics and Policy Studies, 20(3) (2018) 547-560.

[44] L. Corominas, D.M. Byrne, J.S. Guest, A. Hospido, P. Roux, A. Shaw, M.D. Short, The application of
life cycle assessment (LCA) to wastewater treatment: A best practice guide and critical review, Water
Research, 184 (2020) 116058.

[45] A. Gallego-Schmid, R.R.Z. Tarpani, Life cycle assessment of wastewater treatment in developing
countries: A review, Water Research, 153 (2019) 63-79.

[46] SimaPro, SimaPro manual for methods, in, February of 2020, https://simapro.com/.

treatment plant (9 pp), The International Journal of Life Cycle Assessment, 12(2) (2007) 118-126.

[30] E. Friedrich, Life-cycle assessment as an environmental management tool in the production of potable
water, Water Science and Technology, 46(9) (2002) 29-36.

[31] R.K. Herz, A. Lipkow, Life cycle assessment of water mains and sewers, Water Supply, 2(4) (2002)
51-72.

[32] Y.R. Filion, H.L. MacLean, B.W. Karney, Life-Cycle Energy Analysis of a Water Distribution System,
Journal of Infrastructure Systems, 10(3) (2004) 120-130.

[33] K.R. Piratla, S.T. Ariaratnam, A. Cohen, Estimation of CO2 Emissions from the Life Cycle of a Potable
Water Pipeline Project, Journal of Management in Engineering, 28(1) (2012) 22-30.

[34] N.T. Hancock, N.D. Black, T.Y. Cath, A comparative life cycle assessment of hybrid osmotic dilution
desalination and established seawater desalination and wastewater reclamation processes, Water
Research, 46(4) (2012) 1145-1154.

[35] S. Angrill, R. Farreny, C.M. Gasol, X. Gabarrell, B. Viñolas, A. Josa, J. Rieradevall, Environmental
analysis of rainwater harvesting infrastructures in diffuse and compact urban models of Mediterranean
climate, The International Journal of Life Cycle Assessment, 17(1) (2012) 25-42.

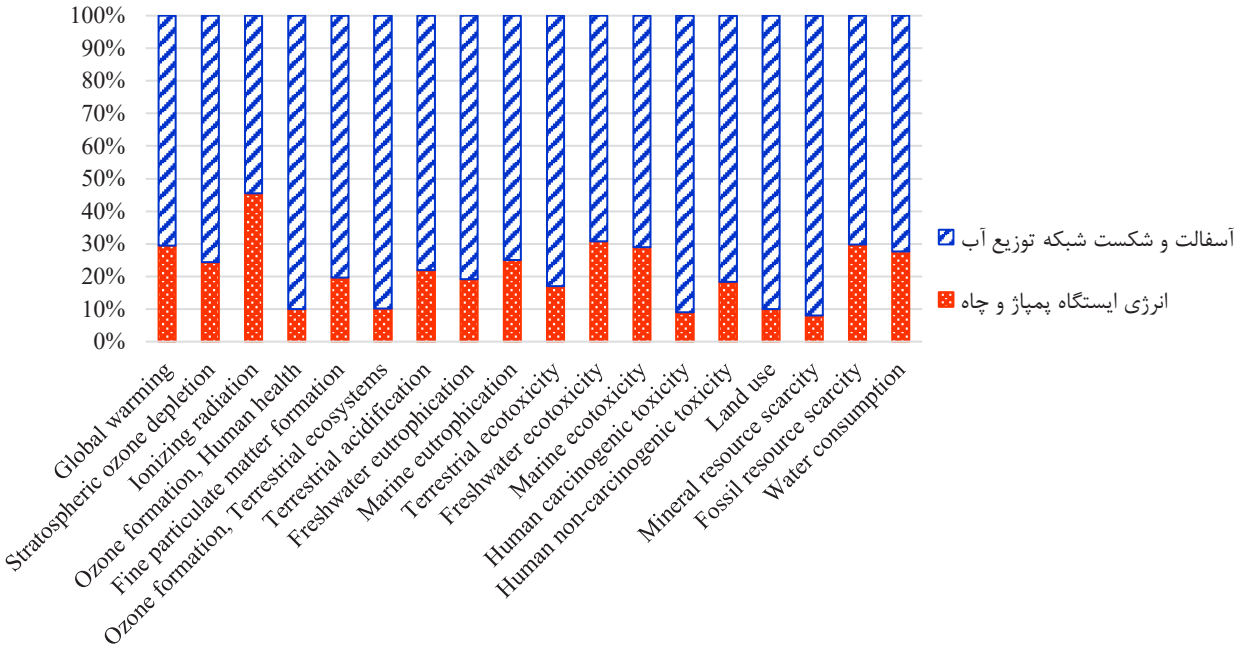
[36] T.K. Das, Evaluating the life cycle environmental performance of chlorine disinfection and ultraviolet
technologies, Clean Technologies and Environmental Policy, 4(1) (2002) 32-43.

