



A review of the economic, social, and environmental dimensions of wastewater reuse

Shahram Ghobadi¹ | Ali Moridi² | Reza Khalili³

1. Department of Environmental Engineering, Water and Wastewater, Tehran University, Tehran, Iran. E-mail: shahram9431@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: a_moridi@sbu.ac.ir
3. Department of Water, Wastewater and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: re_khalili@sbu.ac.ir

Article Info

Article type:
Review Article

Article history:

Received 1 June 2025
Received in revised form
7 October 2025
Accepted 2 January 2026
Published online 22 June 2026

Keywords:

Alternative resources
water reuse
water security
water resources management

ABSTRACT

The increasing scarcity of water and its associated challenges have heightened the importance of making appropriate decisions regarding the reuse of wastewater. This review aims to provide a comprehensive overview of the considerations surrounding water reuse by addressing its multidimensional perspectives. Furthermore, this study seeks to identify existing research gaps in the country and propose directions for future investigations. According to the findings, ensuring the economic sustainability of reuse projects requires establishing a strong linkage between wastewater management and other economic sectors to mitigate investment risks. Water pricing reform plays a key role in the success of such programs. Public awareness and education have a significant impact on alleviating concerns regarding the consequences of wastewater reuse and on strengthening public support for reuse initiatives. In general, wastewater does not constitute a new source of water, and its reuse will not alter the overall hydrological balance of the basin. Therefore, reuse projects must carefully assess the reduction in return flows and its impacts on local aquifers, environmental flows, and downstream water-dependent users. Developing an integrated framework for assessing the overall sustainability and long-term effectiveness of wastewater reuse strategies is essential for effective water management in the country.

Cite this article: Ghobadi, Sh., Moridi, A., & Khalili, R. (2026). A review of the economic, social, and environmental dimensions of wastewater reuse. *Journal of Water and Irrigation Management*, 16 (1), 215-236.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2026.396458.1236>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2026.396458.1236>

Publisher: University of Tehran Press.



مروری بر ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی استفاده مجدد از پساب

شهرام قبادی^۱ | علی مریدی^۲ | رضا خلیلی^۳

۱. دانشکده مهندسی محیط زیست - آب و فاضلاب، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: shahram9431@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a_moridi@sbu.ac.ir

۳. گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران. رایانامه: re_khalili@sbu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

کمبود فزاینده آب و مشکلات مرتبط با آن، اهمیت اتخاذ تصمیمات مناسب در خصوص نحوه استفاده از پساب را دوچندان نموده است. این بررسی با هدف ارائه یک معرفی جامع از ملاحظات استفاده مجدد آب، به چشم‌انداز چندوجهی آن می‌پردازد. بعلاوه در این کار تلاش گردید تا خلأهای مطالعاتی کشور در این زمینه، شناسایی و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ارائه گردد. براساس نتایج، برای تأمین پایداری اقتصادی طرح‌های استفاده مجدد ضروری است که پیوند بین مدیریت پساب با سایر بخش‌های اقتصادی به‌منظور کاهش ریسک‌های سرمایه‌گذاری برقرار گردد. اصلاح قیمت آب، نقش کلیدی در موفقیت این برنامه‌ها دارد. اطلاع‌رسانی و آموزش تأثیر به‌سزایی در کاهش نگرانی‌های عمومی نسبت به پیامدهای استفاده مجدد از پساب و افزایش حمایت مردم از بیبرنامه‌های استفاده مجدد دارد. در حالت کلی، پساب منبع آب جدید نبوده و استفاده مجدد از آن در بیلان کلان هیدرولوژی حوضه آبریز تغییری ایجاد نخواهد کرد. بنابراین، در طرح‌های استفاده مجدد باید موضوع کاهش حجم برگشتی و اثرات حاصل از آن بر آبخوان منطقه، جریان‌های زیست‌محیطی و کاربران وابسته به جریان آب در پایین‌دست به دقت موردتوجه و ارزیابی قرار گیرد. توسعه یک چارچوب یکپارچه برای ارزیابی پایداری جامع و اثربخشی بلندمدت استراتژی‌های استفاده مجدد از پساب، در مدیریت آب کشور امری ضروری است.

نوع مقاله: مقاله مروری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:

استفاده مجدد از آب

امنیت آب

مدیریت منابع آب

منابع جایگزین

استناد: قبادی، شهرام؛ مریدی، علی و خلیلی، رضا (۱۴۰۵). مروری بر ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی استفاده مجدد از پساب. نشریه

مدیریت آب و آبیاری، ۱۶ (۱)، ۲۱۵-۲۳۶. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2026.396458.1236>



۱. مقدمه

آب یک منبع کمیاب است و روندها و عوامل مختلف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی فعلی مانند رشد جمعیت، ارتقای استانداردهای زندگی، شهرنشینی و تغییرات آب‌وهوایی فشار بر منابع آب را افزایش می‌دهد (Livia *et al.*, 2020). ادراک خطرات جهانی در دهه آینده حول بحران‌های منابع طبیعی، از جمله کمبود فزاینده آب متمرکز است (Fiksel *et al.*, 2021). تا سال ۲۰۵۰ بیش از نیمی از جمعیت جهان و حدود نیمی از تولید جهانی غلات به دلیل مشکلات ناشی از تنش آبی در معرض خطر قرار خواهند گرفت (HLPW, 2018). کمبود آب، چه به دلیل کمبود فیزیکی و چه به دلیل آلودگی، به یکی از مبرم‌ترین مسائل در سطح جهان و به عاملی تهدیدکننده برای امنیت انسانی، اقتصادی و زیست‌محیطی تبدیل شده است (Tortajada, 2020). تصفیه فاضلاب با توسعه پایدار، محیط‌زیست و سلامت انسان ارتباط مستقیم دارد (Ullah, 2020). با این حال، حدود ۳۲ درصد از جمعیت جهان فاقد پوشش تصفیه‌خانه‌های فاضلاب هستند. براساس داده‌های FAO (2021)، ۵۴ درصد از فاضلاب تولیدی در سراسر جهان تصفیه می‌شود، درحالی‌که این میزان در کشورهای توسعه‌یافته بالای ۹۰ درصد است. در بیش‌تر کشورهای در حال توسعه، ساخت و بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب همچنان یک چالش محسوب می‌شود (Arroyo & Molinos-Senante, 2018).

براساس تعریفی که توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (EPA) ارائه شده است؛ استفاده مجدد از آب، فرایندی است که آب را از منابع مختلف بازیابی می‌کند و سپس آن را برای مقاصد سودمند مورد استفاده مجدد قرار می‌دهد. استفاده مجدد از پساب یکی از راه‌کارهای کلیدی برای کاهش اثرات کمبود آب است (Naghsh Javaheri *et al.*, 2020) و به‌عنوان یک راه‌کار مهم برای ایجاد سازگاری شناخته شده است (Lee & Kacprzak & Kupich, 2023; Jepson, 2020). استفاده مجدد از آب، فرایند بازیابی آب از منابع مختلف، تصفیه و استفاده مجدد از آن برای اهداف مفید است (Khokhar *et al.*, 2024). استفاده مجدد از آب می‌تواند منابع جایگزین برای مصارف آشامیدنی و غیرآشامیدنی برای افزایش امنیت، پایداری و انعطاف پذیری آب فراهم کند (Neri *et al.*, 2025; Mishra *et al.*, 2021). کمبود فزاینده آب و مشکلات مرتبط با آن، اهمیت اتخاذ تصمیمات مناسب در خصوص نحوه استفاده از پساب را دوچندان نموده است. اما از سوی دیگر، این برنامه‌های استفاده مجدد با فرایندهای تصمیم‌گیری پیچیده تحت تأثیر موانع (Jesus *et al.*, 2023) و محرک‌های (Aziz & Chowdhury, 2023) مختلف مواجه هستند. موفقیت طرح‌های استفاده مجدد منوط به شناخت و درک صحیح ملاحظات مرتبط با استفاده مجدد از پساب می‌باشد.

این بررسی با هدف ارائه یک معرفی جامع از ملاحظات استفاده مجدد آب، به چشم‌انداز چندوجهی و ابعاد مختلف آن می‌پردازد. بدین ترتیب، هدف اصلی مطالعه گردآوری و بررسی ادبیات استفاده مجدد از پساب به‌منظور تشریح ملاحظات مطرح شده در این مطالعات بود تا درک روشن‌تر و کامل‌تری در خصوص ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی استفاده مجدد از پساب داشته باشیم. در این زمینه، تاکنون به‌ندرت بررسی‌های متمرکز بر ملاحظات استفاده مجدد آب دیده شده است. علاوه بر این، مقالات مروری کمی وجود دارد که به‌طور خاص به ملاحظات استفاده مجدد آب پرداخته و موضوعات آن‌ها را خلاصه نموده باشد. هم‌چنین، در این کار تلاش گردید تا خلأهای مطالعاتی کشور در این زمینه، شناسایی و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ارائه گردد. پژوهش حاضر، در چهار بخش تنظیم شده است. در بخش دوم روش‌شناسی پژوهش تشریح می‌گردد. بخش سوم شامل یافته‌های پژوهش و بحث پیرامون یافته‌های پژوهش و تشریح ملاحظات مربوطه است. در بخش چهارم به جمع‌بندی نتایج پرداخته شده است.

۲. روش‌شناسی پژوهش

در این بررسی، مروری بر ادبیات استفاده مجدد از پساب، با تمرکز ویژه بر ملاحظات مطرح شده در این مطالعات ارائه شده است. داده‌های این مطالعه از پایگاه داده Scopus جمع‌آوری شده است، پایگاه داده دانشگاهی پیشرو که دسترسی به مجلات معتبر، مجموعه مقالات کنفرانس و مجموعه کتاب‌ها در زمینه‌های مختلف را فراهم می‌کند. برای تکمیل منابع مربوط به ایران از پایگاه داده sid.ir نیز استفاده گردید. چون یکی از اهداف مقاله شناسایی خلأهای مطالعاتی کشور در زمینه استفاده مجدد از آب بود، لذا سعی شد تا در فرایند انتخاب، مقالات با موقعیت مطالعه ایران بیش‌تر مدنظر قرارگیرد. نتایج گردآوری و بررسی شدند. در مرحله دوم، غربالگری انجام شد که طی آن مقالات تکراری و مواردی که تاریخ چاپ آن‌ها قبل از سال ۲۰۱۰ بود، حذف گردیدند و از آنجا که قصد این مقاله گردآوری و تحلیل ملاحظات مربوط به طرح‌های استفاده مجدد از آب بود، لذا مقالاتی که تنها به موضوعات فنی مرتبط با فرایندهای تصفیه و تأسیسات در استفاده مجدد از آب پرداخته بودند نیز در این مرحله حذف شدند. در ادامه با مطالعه مقالات، از بین مواردی که دارای محتوای نزدیک و مشابه بودند یک مورد انتخاب و سایر موارد مشابه حذف گردیدند.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

جدول (۱) فهرست مقالات موجود در تجزیه و تحلیل این مطالعه را به‌طور خلاصه ارائه می‌کند. در این جدول علاوه بر نام و عنوان مقاله (Reference & Title)؛ با بررسی محتوای متون مقالات، کاربری‌های مطرح‌شده در هر مقاله (Applications) و همچنین ملاحظات مورد مطالعه در آن مقاله (Considerations) به تفکیک، استخراج و در ستون‌های مربوطه منعکس گردیده است. موقعیت مکانی موارد مطالعاتی هر مقاله نیز در ستون جداگانه و به تفکیک کشوری و جهانی (Case Location) به‌منظور تکمیل مشخصات در جدول وارد گردید.