[37] S. Lundie, G.M. Peters, P.C. Beavis, Life Cycle Assessment for Sustainable Metropolitan Water
Systems Planning, Environmental Science & Technology, 38(13) (2004) 3465-3473.

[38] R.G. Raluy, L. Serra, J. Uche, Life cycle assessment of desalination technologies integrated with
renewable energies, Desalination, 183(1) (2005) 81-93.

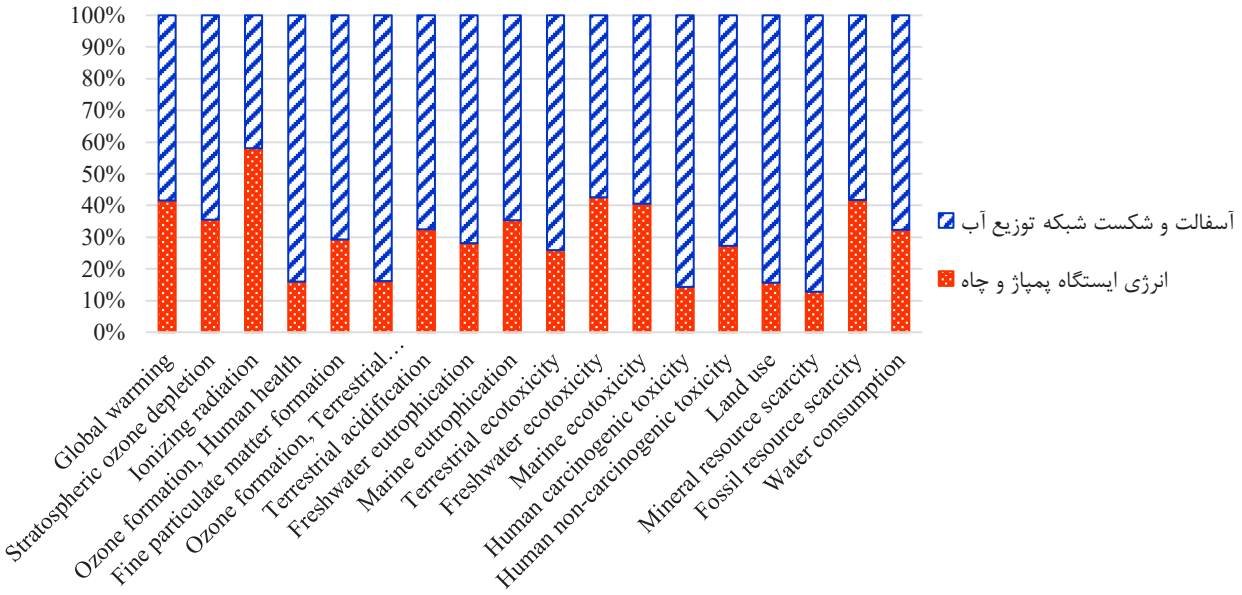
۷- پیوست

در شکل‌های ۱ تا ۳ مقایسه اثرات محیط‌زیستی دو فاز آسفالت و شکست شبکه توزیع آب و مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ و چاه از نظر گروه اثرات میانی در سناریوهای ۱، ۳ و ۴ آورده شده است.