Table 1. List of papers included in analysis

Reference	Title	Applications	Considerations	Case Location	
				Iran	World
(Baghapour <i>et al.</i> , 2017)	A survey of attitudes and acceptance of wastewater reuse in Iran: Shiraz City as a case study	Potable/ Non-potable Urban and landscape	Social	Shiraz	
(Kayhanian & Tchobanoglous, 2016)	Water reuse in Iran with emphasis on potable reuse	Potable	Social / Risk / Legal/ cultural – religious	Iran	
(Hadipour <i>et al.</i> , 2016)	Multi-criteria decision-making model for wastewater reuse application: a case study from Iran	Non-potable Urban and landscape / Agricultural /Industrial /Environmental	Economic/Environmental/ Social /Risk	Central region of Iran	
(Dehaghi & Khoshfetrat, 2020)	AHP-GP approach by considering the Leopold matrix for sustainable water reuse allocation: Najafabad case study, Iran	Non-potable Urban and landscape / Agricultural/ Industrial	Economic/Environmental/ Social /Risk	Nadjaf abad	
(Charkhestani <i>et al.</i> , 2016)	Wastewater reuse: potential for expanding Iran's water supply to survive from absolute scarcity in future	Non-potable Urban and landscape / Agricultural/ Industrial	-	Iran	
(Piadeh <i>et al.</i> , 2022)	A novel framework for planning policy and responsible stakeholders in industrial wastewater reuse projects: a case study in Iran	Industrial/ Non-potable Urban and landscape	Social / cultural – religious	Industrial parks	
(Kayhanian & Tchobanoglous, 2018a; Kayhanian & Tchobanoglous, 2018b; Kayhanian & Tchobanoglous, 2018c)	Potential application of reclaimed water for potable reuse: part I-III	Potable	Risk / Legal/ Social / cultural – religious	Iran	

Continued table 1. List of papers included in analysis

Reference	Title	Applications	Considerations	Case Location	
				Iran	World
(Mahdavi <i>et al.</i> , 2020)	Wastewater reuse from hemodialysis section by combination of coagulation and Ultrafiltration processes: Case study in saveh-iran hospital	Non-potable Urban and landscape	-		Saveh
(Piadeh <i>et al.</i> , 2014)	Present situation of wastewater treatment in the Iranian industrial estates: Recycle and reuse as a solution for achieving goals of eco-industrial parks	Industrial/ Non-potable Urban and landscape	Economic		Industrial estates
(Ansari <i>et al.</i> , 2018)	A technical model for reclaimed water reuse in agricultural irrigation: a case study in Kordkuy, Iran	Agricultural	Legal		Kordkuy
(Mohammadi Moghadam <i>et al.</i> , 2015)	Feasibility study of wastewater reuse for irrigation in Isfahan, Iran	Agricultural	Legal		Isfahan
(Rohani Farahmand & Tizghadam Ghazani, 2017)	Economic and technical investigation of grey water reuse in high-Rise buildings in Iran	On-site Residential / Non-potable Urban and landscape	Economic/ Legal		Tehran
(Farzi and Mehrabadi, 2019)	Systematic Analysis of Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats of On-site Greywater Reuse in Iran Based on Fuzzy Analytical Hierarchy Process. Iran	On-site Residential	Environmental/Social / Economic/ Legal/ Risk		Iran
(Hosseinzadeh <i>et al.</i> , 2014)	A study on membrane bioreactor for water reuse from the effluent of industrial town wastewater treatment plant	Industrial	-		Shokouhieh, Qom
(Taheriyoun <i>et al.</i> , 2016)	Risk analysis of wastewater reuse in agriculture using Baysian network	Agricultural	Risk		Ghazvin
(Arjmandi <i>et al.</i> , 2019)	Risk analysis of water reuse for industrial cooling water consumption	Industrial	Risk		Isfahan Mobarakeh Steel Complex
(Choopan and Emami, 2018)	Evaluation of Physical, Chemical and Biologic Properties of Torbat-Heydarieh's Municipal Wastewater Treatment Plant for Agricultural Uses	Agricultural	-		Torbat-Heydarieh
(Ahmadi <i>et al.</i> , 2017)	Multi-criteria analysis of site selection for groundwater recharge with treated municipal wastewater	Environmental	Social / Environmental/ Economic		Kerman
(Shakeri <i>et al.</i> , 2020)	Analysis of Legal Considerations and Challenges of Wastewater Reuse Management	-	cultural – religious /Legal		Iran
(Sheikholeslami <i>et al.</i> , 2022)	The Environmental assessment of Tertiary Treatment Technologies for Wastewater Reuse by Considering LCA Uncertainty	Non-potable Urban and landscape/ Industrial/Environmental	Environmental		Tehran
(Jaramillo and Restrepo, 2017)	Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits	Agricultural	Risk / Environmental		Worldwide
(Shoushtarian & Negahban-Azar, 2020)	Worldwide regulations and guidelines for agricultural water reuse: a critical review	Agricultural	Legal		Worldwide
(NRC, 2012)	Water reuse: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater	Non-potable Urban and landscape / Agricultural /Industrial /Environmental / Potable	Risk / Environmental/ Economic/ Legal/ Social		Worldwide
(Ostad-Ali-Askari & Eslamian, 2021)	Water reuse in industry: necessities and possibilities	Industrial	Environmental/ Economic		Perth, Australia
(Chen <i>et al.</i> , 2017)	Centralized water reuse system with multiple applications in urban areas: Lessons from China's experience	Non-potable Urban and landscape/ Industrial	Risk / Environmental/ Economic		China

Continued table 1. List of papers included in analysis

Reference	Title	Applications	Considerations	Case Location	
				Iran	World
(Valipour & Singh, 2016)	Global experiences on wastewater irrigation: challenges and prospects	Agricultural	Risk / Environmental/ Economic/Legal/ Social		Worldwide
(Yadav <i>et al.</i> , 2016)	Impacts of wastewater reuse on peri-urban agriculture: Case study in Udaipur city, India	Agricultural	Environmental/ Risk		Udaipur city, India
(Thakur <i>et al.</i> , 2016)	Water Reuse Products in Urban Areas	Agricultural/ Non-potable Urban and landscape/ Industrial/Environmental	Risk / Economic/Legal/ Environmental/ Social		Worldwide
(Arden <i>et al.</i> , 2021)	Onsite non-potable reuse for large buildings: Environmental and economic suitability as a function of building characteristics and location	On-site Residential	Economic/ Environmental		U.S.
(Rupiper & Loge, 2019)	Identifying and overcoming barriers to onsite non-potable water reuse in California from local stakeholder perspectives	On-site Residential	Economic/ Environmental		California, U.S.
(Arden <i>et al.</i> , 2020)	Human health, economic and environmental assessment of onsite non-potable water reuse systems for a large, mixed-use urban building	On-site Residential	Risk / Economic/ Environmental		U.S.
(Jeffrey <i>et al.</i> , 2022)	The status of potable water reuse implementation	Potable	Risk / Legal		Worldwide
(Abdel-Shafy & Mansour, 2013)	Overview on water reuse in Egypt: present and future	Agricultural	Legal/ Economic/ Environmental/ Risk		Egypt
(Ricart & Rico, 2019)	Assessing technical and social driving factors of water reuse in agriculture: A review on risks, regulation and the yuck factor	Agricultural	Social		worldwide
(Kellis <i>et al.</i> , 2013)	Review of wastewater reuse in the Mediterranean countries, focusing on regulations and policies for municipal and industrial applications	Non-potable Urban and landscape/ Industrial	Legal / cultural – religious/ Social/ Economic/ Risk		Mediterranean Region
(Khaing <i>et al.</i> , 2010)	Feasibility study on petrochemical wastewater treatment and reuse using a novel submerged membrane distillation bioreactor	Potable	-		Singapore
(Alves <i>et al.</i> , 2011)	Water Reuse Projects—Technical and Economic Sustainability	Non-potable Urban and landscape	Economic		Portugal
(Massoud <i>et al.</i> , 2018)	Factors influencing the reuse of reclaimed water as a management option to augment water supplies	Non-potable Urban and landscape/ Agricultural/ Potable	Social/ cultural – religious/ Risk		Beirut, Lebanon

با استخراج محتوای کلمات کلیدی مقالات مورد بررسی و با استفاده از ابر کلمات، یک تصویر کلی از کلمات کلیدی مقالات مورد بررسی، ارائه شده است (شکل ۱). بر این اساس، عبارات «استفاده مجدد» و «فاضلاب» از پرتکرارترین موضوعات بوده‌اند. سایر کلمات براساس میزان حضور در کلمات کلیدی مقالات مورد بررسی، در ابر کلمات (شکل ۱) در تصویر وارد شده‌اند. در ادبیات مورد بررسی در این پژوهش، طیف گسترده‌ای از کاربری‌های استفاده مجدد از آب معرفی شده بود. این کاربری‌ها، تحت عنوان منابع جایگزین برای مصارف آشامیدنی و غیرآشامیدنی تشریح گردیده‌اند. کاربری آشامیدنی استفاده مجدد از آب به معنای تقویت منبع آب آشامیدنی با استفاده از آب بازیافتی است (Kayhanian & Tchobanoglous, 2016). دو نوع کاربری آشامیدنی استفاده مجدد از آب وجود دارد که شامل استفاده مجدد غیرمستقیم قابل شرب برنامه‌ریزی شده (IPR)^۱ و استفاده مجدد مستقیم قابل شرب برنامه‌ریزی شده (DPR)^۲ می‌شود (Kayhanian & Tchobanoglous, 2018a). در استفاده مجدد غیرمستقیم آشامیدنی، پساب تصفیه شده به یک محیط حائل آب طبیعی (یک بافر محیطی) مانند سفره آب زیرزمینی یا مخزن آب سطحی، دریاچه یا رودخانه اضافه می‌شود تا با دادن زمان کافی به آب، با آب‌های طبیعی دیگر مخلوط شده و به این وسیله از سلامت آن اطمینان حاصل شود و سپس برای

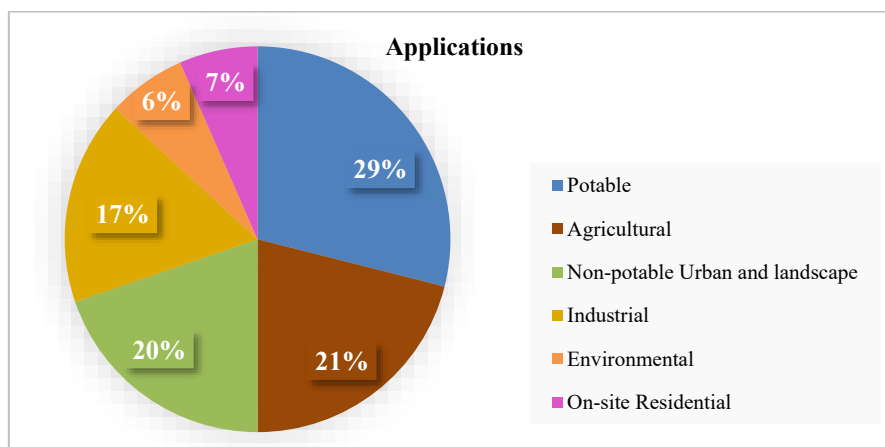


Figure 1. Applications for water reuse in reviewed articles

از طریق بررسی ادبیات، ملاحظات مربوط به استفاده مجدد از آب، شناسایی گردید. این ملاحظات مهم در استفاده مجدد از آب، درشش زمینه اصلی قابل دسته‌بندی بودند که شامل ملاحظات اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، فرهنگی- مذهبی، قانونی و ریسک‌ها می‌باشند. جدول (۳) طبقه‌بندی ملاحظات استفاده مجدد از آب را ارائه می‌کند. براساس نمودار شکل (۲)، ۲۱ درصد از محتوای متون مقالات با ملاحظات زیست‌محیطی، ۱۷ درصد با ملاحظات اجتماعی، ۱۶ درصد ۲۰ درصد به ملاحظات اقتصادی، ۱۹ درصد با ملاحظات زیست‌محیطی، ۱۷ درصد با ملاحظات اجتماعی، ۱۶ درصد موضوعات قانونی و هفت درصد با ملاحظات فرهنگی- مذهبی مرتبط بودند.

Table 3. Categories of Considerations in water reuse

Categories	Issues for consideration
Economic	Economic sustainability, Financial costs, investment risks, Water price, Financial gains
Environmental	Environmental assessment, Environmental planning and management, Water balances, Ecological flows, Water distribution
Social	Public attitude, Public acceptance, Participation of social groups, Stockholders, Public outreach, education
Cultural /religious	Deep beliefs, Religious beliefs, Risk perception, Disgust, yuck factor
legal	Wastewater management, Water reuse regulations and guidelines, Legal requirements, Institutional needs, Compensation for damages
Health and environmental risks	Risk assessment, Risk management, Occupational risks, Emerging pollutant

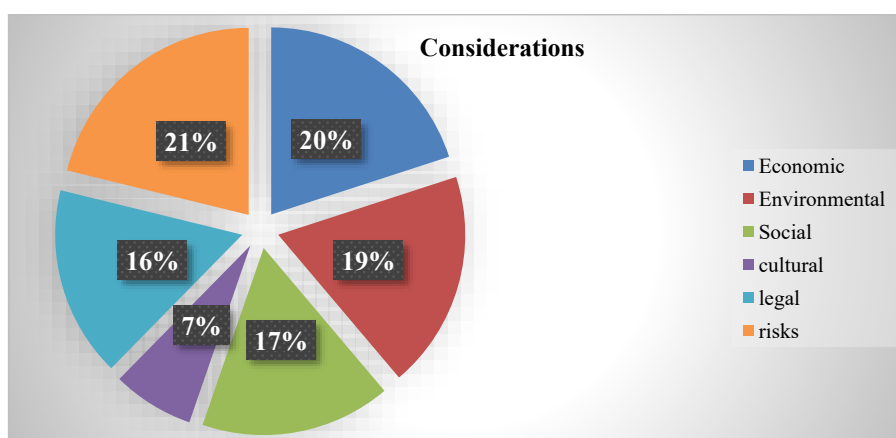


Figure 2. Considerations for water reuse in reviewed articles

بهینگی تخصیص می‌تواند با ایجاد تغییرات در ویژگی‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی موردنظر برای هر کاربرد و همچنین تغییر در وزن‌دهی آن‌ها در کاربردهای جایگزین، تغییر نماید (Dehaghi & Khoshfetrat, 2020). بنابراین، به‌طور قابل پیش‌بینی می‌توان انتظار داشت که نتایج و توصیه‌های مطالعات مختلف، خروجی‌های متفاوتی را ارائه دهند. به‌عنوان مثال، نتایج Hadipour *et al.* (2016) نشان داد که تغذیه آب زیرزمینی بهترین جایگزین برای استفاده مجدد از پساب در ایران است و به‌دنبال آن استفاده زیست‌محیطی بهترین گزینه خواهد بود. درحالی‌که Charkhestani *et al.* (2016) پتانسیل پنهان استفاده مجدد برای حفظ کشور از کمیابی مطلق در آینده را در سه کاربرد کشاورزی، صنعتی و شهری جستجو می‌کند. به هر حال، انتخاب برنامه و کاربری بهینه استفاده مجدد از آب، بسته به شرایط جغرافیایی و مکانی متفاوت و براساس ویژگی‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی مناطق و تدابیر سیاستی اتخاذشده، در طیف گسترده‌ای از کاربری‌های مختلف استفاده مجدد، قابل تغییر است و موفقیت این بیبرنامه‌ها منوط به شناخت و رعایت ملاحظات مربوطه است که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌گردد.

۳.۱. ملاحظات اقتصادی

استفاده مجدد از آب یک سرمایه‌گذاری بلندمدت و چندوجهی است که علاوه بر هزینه‌های مستقیم فناوری و تصفیه، تحت تأثیر عوامل اقتصادی، سیاست‌های قیمت‌گذاری و بازده اجتماعی قرار دارد. در این بخش، ملاحظات اقتصادی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

جنبه‌های مالی در ارزیابی امکان‌سنجی پروژه‌های استفاده مجدد از آب بسیار مهم هستند (Alves *et al.*, 2011). توجیه اقتصادی یک پروژه استفاده مجدد از فاضلاب اغلب یک عامل تعیین‌کننده برای تحقق آن است (Massoud *et al.*, 2019). پروژه‌های استفاده مجدد از آب معمولاً نیازمند سرمایه‌گذاری قابل توجه هستند. هزینه‌های نصب و نگهداری سیستم‌های تأمین، مانند هزینه‌های حمل و نقل، می‌تواند چالش‌برانگیز باشد، به خصوص در مناطقی با زیرساخت‌های ضعیف (Zhang & Shen, 2019). مسافت‌های طولانی بین تصفیه‌خانه فاضلاب و محل‌های استفاده مجدد، به خطوط لوله و انرژی برای پمپاژ نیاز دارد، که می‌تواند هزینه‌بر باشد (Lee *et al.*, 2018). پروژه‌های استفاده مجدد از آب با نیاز به هزینه‌های سرمایه‌گذاری^۴ بالا، عدم قطعیت و کثرت بیشتر تقاضا برای آب بازیافتی در مقایسه با منابع آب جایگزین مشخص می‌شوند (Alves *et al.*, 2011). به‌دلیل کمبود ظرفیت مالی در نگهداری تأسیسات بزرگ تصفیه‌خانه فاضلاب مرکزی، کشورهای کم‌درآمد تمایل دارند به تأسیسات حمل و نقل و تصفیه غیرمتمرکز در مقیاس کوچک روی آورند (Khalid *et al.*, 2018). از سوی دیگر، پروژه‌های کاربردهای غیرقابل شرب که هزینه‌های سرمایه و عملیات و نگهداری را به حداقل می‌رسانند و از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب موجود استفاده می‌کنند، اغلب مقرون‌به‌صرفه هستند زیرا برای اکثر کاربردهای غیرقابل شرب، کم‌ترین تصفیه اضافی فراتر از الزامات دفع فاضلاب معمولی موردنیاز است (NRC, 2012).

با در نظر گرفتن این واقعیت که پروژه‌های استفاده مجدد از آب معمولاً نیازمند سرمایه‌گذاری قابل توجه در تصفیه ثانویه یا پیشرفته و ایجاد شبکه‌های توزیع جداگانه برای آب بازیافتی هستند، راه‌حل‌های متناسب با هدف می‌توانند راه‌حلی برای به‌حداقل رساندن این هزینه‌ها باشند. در واقع، همه شیوه‌های استفاده مجدد به الزامات کیفیت آب یکسانی نیاز ندارند. اگرچه هزینه‌های هر پروژه بستگی زیادی به مشخصات و شرایط سایت موردنظر دارد، با این حال تجزیه و تحلیل هزینه‌های مقایسه‌ای نشان می‌دهد که پروژه‌های استفاده مجدد گران‌تر از بسیاری از گزینه‌های صرفه‌جویی در آب و ارزان‌تر از نمک‌زدایی آب دریا هستند. کم‌هزینه‌ترین سیستم‌های استفاده مجدد از آب، سیستم‌هایی هستند که آب بازیافتی غیرقابل شرب را برای عملیات‌های آبیاری یا خنک‌کننده صنعتی واقع در نزدیکی تصفیه‌خانه فاضلاب تأمین

می‌کنند. بنابراین از نظر مالی، می‌توان راه‌حل‌های مناسبی برای تصفیه فاضلاب مناسب برای مناطقی با زیرساخت‌های ضعیف یا جوامع کوچکی که نمی‌توانند هزینه‌های فناوری‌های پیشرفته تصفیه را تحمل کنند، یافت. با در نظر گرفتن کیفیت فاضلاب ورودی، ویژگی‌های اقلیمی و اجتماعی-اقتصادی، یک رویکرد متناسب با هدف می‌تواند یک منبع آب تجدیدپذیر مقرون‌به‌صرفه را فراهم کند. به‌عنوان مثال، استفاده از یک حوضچه تثبیت می‌تواند به‌عنوان یک راه حل مناسب برای مناطق روستایی و دورافتاده که زمین با قیمت پایین قابل دسترس است، در نظر گرفته شود (Das & Bokshi, 2017) و یا به‌عنوان نمونه‌ای دیگر، می‌توان به این موضوع اشاره کرد که در استفاده از پساب تصفیه‌شده برای بسیاری از مصارف صنعتی و یا آبیاری فضای سبز شهری، هزینه سرمایه و عملیاتی کاهش می‌یابد، به‌ویژه اگر تصفیه و توزیع در نزدیکی محل مصرف انجام شود. نتایج مطالعه Piadeh *et al.* (2014) نشان دهنده سود اقتصادی و پتانسیل قابل قبول بازیافت فاضلاب صنعتی و استفاده مجدد در شهرک‌های صنعتی ایران است. ضمناً توجه به این امر ضروریست که برای تعیین امکان‌پذیرترین جایگزین از نظر اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی، مدیران و برنامه‌ریزان آب کشور باید هزینه‌ها و مزایای غیر پولی پروژه‌های استفاده مجدد را در تحلیل هزینه‌های مقایسه‌ای جایگزین‌های تأمین آب در نظر بگیرند.

موضوع دیگر در رابطه با قیمت آب است. اغلب اتفاق می‌افتد که قیمت آب بازیافتی بالاتر از آب شیرین است. این امر به شکل کاملاً مشهود، تأثیر بازدارنده‌ای بر خریداران آب دارد که عموماً حاضر به پرداخت قیمت بالاتر نیستند (El Moussaoui *et al.*, 2019; Massoud *et al.*, 2019). ترجیح کم مصرف‌کنندگان به محصولات آبیاری شده با فاضلاب منجر به عدم مزیت نسبی آن‌ها در بازار می‌شود (Hussain *et al.*, 2019). قیمت بالاتر آب بازیافتی، همراه با بی‌اعتمادی به کیفیت آن، آن را به منبع آب نامطلوب‌تری تبدیل می‌کند (Saliba *et al.*, 2018). از سوی دیگر در مصارف شهری، با توجه به این‌که هزینه‌های انشعاب آب در ایران تنها تابعی از کل مساحت زمین و ساختمان است و پارامترهای حجمی در نظر گرفته نمی‌شوند، سیستم قیمت‌گذاری فعلی انشعاب آب و فاضلاب نیاز به بازنگری و اصلاح مناسب دارد (Rohani Farahmand & Tizghadam Ghazani, 2017). هزینه‌های اضافی سیستم‌های موردنیاز برای جداسازی آب سیاه از آب خاکستری و گردش مجدد آب تصفیه‌شده در داخل ساختمان ممکن است از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نباشد و بنابراین، انتظار می‌رود طرح‌های تشویقی توجیه لازم را هم برای صنعت آب و هم برای سازندگان فراهم کنند.