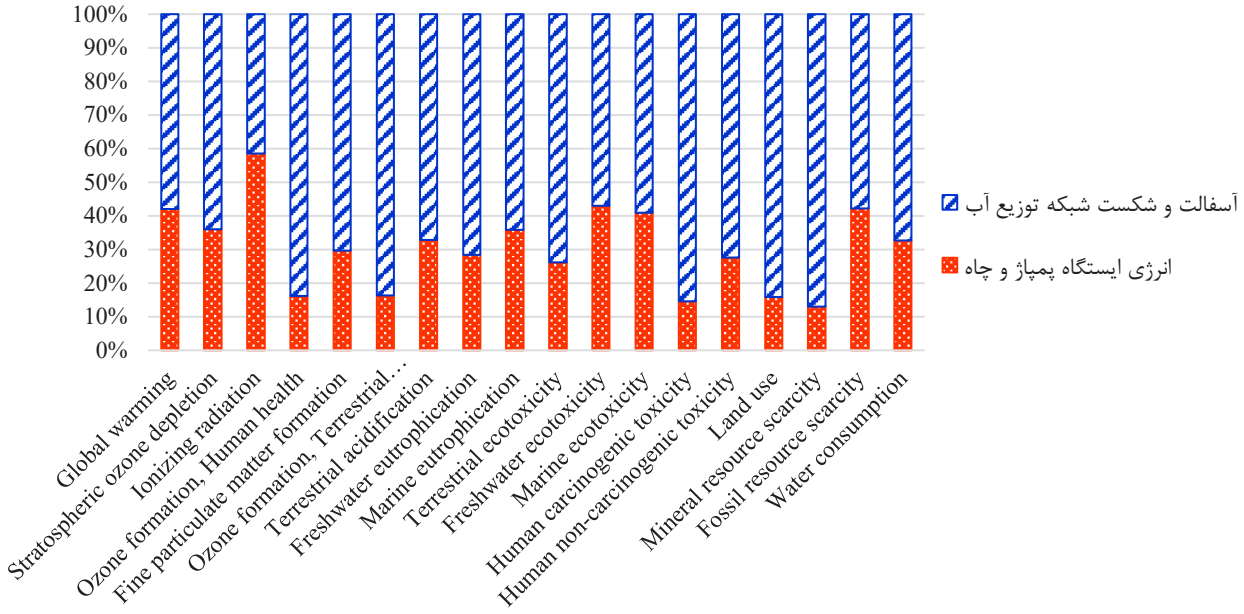
شکل ۱. مقایسه فازها از نظر گروه اثرات میانی با استفاده از روش ReCipe در سناریوی ۱

Figure 1. Comparing phases of scenario 1 using the ReCipe midpoint method



شکل ۲. مقایسه فازها از نظر گروه اثرات میانی با استفاده از روش ReCipe در سناریوی ۳