بنابراین، سیگنال‌های قیمت می‌توانند صرفه‌جویی در مصرف و حفاظت از منابع آب و در نتیجه آن اجرای طرح‌های استفاده مجدد از آب را تشویق کنند. براساس مطالعه Ghobadi & Moridi (2022)، اتخاذ سیاست قیمت‌گذاری براساس ارزش آب در کلیه مصارف شامل صنعتی، شهری و کشاورزی توصیه شده است. شرایط قیمت‌گذاری مبتنی بر ارزش آب در مصارف صنعتی و شهری مهیاست و در بخش کشاورزی مستلزم حمایت دولت و توسعه فناوری است. از این‌رو، سیاست‌های قیمت‌گذاری و محرک‌های اقتصادی از جمله تعیین قیمت واقعی آب (با توجه به کمیابی و هزینه‌های زیست‌محیطی) می‌تواند انگیزه استفاده مجدد را افزایش دهد. از سوی دیگر، با توجه به این‌که پایداری مالی برای موفقیت پروژه‌های استفاده مجدد از آب به‌عنوان یک استراتژی حفاظت از آب بسیار مهم است، مشوق‌های مالی و مشارکت عمومی-خصوصی^۵، یارانه‌ها، سرمایه‌گذاری مشترک می‌تواند ریسک مالی پروژه‌ها را کاهش دهند و بازگشت سرمایه را تسریع کنند. بنابراین، در ایران واقعی شدن قیمت آب به‌همراه حمایت مالی دولت، می‌تواند محرک اصلی را برای اجرای پروژه‌های استفاده مجدد در بخش کشاورزی و صنعتی و حتی در بخش مصارف مسکونی در محل، فراهم نماید. در مجموع باید در نظر داشت که موفقیت اقتصادی پروژه‌های استفاده مجدد به ترکیبی از سرمایه‌گذاری صحیح، قیمت‌گذاری واقعی، مشارکت عمومی-خصوصی و تحلیل هزینه-فایده^۶ چندبعدی بستگی دارد. برای تصمیم‌سازان، مهم

است که پروژه‌ها را نه تنها از منظر مالی، بلکه از منظر پایداری زیست‌محیطی و پذیرش اجتماعی نیز ارزیابی کنند. تدوین خط‌مشی‌ها و مشوق‌های اقتصادی مشخص می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در اجرای موفق و پایدار پروژه‌های استفاده مجدد از آب داشته باشد.

۲.۳. ملاحظات زیست‌محیطی

استفاده مجدد از آب، مزایای زیست‌محیطی قابل‌توجهی ایجاد می‌کند که ناشی از کاهش برداشت آب از منابع اصلی و کاهش اثرات تخلیه فاضلاب بر کیفیت آب محیطی است (Anderson, 2003). استفاده مجدد از آب منابع آب موجود را افزایش داده و امکان دستیابی به منافع بیشتر برای انسان را با آب شیرین کمتر فراهم می‌کند. بنابراین، بازیافت آب می‌تواند سهم قابل‌توجهی در تأمین نیازهای آبی جهان و کاهش تأثیر بشر بر محیط آبی جهان داشته باشد (Anderson, 2001). حفاظت از مناطق توریستی مجاور تأسیسات تصفیه منجر به حمایت از استفاده مجدد از آب بازیافتی و جلوگیری از تخلیه آن به دریا گردیده است (Neri *et al.*, 2025). از سایر مزایای زیست‌محیطی استفاده مجدد از آب بازیافتی می‌توان به مواردی مانند کاهش تخلیه به آب‌های حساس (EPA, 2004; EC, 2016)، استفاده یکپارچه و پایدار از منابع آب (Sanz & Gawlik, 2014)، حفاظت از منابع آب شیرین (Chu *et al.*, 2004) و کاهش مصرف انرژی (EC, 2016) اشاره نمود.

در عین حال، فاضلاب بازیافتی در بسیاری از موارد، ممکن است حاوی مواد جامد محلول، فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها و سایر موادی باشد که می‌تواند به اکوسیستم‌ها، محصولات کشاورزی یا سلامت انسان‌ها آسیب برساند (Norton-Brandão *et al.*, 2013). محتوای میکروبیولوژیکی پساب از جمله عوامل بیماری‌زا، داروهای باقیمانده، ترکیبات آلی، ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز و بقایای فعال محصولات مراقبت شخصی (Shargil *et al.*, 2015)؛ می‌تواند در هنگام استفاده مجدد سبب آسیب‌های زیست‌محیطی یا انسانی گردد. یک پارامتر مهم برای تصمیم‌گیری در مورد امکان‌سنجی طرح استفاده مجدد در کشاورزی، شوری است. زیرا این شوری با تصفیه‌های متعارف کاهش نمی‌یابد، بلکه به راه‌حل‌های پرهزینه زیست‌محیطی و اقتصادی مانند اسمز معکوس نیاز دارد (Ghyselbrecht *et al.*, 2012). علاوه بر مواد مغذی که می‌توانند باعث اتروفیکاسیون^۳ و شکوفایی جلبکی شوند، آلاینده‌های نوظهور نیز ممکن است به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل استرس‌زا در توان‌بخشی اکولوژیکی شناخته شوند (Plumlee *et al.*, 2012). با این حال، مطالعات اخیر نشان داده‌اند که مدیریت مناسب استفاده مجدد از آب همراه با فناوری تصفیه مناسب می‌تواند این خطرات را به‌طور معقول کاهش دهد (Abourached *et al.*, 2016).

از سوی دیگر، فاضلاب با تصفیه بالا می‌تواند منجر به ازدست‌رفتن عناصر مغذی ماکرو و میکرو شود که اجزای ضروری برای فعالیت‌های استفاده مجدد از آب در کشورهای با درآمد کم تا متوسط هستند، جایی که چنین عناصری رشد و عملکرد گیاه را بدون استفاده از کودهای معدنی پرهزینه تضمین می‌کنند (Rizzo *et al.*, 2019). در پژوهش Sheikholeslami *et al.* (2022)، از LCA برای بررسی اثرات زیست‌محیطی ۲۲ سیستم تصفیه ثالثه مورد استفاده برای تصفیه بیش‌تر پساب تصفیه خانه فاضلاب جنوب تهران، استفاده شده است. در این مطالعه بیان می‌گردد که روش‌های تصفیه تکمیلی می‌توانند منجر به اثرات زیست‌محیطی شدیدی شوند که باید هنگام تصمیم‌گیری در مورد بهترین سیستم برای کاربردهای استفاده مجدد از فاضلاب، علاوه بر مسائل فنی و اقتصادی، در نظر گرفته شوند.

همان‌گونه که در قبل آمد، برای تعیین امکان‌پذیرترین جایگزین، باید هزینه‌ها و مزایای غیر پولی پروژه‌های استفاده مجدد را در تحلیل هزینه‌های مقایسه‌ای جایگزین‌های تأمین آب در نظر گرفت. لحاظ کردن اثرات خارجی مربوطه ممکن است تأثیر زیادی بر امکان‌پذیری پروژه‌های استفاده مجدد از فاضلاب داشته باشد (Garcia &

(Pargament, 2015). با این حال، شناسایی بسیاری از این پیامدهای خارجی مثبت یا منفی که به عنوان پیامدهای تجربه شده توسط اشخاص ثالث غیرمرتبط از یک فعالیت اقتصادی مشخص تعریف می‌شوند، دشوار است، چه رسد به ارزیابی آن‌ها، زیرا هیچ بازار مشخصی برای آن‌ها وجود ندارد (Missimer *et al.*, 2014). چارچوب‌های ارزیابی نسبتاً کمی به چالش شناسایی مرتبط‌ترین پیامدهای خارجی در استفاده مجدد از فاضلاب پرداخته‌اند (Kandulu *et al.*, 2014).

بنابر آنچه در این بخش از مرور ادبیات حاصل شد می‌توان چنین نتیجه گرفت که استفاده مجدد از آب بازیافتی نه تنها یک راه کار برای مقابله با کمبود منابع آب است، بلکه می‌تواند اثرات زیست‌محیطی قابل توجهی داشته باشد که به نوبه خود نقش تعیین‌کننده‌ای در اثر بخشی طرح‌های استفاده مجدد ایفا می‌نمایند.

یکی از ملاحظات مهم در ارتباط با طرح‌های استفاده مجدد از آب، موضوع کاهش حجم برگشتی ناشی از استفاده مجدد از آب است. فاضلاب تصفیه شده برای استفاده مجدد، اگر جایگزین برداشت مستقیم از جریان رودخانه نشود و این در شرایطی باشد که جریان استفاده مجدد در مقایسه با جریان رودخانه مقدار قابل توجه را شامل می‌شود، ممکن است بر سطح جریان رودخانه تأثیر بگذارد که می‌تواند هم اکولوژی و هم در دسترس بودن آب برای برداشت پایین دست را تحت تأثیر قرار دهد. این موضوع در مورد لزوم تغذیه آبخوان‌ها نیز به خوبی قابل درک است. بنابراین تحت این شرایط، مدیران آب باید این جنبه را در هنگام ارزیابی تعادل بخشی و توزیع آب، که شامل استفاده مجدد از آب هم می‌شود، در نظر بگیرند. همچنین، نیازهای اکوسیستم‌ها، گونه‌ها و زیستگاه‌ها به کیفیت و کمیت آب باید مدنظر قرار گیرد و هنگام برنامه‌ریزی استفاده مجدد از آب، باید اطمینان حاصل شود که وضعیت حفاظت از گونه‌ها و زیستگاه‌ها در منطقه، توسط تغییرات در دسترس بودن و کیفیت منابع آب تهدید نگردد. بنابراین در پروژه‌های استفاده مجدد، تضمین حداقل جریان برای اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و تالاب‌ها ضروری است و مدیریت آب کشور باید این موضوع را در برنامه‌ریزی طرح‌های استفاده مجدد لحاظ نماید.

موضوع دیگر، به سطح تصفیه مناسب و محیط استفاده مجدد از پساب باز می‌گردد. به طوری که در صورت تصفیه ناکافی، ورود مواد شیمیایی و میکروبی به خاک و منابع آب زیرزمینی امکان پذیر است و در مقابل تصفیه اضافی نیز می‌تواند منجر به حذف عناصر مغذی ماکرو و میکرو شده و استفاده از پساب در کاربری‌هایی مانند کشاورزی را با کاهش راندمان روبرو سازد. میزان استفاده از پساب نیز خود حائز اهمیت است، به گونه‌ای که به طور مثال، در مناطق خشک استفاده بی‌رویه از پساب بدون مدیریت مناسب می‌تواند موجب افزایش شوری خاک و کاهش کیفیت محصولات کشاورزی شود.

یکی دیگر از نکات حائز اهمیت در این زمینه، لزوم توجه به مدیریت کیفیت و پایش محیط زیست است. در این خصوص، پایش مستمر کیفیت با اندازه‌گیری شاخص‌های شیمیایی، میکروبی و فیزیکی آب بازیافتی برای اطمینان از عدم تهدید محیط زیست الزامی است. کنترل آلاینده‌های نوظهور، مواد شیمیایی مانند داروها، هورمون‌ها و ترکیبات مقاوم به تصفیه باید مدیریت شوند. در این رابطه اجرای سامانه‌های پایش آنلاین در تصفیه‌خانه‌ها، امکان اصلاح فرایند تصفیه در زمان واقعی و کاهش اثرات منفی بر محیط زیست را فراهم می‌کند.

تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در زمینه استفاده مجدد از آب، زمانی اثربخشی لازم را خواهد داشت که اثرات مثبت و منفی زیست‌محیطی و راه کارهای کنترل پیامدها را به طور هم‌زمان در نظر داشته باشد. ابزارهای تحلیلی مانند LCA، شاخص‌های اکولوژیکی و پایش مستمر به مدیران و برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا فناوری‌ها و استراتژی‌های بهینه با حداقل اثرات منفی زیست‌محیطی را انتخاب نمایند. ادغام ملاحظات زیست‌محیطی در طرح‌های استفاده مجدد برای ایجاد برنامه‌های پایدار و کم‌ریسک ضروری است.

۳.۳. ملاحظات اجتماعی

نگرش و پذیرش عمومی یک مسئله کلیدی در استفاده مجدد از آب است که بر سایر جنبه‌ها از جمله عوامل اقتصادی طرح‌ها اثرگذار است. Nemeroff *et al.* (2020) نقش تفکر مبتنی بر اکتشاف را در هدایت تصمیم‌گیری انسان در شرایط عدم قطعیت، اطلاعات ناقص و اضافه بار اطلاعات برجسته کردند که منجر به انحرافات سیستماتیک از عقلانیت می‌شود و می‌تواند در مورد آب بازیافتی مضر باشد، زیرا با سابقه خود به‌عنوان فاضلاب مرتبط است. در پژوهش Baghapour *et al.* (2017) که به بررسی پذیرش عمومی و نگرش شهروندان نسبت به فاضلاب بازیافتی در شهر شیراز، پرداخته است؛ چنین بیان می‌گردد که اکثریت جامعه مورد بررسی، چیز زیادی در مورد کیفیت شیمیایی یا میکروبیولوژیکی پساب تصفیه خانه فاضلاب نمی‌دانستند. نتایج پژوهش Massoud *et al.* (2018) نشان داد که بین میزان تماس انسان با پساب تصفیه‌شده و پذیرش عمومی رابطه معکوس وجود دارد و مشخص شد که مردم تمایل بیش‌تری به استفاده مجدد برای مقاصدی با حداقل تماس انسانی مانند محوطه سازی و کشاورزی دارند. درک و استقبال عمومی در مورد آب بازیافتی برای استفاده مجدد قابل شرب چه از طریق استفاده مستقیم و چه غیرمستقیم، از عوامل مهمی است که قبل از شروع پروژه استفاده مجدد از آب برای مصارف قابل شرب در ایران باید به آن پرداخته شود (Kayhanian & Tchobanoglous, 2018b).

بدون آگاهی‌دادن در مورد ریسک‌های مرتبط با استفاده مجدد از آب، ترویج تغییر رفتار به سمت شیوه‌های استفاده مجدد سالم از آب، بسیار دشوار خواهد بود (Ricart & Rico, 2019). استفاده از رویکردهای فنی-اجتماعی یکی از مهم‌ترین ابزارهای هستند که مدیریت منابع آب می‌تواند از آن‌ها برای ارتقای مدیریت جامع آب و توسعه استفاده مجدد از آب سود ببرد. Piadeh *et al.* (2022) بیان می‌نمایند که پروژه‌های استفاده مجدد بیش‌تر به چالش‌های عمده مربوط به جنبه‌های فنی و اقتصادی می‌پردازند تا مسئولیت ذی‌نفعان. از این‌رو، نقش ذی‌نفعان مسئول به‌عنوان بخش عمده سیاست برنامه‌ریزی، که مستلزم شناخت نقش حیاتی و ادغام آن‌ها در رویه‌های مرتبط است، کم‌تر مورد شناسایی قرار گرفته است.

پذیرش اجتماعی و نگرش عمومی نسبت به استفاده مجدد از آب، از عوامل تعیین‌کننده موفقیت پروژه‌های بازیافت آب است. موضوع تقاضا برای آب بازیافتی که در ظاهر یک فاکتور اقتصادی است، ارتباط نزدیکی با برداشت جامعه از آب بازیافتی دارد، زیرا بخش قابل‌توجهی از ذی‌نفعان هنوز دیدگاه منفی نسبت به آن دارند. موانع مربوط به ذی‌نفعان و جامعه در واقع مرتبط تشخیص داده شدند. برخی از موانع، مانند برداشت منفی از آب بازیافتی، قبلاً توسط ادبیات موجود مطرح شده بود.

مطالعات نشان داده‌اند که سطح دانش مردم درباره کیفیت شیمیایی و میکروبیولوژیکی پساب تصفیه‌شده، نقش تعیین‌کننده‌ای در پذیرش استفاده مجدد دارد. از این‌رو، برنامه‌های آموزشی و اطلاع‌رسانی جامع در سطح محله، مدارس و رسانه‌ها می‌تواند نگرش منفی را کاهش داده و پذیرش عمومی را افزایش دهد. با توجه به رابطه معکوس بین پذیرش استفاده مجدد آب با تماس مستقیم انسان با آب بازیافتی، در پروژه‌های شهری و صنعتی، طراحی کاربردهایی که تماس انسانی مستقیم را کاهش دهند، می‌تواند پذیرش اجتماعی را افزایش دهد.

پذیرش اجتماعی با میزان اعتماد شهروندان به سازمان‌های مسئول تصفیه و مدیریت آب مرتبط است. عدم اعتماد می‌تواند مانع موفقیت پروژه شود. بنابراین، شفافیت در اعلام کیفیت آب، ایجاد کانال‌های بازخورد و گزارش‌دهی عمومی می‌تواند اعتماد را تقویت کند. مشارکت شهروندان، کشاورزان و صنایع در طراحی و تصمیم‌گیری پروژه‌ها، موجب پذیرش بالاتر و کاهش مقاومت اجتماعی می‌شود. از این‌رو، ایجاد کمیته‌های مشورتی محلی و استفاده از رویکردهای فنی-اجتماعی برای برنامه‌ریزی و اطلاع‌رسانی، موجب موفقیت بلندمدت پروژه‌ها خواهد شد.

نگرش منفی نسبت به استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده می‌تواند ناشی از ادراک بیماری‌زا بودن و نگرانی‌های فرهنگی-اجتماعی باشد. در این رابطه، طراحی کمپین‌های آگاهی‌بخشی و ارائه مثال‌های موفق داخلی و بین‌المللی می‌تواند نگرانی‌ها را کاهش دهد و پذیرش اجتماعی را تقویت کند. نقش رسانه‌ها در انتشار اطلاعات و دانش به موقع در مورد اهمیت بازیافت فاضلاب در مدیریت کارآمد آب و پتانسیل آن برای تأمین آب سالم و قابل اعتماد ضروری است. موفقیت پروژه‌های استفاده مجدد از آب به ترکیب آگاهی‌بخشی، کاهش تماس مستقیم، اعتمادسازی و مشارکت ذی‌نفعان وابسته است. تصمیم‌سازان و برنامه‌ریزان باید پروژه‌ها را از منظر پذیرش اجتماعی و فرهنگی تحلیل و طراحی کنند تا از مقاومت جامعه جلوگیری شود. توجه به این ملاحظات همراه با سایر جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، باعث ایجاد پروژه‌های پایدار و قابل قبول اجتماعی خواهد شد.

۴.۳. ملاحظات فرهنگی-مذهبی

یک بررسی در مورد برداشت‌ها نسبت به آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده در اردن و تونس نشان داد که حدود یک‌پنجم مردم دلایل مذهبی را برای عدم تمایل خود به استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده ذکر کردند (Abu Madi et al., 2008). نتایج مطالعه Massoud et al. (2018) نیز نشان داد که افرادی که فکر می‌کردند استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده از نظر مذهبی پذیرفته نیست، به‌طور متوسط دو برابر کم‌تر احتمال دارد از فاضلاب تصفیه‌شده در مقایسه با کسانی که اعتقاد نداشتند استفاده مجدد با اعتقادات مذهبی آن‌ها در تضاد است، استفاده کنند. این در حالی است که اسلام در صورت حذف ناخالصی‌ها، چنین استفاده‌ای را مجاز می‌داند (Farooq & Ansari, 1983).

در آفریقای جنوبی رهبران مسلمان در مورد پذیرش آب بازیافتی تردید نشان دادند. با این حال، تجزیه و تحلیل مناسب از علمای مذهبی نشان داد که فاضلاب بازیافتی در اسلام ممنوع نیست (Muanda et al., 2017). سازمان علمای برجسته عربستان سعودی نیز استفاده مجدد از فاضلاب را برای کاربردهای مذهبی تأیید کرده است (Faruqui et al., 2001). به‌علاوه، طرح‌های بازیافت آب در تعدادی از کشورهای با اکثریت مسلمان مانند کویت، سوریه، ایران و عربستان سعودی رایج است (Crook et al., 2005). در کل، باورهای مذهبی یک عامل مؤثر خاص مکانی است که نمی‌توان آن را نادیده گرفت. از این‌رو، تدوین سیاست‌هایی در زمینه استفاده از فاضلاب که نسبت به فرهنگ و باورهای مذهبی حساس باشد، می‌تواند در کشورهای با اکثریت مسلمان مورد استقبال عمومی قرار گیرد (Amery & Haddad, 2016).

بیش‌تر باورهای عمیق در پشت مشکلات قابل‌مشاهده پنهان شده‌اند و در نتیجه، اگر این باورهای عمیق به‌درستی شناسایی نشوند، دلایل اصلی شکست هرگز قابل تشخیص نخواهند بود. از این‌رو، پرداختن به مشکلات قابل‌مشاهده برای برآوردن نیازهای شناسایی باورهای عمیق کافی نیست و حتی اگر مشکلات در کوتاه‌مدت قابل حل باشند، اما برای مدت طولانی‌تری حل نشده باقی می‌مانند (Piadeh et al., 2022).

بنابراین، شناخت باورها و رسیدگی به آن‌ها از ملاحظات الزامی طرح‌های استفاده مجدد از آب است و سبب خواهد شد که ریسک شکست این طرح‌ها کاهش یابد و حل مشکلات و موانع پیش‌رو تسهیل گردد. دین یک عامل تأثیرگذار در پذیرش فاضلاب بازیافتی برای کاربردهای تماس مستقیم است. راهنمایی مناسب از متون مذهبی می‌تواند از این عامل جلوگیری کند. سؤالات و نگرانی‌های جوامع حساس مذهبی باید در مرحله برنامه‌ریزی پروژه اجیا موردتوجه قرار گیرد، نه پس از اجرا. این امر باعث می‌شود که پیام بازاریابی به‌جای یک پیام برای همه، به‌صورت زمینه‌ای برای جوامع ارائه شود. توجه به این موضوع در کنار سایر ملاحظات اجتماعی، راه را برای پذیرش عمومی جوامع و جلب مشارکت اجتماعی هموارتر می‌سازد.