Figure 2. Comparing phases of scenario 3 using the ReCipe midpoint method

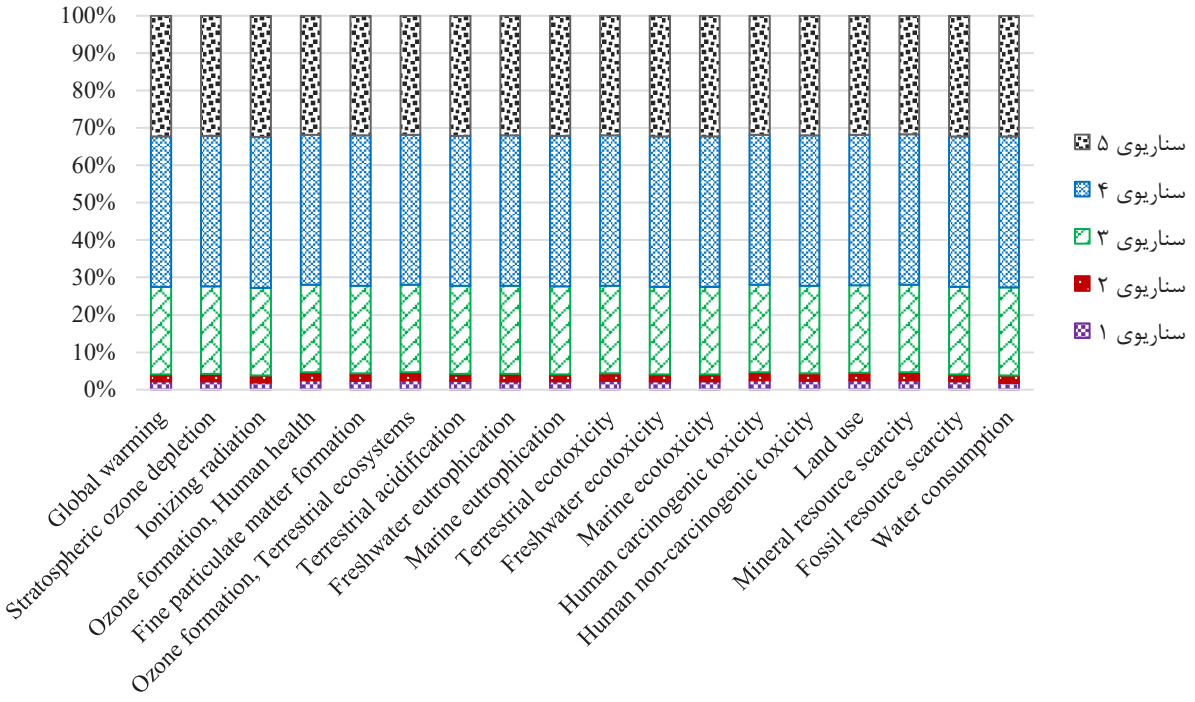


شکل ۳. مقایسه فازها از نظر گروه اثرات میانی با استفاده از روش ReCipe در سناریوی ۴

Figure 3. Comparing phases of scenario 4 using the ReCipe midpoint method

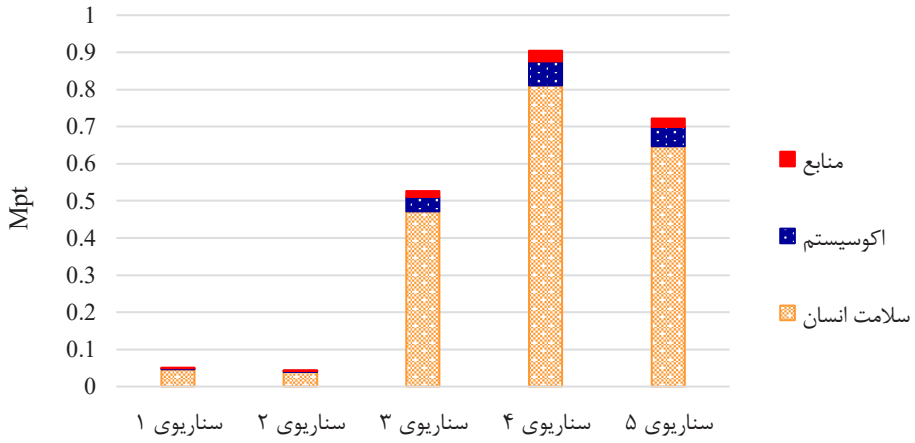
همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود درصد تاثیر هر یک از سناریوها در شاخص‌های اثرات میانی یکسان است. این موضوع به این معناست که با توجه به نسبت کاهش و یا افزایش خرابی‌های شبکه و مصرف انرژی، اثرات محیط‌زیستی نیز به همان نسبت کاهش و یا افزایش می‌یابند و زمانی که اثرات سناریوهای مختلف به صورت درصدی از ۱۰۰ دیده می‌شود، مقادیر اثرات محیط‌زیستی هر سناریو در تمامی شاخص‌ها یکسان می‌شود. به صورت کلی به ترتیب سناریوی ۴، سناریوی ۵، سناریوی ۳، سناریوی ۱ و در انتها سناریوی ۲ بیشترین نرخ اثرات محیط‌زیستی را دارند. مقایسه‌ی سناریوهای ۱ و ۲، همچنین ۴ و ۵ که تفاوت آن‌ها در عدم اعمال و اعمال سیاست‌های مدیریت تقاضا در سال‌های مشابه است، نشان می‌دهد که سیاست‌های مدیریت تقاضا و اعمال کمبود بر شبکه توزیع، نرخ خرابی، تولید، مصرف آب و مصرف انرژی کمتر توسط ایستگاه پمپاژ و چاه را به دنبال دارد و باعث کاهش اثرات محیط‌زیستی خواهد شد. برخی از شاخص‌های اثرات محیط‌زیستی میانی در بخش‌های بعدی بررسی شده است.