۳.۵. ملاحظات قانونی

ملاحظات حقوقی و قانونی در حیطه استفاده مجدد از آب به نسبت آب، موانع عرفی و زیرساختی پیچیده‌تری دارد (Shakeri *et al.*, 2020). از نظر سلامت عمومی، اهداف تصفیه پیشرفته آب، حذف خطرات جدی مانند خطرات بیماری زای میکروبی و خطرات عناصر شیمیایی است. از این‌رو، مراحل مختلف تصفیه معمولاً توسط مقررات و الزامات قانونی هدایت می‌شوند (Kayhanian & Tchobanoglous, 2018a). برای اطمینان از شیوه‌های استفاده مجدد از آب سالم، سازمان‌ها و آژانس‌های ملی و بین‌المللی مختلف، مقررات و دستورالعمل‌های مختلفی را صادر کرده‌اند. براساس نتایج Shoushtarian & Negahban-Azar (2020)، مقررات و دستورالعمل‌ها بیش‌تر سلامت انسان محور هستند. این مقررات در مورد برخی از آلاینده‌های بالقوه خطرناک مانند ترکیبات نوظهور ناکافی بوده و در مقایسه با یکدیگر دارای اختلافات زیادی هستند. مغایرت در مقررات و دستورالعمل‌ها یکی از موانع اصلی برای اجرای موفقیت آمیز شیوه‌های استفاده مجدد از آب است. در Kellis *et al.* (2013) بیان گردیده است که پذیرش نسبت به استفاده مجدد از آب در کشورهایی که اقتصاد قوی‌تر و نیاز آبی بالاتری دارند، تسریع می‌یابد. یکی دیگر از موضوعات مورد بحث در ملاحظات قانونی استفاده مجدد از آب، جبران خسارت‌های ناشی از استفاده مجدد از آب است. ایجاد بیمه‌های تخصصی در این زمینه می‌تواند هم خسارت‌های زیان‌دیدگان را جبران نماید و هم انگیزه‌های صنعت تصفیه فاضلاب را برای انجام کار مخدوش نکند (Shakeri *et al.*, 2020).

در سال ۲۰۱۰ در ایران، معیارهای کیفیت آب برای تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد آن در آبیاری توسط وزارت نیرو و دفتر استانداردها و طرح‌های آب و آبفا تدوین شدند. البته توجه به این امر ضروریست که معیارهای فعلی کیفیت آب باید با تأکید بیش‌تر بر حفاظت سلامت عموم در ارتباط با استفاده مجدد از آب برای تمام کاربری‌های آن شامل آشامیدنی و غیر آشامیدنی، به‌روزرسانی شوند (Kayhanian & Tchobanoglous, 2018b). هم‌چنین، از آنجاکه در ایران سازمان‌های دولتی متعددی در امور مدیریت و استفاده از آب مداخله دارند، باید به تضاد منافع و اختلاف روش‌های سازمانی مختلف به‌طور جدی پرداخته شود. مشکل تضاد حوزه‌های اختیارات را می‌توان تا حدی از طریق تطبیق یک برنامه مدیریت یکپارچه و پایدار آب حل کرد (Kayhanian & Tchobanoglous, 2016).

پایداری و موفقیت پروژه‌های استفاده مجدد از آب، تنها به فناوری و پذیرش اجتماعی محدود نمی‌شود؛ چارچوب قانونی و مقرراتی نیز نقش کلیدی در تضمین سلامت، محیط‌زیست و بهره‌برداری پایدار دارد. درک این ملاحظات می‌تواند مسیر تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران و مدیران منابع آب را روشن سازد. در ایران، معیارهای کیفیت آب برای استفاده مجدد در آبیاری و سایر کاربری‌ها تدوین شده است. لیکن، به‌روزرسانی این معیارها براساس آلاینده‌های نوظهور، مواد شیمیایی مقاوم و میکروبی‌های مقاوم به تصفیه ضروری است.

نبود هماهنگی بین سازمان‌های مختلف، منجر به تضاد اختیارات و اجرای ناکارآمد می‌شود. ایجاد یک چارچوب قانونی یکپارچه برای مدیریت پساب و استفاده مجدد از آب می‌تواند مسئولیت‌ها را شفاف کرده و امکان نظارت و اجرای مؤثر را فراهم سازد. قوانین باید استفاده مجدد از آب را به‌عنوان یک منبع جایگزین در بودجه و سیاست‌های آب کشور در نظر بگیرند. هم‌چنین، باید محدودیت‌های برداشت از منابع طبیعی را با هدف تقویت استفاده از پساب تنظیم نمایند. قوانین باید اطمینان دهند که خطرات میکروبی و شیمیایی در آب بازیافتی کنترل می‌شوند. به‌علاوه، مقررات باید حداقل اثرات زیست‌محیطی را تضمین کنند. اجرای پروژه‌های استفاده مجدد بدون رعایت این الزامات می‌تواند منجر به آلودگی خاک، آب زیرزمینی و افزایش ریسک سلامت عمومی شود. ایجاد بیمه‌های تخصصی می‌تواند هم خسارت‌های زیان‌دیدگان را جبران کند و هم انگیزه صنایع برای انجام پروژه‌ها را افزایش دهد. تدوین چارچوب قانونی بیمه و جبران خسارت برای پروژه‌های صنعتی و کشاورزی می‌تواند ریسک سرمایه‌گذاری و مخالفت عمومی را کاهش دهد.

۳.۶. ریسک سلامتی و محیط زیست

استفاده مجدد از آب، اگرچه مزایای قابل توجهی دارد، می‌تواند با خطرات سلامت عمومی و اثرات زیست‌محیطی همراه باشد. یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های اصلی در مورد آب بازیافتی، خطرات بهداشتی مرتبط با آن پس از مصرف است (Hartley, 2009). ارزیابی ریسک، ابزاری مهم در درک خطرات بالقوه یک پروژه و پیامدهای بالقوه آن است (Taheriyoun *et al.*, 2016). به‌عنوان مثال، خطرات استفاده مجدد از فاضلاب در کشاورزی گسترده است و از تغییرات در خواص فیزیکیوشیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک‌ها گرفته تا تأثیرات بر سلامت انسان را شامل می‌شود (Jaramillo & Restrepo, 2017). با این حال، مطالعات نشان داده‌اند که انجام ارزیابی‌های ریسک و مدیریت مناسب استفاده مجدد از آب همراه با فناوری تصفیه مناسب می‌تواند این خطرات را به‌طور معقول کاهش دهد (Abourached *et al.*, 2016). در Taheriyoun *et al.* (2016) ارزیابی ریسک استفاده مجدد از پساب تصفیه خانه شهرک صنعتی البرز در قزوین برای آبیاری اراضی کشاورزی مجاور با استفاده از تکنیک شبکه‌های بی‌زی انجام شده است. نتایج مطالعه مذکور نشان داد که خطر ۴۶ درصد برای انسان و ۳۸ درصد برای گیاه است که کادمیوم، مواد شوینده و نیترات بیش‌ترین سهم را در کل خطر ارزیابی شده دارند. در مطالعه Arjmandi *et al.* (2019)، ارزیابی ریسک استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده شهری برای جایگزینی آب شیرین به‌عنوان منبع آبی سیستم‌های خنک‌کننده صنعتی در مجتمع فولاد مبارکه اصفهان با در نظر گرفتن سه خطر اصلی خوردگی، رسوب‌گذاری و رسوب‌زیستی انجام شده است. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که شکست رسوب‌زیستی بیش‌ترین امتیاز را داشته است. همچنین در بین خرابی‌های اصلی تأثیرگذار، آمونیوم، فسفات و کلر به‌ترتیب بیش‌ترین خطر را داشتند.

انجام ارزیابی‌های ریسک در طرح‌های استفاده مجدد از پساب، امکان مدیریت بهینه‌تر و اولویت‌بندی شده‌تر را فراهم می‌کند، زیرا استفاده مجدد از پساب در صورت عدم در نظر گرفتن ریسک، می‌تواند یک مشکل بهداشت عمومی بسیار واقعی ایجاد کند (Jaramillo & Restrepo, 2017). یک رویکرد مدیریت ریسک می‌تواند در مراحل مختلف فعالیت استفاده مجدد از آب برای اطمینان از حفاظت از محیط زیست و سلامت عمومی استفاده شود. چارچوبی که توسط WHO (2006) تدارک و پشتیبانی می‌شود، نمونه‌ای از چارچوب مدیریت ریسک مناسب برای استفاده مجدد از آب است.

موضوع دیگر در این زمینه، مربوط به ارتباط بین ریسک سلامت و اعتماد عمومی است. ترس از خطرات بهداشتی با سطح اعتمادی که ارائه‌دهنده خدمات در بین مصرف‌کنندگان خود حفظ می‌کند، مرتبط است (Nancarrow *et al.*, 2016). اعتماد و ریسک سلامت از طریق دیدگاه زنجیره‌ای علی و دیدگاه انجمنی به هم مرتبط هستند (Eiser *et al.*, 2016). براساس دیدگاه زنجیره‌ای علی، عواملی مانند اعتماد و ریسک برای هر تصمیم‌گیری به هم مرتبط هستند. به‌عبارت دیگر، اعتماد به ارزیابی اتخاذ شده توسط عموم نسبت به اطلاعات مربوط به ریسک سلامت بستگی دارد. این امر ممکن است در شکل‌دهی به تصمیم برای پذیرش یا رد فناوری کمک کند. درحالی‌که، دیدگاه انجمنی ویژگی‌های مستقلی از اعتماد و ادراک ریسک را در برمی‌گیرد. مدل انجمنی نقش مهمی در استفاده مجدد از آب ایفا می‌کند، زیرا اعتماد و ادراک ریسک نقش‌های فردی ایفا می‌کنند. بنابراین، اعتماد، ریسک و واکنش عاطفی می‌توانند پیش‌بینی‌کننده‌های قوی در تصمیم‌گیری در مورد رفتار عموم برای استفاده مجدد از آب باشند.

یکی دیگر از ملاحظات ریسک سلامتی مربوط به کارگران مشاغل مختلفی است که در کاربردهای مختلف استفاده مجدد از آب درگیر هستند، این افراد به‌دلیل زمان مواجهه بیشتر نسبت به سایر افراد جامعه، با احتمال بیش‌تری ممکن است که در طول استفاده مجدد از آب، در معرض آلودگی‌های میکروبیولوژیکی و شیمیایی آب قرار گیرند. در این رابطه تدوین راهنمای ایمنی حرفه‌ای و آموزش کارکنان به‌همراه پوشش بیمه‌های تخصصی از الزامات ضروری است. در ضمن،

انجام ارزیابی ریسک میکروبی و شیمیایی قبل از بهره‌برداری و طراحی مسیرهای استفاده که تماس انسانی مستقیم را به حداقل برساند، از اقدامات حیاتی برای کاهش خطرات است. پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت ریسک مرحله‌ای از تصفیه تا توزیع و استفاده، موجب کاهش خطرات میکروبی، شیمیایی و اکولوژیکی خواهد شد.

۴. نتیجه گیری

این بررسی مروری، ملاحظات مرتبط با استفاده مجدد از پساب را در شش حوزه اصلی شامل اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، فرهنگی - مذهبی، قانونی و ریسک‌های سلامت و محیط‌زیست شناسایی و تحلیل کرده است. نتایج حاصل چند نکته کلیدی را برای سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب روشن می‌نماید.

▪ اهمیت سازوکارهای قانونی و چارچوب‌های نظارتی: خلأهای قانونی و ناهماهنگی در مقررات موجود، اجرای پایدار و ایمن پروژه‌های استفاده مجدد را محدود می‌کنند. تدوین و به‌روزرسانی استانداردهای ملی با الهام از دستورالعمل‌های بین‌المللی و نمونه‌های موفق جهانی، ضروری است. چارچوب قانونی باید مسائل کیفیت، سلامت عمومی، حقوق کاربران و جبران خسارت‌های احتمالی را پوشش دهد.

▪ پایداری مالی و اقتصادی پروژه‌ها: موفقیت طرح‌های استفاده مجدد وابسته به پایداری مالی، واقعی شدن قیمت آب و حمایت دولت است. تجمیع پروژه‌های استفاده مجدد با بخش‌های اقتصادی مرتبط و ایجاد بازارهای محلی برای پساب می‌تواند ریسک‌های اقتصادی را کاهش دهد و بازیابی سریع سرمایه را ممکن سازد. تحلیل‌های اقتصادی باید هزینه‌ها و مزایای غیرپولی شامل اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی را نیز در نظر بگیرد.

▪ حفاظت از محیط زیست و کاهش ریسک‌های سلامت: استفاده از آب بازیافتی می‌تواند جریان پایین دست رودخانه‌ها، تغذیه آبخوان‌ها و اکوسیستم‌های وابسته را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین در طرح‌های استفاده مجدد باید موضوع کاهش حجم برگشتی و اثرات حاصل از آن بر آبخوان منطقه، جریان‌های زیست‌محیطی و کاربران وابسته به جریان آب در پایین دست به دقت مورد توجه و ارزیابی قرار گیرد. مدیریت ریسک شامل پایش مستمر کیفیت آب، طراحی براساس حفاظت از حداقل جریان زیست‌محیطی، کنترل تماس انسانی و حفاظت شغلی کارکنان است. اقدامات پیشگیرانه و طراحی سیستم‌های تصفیه پیشرفته، اثرات منفی احتمالی را کاهش می‌دهد.

▪ پذیرش اجتماعی و ملاحظات فرهنگی: نگرانی‌ها و باورهای عمومی، می‌تواند تعیین‌کننده موفقیت یا شکست پروژه‌ها باشد. آموزش، اطلاع‌رسانی شفاف و مشارکت جامعه، به‌همراه رعایت اعتقادات مذهبی و فرهنگی، نقش کلیدی در افزایش پذیرش اجتماعی دارد. مشارکت ذی‌نفعان و توجه به باورهای فرهنگی، ریسک شکست پروژه‌ها را کاهش می‌دهد.

▪ الزامات تصمیم‌گیری عملیاتی: انتخاب نوع استفاده مجدد و طراحی پروژه باید مبتنی بر ویژگی‌های منطقه‌ای، نیازهای محلی و شرایط جغرافیایی باشد. پروژه‌های استفاده مجدد باید از ابتدا در طراحی تصفیه‌خانه‌ها، شبکه‌های توزیع و کاربردها لحاظ شوند تا هم‌زمان با پایداری مالی، ریسک‌ها کاهش یابند. استفاده از ابزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^۶ و مدل‌سازی ریسک، کمک می‌کند تا اولویت‌بندی کاربردهای مختلف استفاده مجدد بهبود یابد.

در مجموع، استفاده مجدد از پساب می‌تواند به افزایش امنیت آب، کاهش فشار بر منابع طبیعی و کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک کند، اما موفقیت آن وابسته به ترکیبی از ملاحظات فنی، اقتصادی، اجتماعی، قانونی و فرهنگی است. بنابراین، برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های استفاده مجدد باید یکپارچه، علمی و مبتنی بر شواهد باشد تا منافع پایدار و کاهش ریسک‌ها تضمین شود.

این مطالعه بینش‌های ارزشمندی در مورد ملاحظات مطرح‌شده در استفاده مجدد از آب را شناسایی و تشریح می‌نماید. این

یافته‌ها می‌توانند برای اطلاع‌رسانی به پژوهش‌های بیش‌تر با دامنه وسیع‌تر مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین، پژوهش‌های آینده تشویق می‌شوند تا با بررسی زمینه‌های مختلف از نظر چشم‌اندازهای نهادی، اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و سایر جنبه‌ها، تجزیه و تحلیل را تکمیل‌تر نمایند. پژوهش‌های آینده می‌تواند نقش فناوری‌ها را در تعدیل ملاحظات مختلف مورد بررسی قرار دهند. پژوهش‌گران هم‌چنین باید بر شناسایی کاربردهای بالقوه اضافی برای آب بازیافتی تمرکز نموده و اقدامات متناسب مورد نیاز در سطوح سیاستی، صنعتی و اجتماعی را برای ترویج جذب آن‌ها شناسایی کنند.

کارهای آینده به‌طور خاص در چهار محور اصلی گسترش یافته‌اند:

بُعد نهادی و مدیریتی: پیشنهاد شده است مطالعات آینده به بررسی ساختار نهادی، تضاد وظایف سازمانی و مدل‌های حکمرانی یکپارچه در مدیریت استفاده مجدد از پساب در ایران بپردازند.

بُعد اقتصادی: تمرکز بر توسعه مدل‌های اقتصادسنجی برای تحلیل هزینه-فایده چندبعدی پروژه‌های استفاده مجدد و طراحی ابزارهای مالی (مانند تعرفه‌گذاری مبتنی بر ارزش آب و مشوق‌های سرمایه‌گذاری).

بُعد زیست‌محیطی و فنی: پیشنهاد گردیده تحقیقات آینده، چارچوب‌های ارزیابی چرخه عمر (LCA)^۸ و مدل‌های کمی برای تعیین اثرات اکولوژیکی کاهش حجم برگشتی و تغییرات کیفیت آب را توسعه دهند.

بُعد اجتماعی و فرهنگی: بررسی راهبردهای افزایش پذیرش اجتماعی از طریق اطلاع‌رسانی، تحلیل رفتار ذی‌نفعان و مطالعه تأثیر باورهای مذهبی در پذیرش استفاده مجدد از آب.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Indirect Potable Reuse (IPR)
2. Direct Potable Reuse (DPR)
3. Eutrophication
4. Capital Costs
5. Public-Private Partnership (PPP)
6. Cost-Benefit Analysis (CBA)
7. Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)
8. Life Cycle Assessment (LCA)

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. (2013). Overview on water reuse in Egypt: present and future. *Journal Sustainable Sanitation Practice*, 14, 17-25.
- Abourached, C., English, M. J., & Liu, H. (2016). Wastewater treatment by microbial fuel cell (MFC) prior irrigation water reuse. *Journal of Cleaner Production*, 137, 144-149.
- Abu Madi, M., Al-Sa'ed, R., Braadbaart, O., & Alaerts, G. (2008). Public perceptions towards wastewater reuse in Jordan and Tunisia.
- Ahmadi, M. M., Mahdavi, H., & Bakhtiari, B. (2017). Multi-criteria analysis of site selection for groundwater recharge with treated municipal wastewater. *Water Science and Technology*, 76(4), 909-919.
- Alves, D., Monte, H., & Albuquerque, A. (2011). Water Reuse Projects—Technical and Economic Sustainability. Official Publication of the European Water Association (EWA), E-Water: Portugal.
- Amery, H. A., & Haddad, M. (2016). Ethical and cultural dimensions of water reuse: Islamic perspectives. In *Urban water reuse handbook* (pp. 311-320). CRC Press.

- Anderson, J. (2003). The environmental benefits of water recycling and reuse. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(4), 1-10.
- Anderson, J. (2001). Ripples in the pond: Water recycling and integrated water management. *Water*, 21, 16-21.
- Ansari, S., Alavi, J., & Ghafoori, M. (2018). A technical model for reclaimed water reuse in agricultural irrigation: a case study in Kordkuy, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77, 1-18.
- Arjmandi, S., Tabesh, M., & Esfahani, S. T. (2019). Risk analysis of water reuse for industrial cooling water consumptions. *Journal of Environmental Engineering*, 145(10), 04019067.
- Arden, S., Morelli, B., Cashman, S., Ma, X. C., Jahne, M., & Garland, J. (2021). Onsite non-potable reuse for large buildings: environmental and economic suitability as a function of building characteristics and location. *Water Research*, 191, 116635.
- Arden, S., Morelli, B., Schoen, M., Cashman, S., Jahne, M., Ma, X., & Garland, J. (2020). Human health, economic and environmental assessment of onsite non-potable water reuse systems for a large, mixed-use urban building. *Sustainability*, 12(13), 5459.
- Arroyo, P., & Molinos-Senante, M. (2018). Selecting appropriate wastewater treatment technologies using a choosing-by-advantages approach. *Science of The Total Environment*, 625, 819-827.
- Aziz S, Chowdhury SA (2023) Drivers of greenhouse gas emissions in the electricity sector of Bangladesh. *Clean Technol Environ Policy*, 25, 237-252.
- Baghapour, M. A., Shooshtarian, M. R., & Djahed, B. (2017). A survey of attitudes and acceptance of wastewater reuse in Iran: Shiraz City as a case study. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7(4), 511-519.
- Charkhestani, A., Salehi Ziri, M., & Amini Rad, H. (2016). Wastewater reuse: potential for expanding Iran's water supply to survive from absolute scarcity in future. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 6(3), 437-444.
- Chen, Z., Wu, Q., Wu, G., & Hu, H. Y. (2017). Centralized water reuse system with multiple applications in urban areas: Lessons from China's experience. *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 125-136.
- Choopan, Y., & Emami, S. (2018). Evaluation of Physical, Chemical and Biologic Properties of Torbat-Heydarieh's Municipal Wastewater Treatment Plant for Agricultural Uses. *Journal of Research in Environmental Health*, 4(3), 227-236.
- Chu, J., Chen, J., Wang, C., & Fu, P. (2004). Wastewater reuse potential analysis: implications for China's water resources management. *Water Research*, 38(11), 2746-2756.
- Crook, J., Mosher, J. J., & Casteline, J. M. (2005). Status and role of water reuse: An international view (pp. 39-39). London, UK: Global Water Research Coalition.
- Das, S., & Bokshi, S. (2017). Sustainable waste water treatment in developing countries: a case study of IIT Kharagpur Campus. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 98(1), 127-134.
- Dehaghi, B. F., & Khoshfetrat, A. (2020). AHP-GP approach by considering the Leopold matrix for sustainable water reuse allocation: Najafabad case study, Iran. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64(2), 485-499.
- Directors, E. W. (2016). Common implementation strategy for the water framework directive and the floods directive. Guidelines on Integrating Water Reuse into Water Planning and Management in the Context of the WFD, 95.
- Eiser, J. R., Miles, S., & Frewer, L. J. (2002). Trust, perceived risk, and attitudes toward food technologies 1. *Journal of Applied Social Psychology*, 32(11), 2423-2433.
- El Moussaoui, T., Wahbi, S., Mandi, L., Masi, S., & Ouazzani, N. (2019). Reuse study of sustainable wastewater in agroforestry domain of Marrakesh city. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(3), 288-293.
- EPA. (1992). Guidelines for water reuse. US Environmental Protection Agency.
- EPA, U. (2004). Guidelines for Water Reuse, US Environmental Protection Agency. EPA/625/R-04/108.
- Farooq, S., & Ansari, Z. I. (1983). Wastewater reuse in Muslim countries: An Islamic perspective. *Environmental Management*, 7(2), 119-123.
- Faruqi, N. I., Biswas, A. K., & Bino, M. J. (2001). Water management in Islam. IDRC, Ottawa, ON, CA.
- Farzi, A., & Mehrabadi, J. (2019). Systematic analysis of strengths, weaknesses, opportunities and threats of on-site greywater reuse in Iran based on fuzzy analytical hierarchy process. *Iran-Water Resources Research*, 15(4), 328-339.
- Fiksel, J., Sanjay, P., & Raman, K. (2021). Steps toward a resilient circular economy in India. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23, 203-218.