با توجه به شکل ۵ با افزایش سال‌های مدیریت فشار و نزدیک شدن به سال انتهای دوره طرح، اثرات پایانی به ترتیب در سناریوهای ۳ و ۵ افزایش می‌یابد. در سناریوی ۴ از سال ۱۳۹۷ تا سال ۱۴۱۵ که مدیریت فشار در شبکه توزیع آب انجام نشده است به علت افزایش جمعیت، مصرف انرژی بیشتر و شکست بیشتر، اثرات محیط‌زیستی پایانی دارای بیشترین مقدار است. مهم‌ترین گروه اثرات پایانی گروه سلامت انسان است که در این مطالعه بیشترین اثرات متعلق به این دسته است. مقایسه سناریوها در این دسته به ترتیب سناریوی ۴ (۰/۸۱ Mpt)، سناریوی ۵ (۰/۶۴ Mpt)، سناریوی ۳ (۰/۴۷ Mpt) و سناریوی ۱ (۰/۰۴۵ Mpt) و سناریوی ۲ (۰/۰۳۹ Mpt) است. همچنین ترتیب سناریوها در گروهای دیگر اثرات پایانی مشابه ترتیب سناریوها در گروه اثرات سلامت است که مقادیر آن‌ها کمتر از گروه سلامت انسان است. در واقع در سناریوی ۱ و ۲ که هر دو از لحاظ بازه زمانی یکسان هستند و تفاوت آن‌ها در اعمال و عدم اعمال سیاست مدیریت فشار و کمبود است، مجموع اثرات پایانی در سناریوی ۱ تقریبا ۱/۱۷ برابر سناریوی ۲ است. این موضوع نشان دهنده اثرات مثبت اتخاذ سیاست مدیریت تقاضای آب در شرایط کم‌آبی با استفاده از مدیریت فشار، به تبع آن مصرف انرژی و آب کمتر در بلند مدت است که بار محیط‌زیستی را کاهش می‌دهد.



شکل ۴. درصد تاثیر هر یک از سناریوها در شاخص‌های اثرات میانی با استفاده از روش ReCipe

Figure 4. Percentage of each scenario's impact on midpoint indicators by the ReCipe method



شکل ۵. مقایسه سناریوها بر اساس گروه اثرات پایانی با استفاده از روش ReCipe

Figure 5. Comparing scenarios using the ReCipe endpoint method

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. Abbasi, M. Tabesh , H. Safarpour, S. A. R. Shahangian, Environmental Impacts Assessment of Water Demand Management Policies on Urban Water Systems Using Life Cycle Approach, Amirkabir J. Civil Eng., 54(10) (2023) 3903-3922.

DOI: 10.22060/ceej.2022.20421.7422