- Food and Agriculture Organization (FAO), A. (2021). AQUASTAT-FAO's global information system on water and agriculture.
- Garcia, X., & Pargament, D. (2015). Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision-making. *Resources, Conservation and Recycling*, 101, 154-166.
- Ghobadi, S., & Moridi, A. (2022). Economic valuation of water. *Water and Irrigation Management*. (In Persian).
- Ghyselbrecht, K., Van Houtte, E., Pinoy, L., Verbaulwede, J., Van der Bruggen, B., & Meesschaert, B. (2012). Treatment of RO concentrate by means of a combination of a willow field and electro dialysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 65, 116-123.
- Hadipour, A., Rajaei, T., Hadipour, V., & Seidirad, S. (2016). Multi-criteria decision-making model for wastewater reuse application: a case study from Iran. *Desalination and Water Treatment*, 57(30), 13857-13864.
- Hartley, T. W. (2006). Public perception and participation in water reuse. *Desalination*, 187(1-3), 115-126.
- High Level Panel on Water, HLPW. (2018). Making every drop count: an agenda for water action. High Level Panel on Water.
- Hosseinzadeh, M., Nabi Bidhendi, G., Torabian, A., & Mehrdadi, N. (2014). A study on membrane bioreactor for water reuse from the effluent of industrial town wastewater treatment plant. *Iranian Journal of Toxicology*, 8(24), 983-990.
- Hussain, M. I., Muscolo, A., Farooq, M., & Ahmad, W. (2019). Sustainable use and management of non-conventional water resources for rehabilitation of marginal lands in arid and semiarid environments. *Agricultural Water Management*, 221, 462-476.
- Jaramillo, M. F., & Restrepo, I. (2017). Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. *Sustainability*, 9(10), 1734.
- Jeffrey, P., Yang, Z., & Judd, S. J. (2022). The status of potable water reuse implementation. *Water Research*, 214, 118198.
- Jesus, G.M.K., Jugend, D., Paes, L.A.B. et al., (2023). Barriers to the adoption of the circular economy in the Brazilian sugarcane ethanol sector. *Clean Technol Environ Policy*, 25, 381-395.
- Kacprzak, M.J., & Kupich, I. (2023). The specificities of the circular economy (CE) in the municipal wastewater and sewage sludge sector—local circumstances in Poland. *Clean Technol Environ Policy*, 25, 519-535.
- Kandulu, J. M., Connor, J. D., & MacDonald, D. H. (2014). Ecosystem services in urban water investment. *Journal of Environmental Management*, 145, 43-53.
- Kayhanian, M., & Tchobanoglous, G. (2016). Water reuse in Iran with an emphasis on potable reuse. *Scientia Iranica*, 23(4), 1594-1617.
- Kayhanian, M., & Tchobanoglous, G. (2018a). Potential application of reclaimed water for potable reuse: part I-introduction to potable reuse. *Journal of Water and Wastewater*, 29(4), 3-22. (In Persian).
- Kayhanian, M., & Tchobanoglous, G. (2018b). Potential application of reclaimed water for potable reuse: part II-technical and regulatory issues. *Journal of Water and Wastewater*, 29(4), 23-60. (In Persian).
- Kayhanian, M., & Tchobanoglous, G. (2018). Potential application of reclaimed water for potable reuse: part III-the path forward and implementation challenges. *Journal of Water and Wastewater*, 29(4), 61-74. (In Persian).
- Kellis, M., Kalavrouzotis, I., & Gikas, P. (2013). Review of wastewater reuse in the Mediterranean countries, focusing on regulations and policies for municipal and industrial applications. *Global NEST Journal*, 15(3), 333-350.
- Khaing, T. H., Li, J., Li, Y., Wai, N., & Wong, F. S. (2010). Feasibility study on petrochemical wastewater treatment and reuse using a novel submerged membrane distillation bioreactor. *Separation and Purification Technology*, 74(1), 138-143.
- Khalid, S., Shahid, M., Natasha, Bibi, I., Sarwar, T., Shah, A. H., & Niazi, N. K. (2018). A review of environmental contamination and health risk assessment of wastewater use for crop irrigation with a focus on low and high-income countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5), 895.
- Khokhar, N. H., Panhwar, S., Keerio, H. A., Ali, A., Hassan, S. S., & Uddin, S. (2024). Wastewater and Reuse for Agriculture. In *Application of Nanotechnology for Resource Recovery from Wastewater* (pp. 19-35). CRC Press.

- Lee, E. J., Criddle, C. S., Geza, M., Cath, T. Y., & Freyberg, D. L. (2018). Decision support toolkit for integrated analysis and design of reclaimed water infrastructure. *Water Research*, 134, 234-252.
- Lee, K., & Jepson, W. (2020). Drivers and barriers to urban water reuse: a systematic review. *Water Security*, 11, 100073.
- Livia, S., María, M. S., Marco, B., & Marco, R. (2020). Assessment of wastewater reuse potential for irrigation in rural semi-arid areas: the case study of Punitaqui, Chile. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22, 1325-1338.
- Mahdavi, M., Mahvi, A. H., Salehi, M., Sadani, M., Biglari, H., Tashauoei, H. R., ... & Fatehizadeh, A. (2020). Wastewater reuse from hemodialysis section by combination of coagulation and Ultrafiltration processes: Case study in saveh-iran hospital. *Desalination and Water Treatment*, 193, 274-283.
- Massoud, M. A., Terkawi, M., & Nakkash, R. (2019). Water reuse as an incentive to promote sustainable agriculture in Lebanon: Stakeholders' perspectives. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 15(3), 412-421.
- Massoud, M. A., Kazarian, A., Alameddine, I., & Al-Hindi, M. (2018). Factors influencing the reuse of reclaimed water as a management option to augment water supplies. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(9), 1-11.
- Mishra, B. K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., & Gautam, A. (2021). Water security in a changing environment: Concept, challenges and solutions. *Water*, 13(4), 490.
- Missimer, T. M., Maliva, R. G., Ghaffour, N., Leiknes, T., & Amy, G. L. (2014). Managed aquifer recharge (MAR) economics for wastewater reuse in low population wadi communities, Kingdom of Saudi Arabia. *Water*, 6(8), 2322-2338.
- Moghdam, F. M., Mahdavi, M., Ebrahimi, A., Tashauoei, H. R., & Mahvi, A. H. (2015). Feasibility study of wastewater reuse for irrigation in Isfahan, Iran. *Middle-East J. Sci. Res*, 23(10), 2366-2373.
- Muanda, C., Cousins, D., Lagardien, A., Owen, G., & Goldin, J. (2017). Direct reclamation of municipal wastewater for drinking purposes. Report to the Water Research Commission.
- Naghsh Javaheri, M., Tishehzan, P., & Moazed, H. (2020). Development of a complete and straightforward hybrid model for gray water treatment. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22, 1745-1753.
- Nancarrow, B. E., Leviston, Z., & Tucker, D. I. (2009). Measuring the predictors of communities' behavioural decisions for potable reuse of wastewater. *Water Science and Technology*, 60(12), 3199-3209.
- National Research Council, N. R. C. (2012). Water reuse: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater: National Academies Press.
- Nemeroff C, Rozin P, Haddad B, Slovic P (2020) Psychological barriers to urban recycled water acceptance: a review of relevant principles in decision psychology. *Int J Water Resour Dev*, 36, 956-971.
- Neri, A., Rizzuni, A., Garrone, P., & Cagno, E. (2025). Barriers and drivers to the development of an effective water reuse chain: insights from an Italian water utility. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 27(4), 1617-1637.
- Norton-Brandão, D., Scherrenberg, S. M., & van Lier, J. B. (2013). Reclamation of used urban waters for irrigation purposes—a review of treatment technologies. *Journal of Environmental Management*, 122, 85-98.
- Ostad-Ali-Askari, K., & Eslamian, S. (2021). Water reuse in industry: necessities and possibilities. *Am J Eng Applied Sci*, 14(1), 94-102.
- Piadeh, F., Ahmadi, M., & Behzadian, K. (2022). A novel framework for planning policy and responsible stakeholders in industrial wastewater reuse projects: a case study in Iran. *Water Policy*, 24(9), 1541-1558.
- Piadeh, F., Moghaddam, M. R. A., & Mardan, S. (2014). Present situation of wastewater treatment in the Iranian industrial estates: Recycle and reuse as a solution for achieving goals of ecoindustrial parks. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 172-178.
- Plumlee, M. H., Gurr, C. J., & Reinhard, M. (2012). Recycled water for stream flow augmentation: Benefits, challenges, and the presence of wastewater-derived organic compounds. *Science of the Total Environment*, 438, 541-548.
- Ricart, S., & Rico, A. M. (2019). Assessing technical and social driving factors of water reuse in agriculture: A review on risks, regulation and the yuck factor. *Agricultural Water Management*, 217, 426-439.
- Rizzo, L., Malato, S., Antakyali, D., Beretsou, V. G., Đolić, M. B., Gernjak, W., ... & Fatta-Kassinos, D. (2019). Consolidated vs new advanced treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern from urban wastewater. *Science of the Total Environment*, 655, 986-1008.

- Rohani Farahmand, A., & Tizghadam Ghazani, M. (2017). Economic and technical investigation of grey water reuse in high-Rise buildings in Iran. *Journal of Water and Wastewater*, 28(3), 13-22. (in Persian)
- Rupiper, A. M., & Loge, F. J. (2019). Identifying and overcoming barriers to onsite non-potable water reuse in California from local stakeholder perspectives. *Resources, Conservation & Recycling*: X, 4, 100018.
- Saliba, R., Callieris, R., D'agostino, D., Roma, R., & Scardigno, A. (2018). Stakeholders' attitude towards the reuse of treated wastewater for irrigation in Mediterranean agriculture. *Agricultural Water Management*, 204, 60-68.
- Sanz, L. A., & Gawlik, B. M. (2014). Water reuse in Europe. Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability.
- Shakeri, H., Tizghadam, M., & Shakeri, Z. (2020). Analysis of Legal Considerations and Challenges of Wastewater Reuse Management. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(7), 249-260. (In Persian).
- Shargil, D., Gerstl, Z., Fine, P., Nitsan, I., & Kurtzman, D. (2015). Impact of biosolids and wastewater effluent application to agricultural land on steroidal hormone content in lettuce plants. *Science of the Total Environment*, 505, 357-366.
- Sheikholeslami, Z., Ehteshami, M., Nazif, S., & Semiarian, A. (2022). The environmental assessment of tertiary treatment technologies for wastewater reuse by considering LCA uncertainty. *Process Safety and Environmental Protection*, 168, 928-941.
- Shoushtarian, F., & Negahban-Azar, M. (2020). Worldwide regulations and guidelines for agricultural water reuse: a critical review. *Water*, 12(4), 971.
- Taheriyoun, M., Alavi, V., & Ahmadi, A. (2016). Risk analysis of wastewater reuse in agriculture using Bayesian network. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 48(1), 101-109.
- Thakur, J. K., Karmacharya, S., Singh, P., Gurung, D., & Eslamian, S. (2016). Water Reuse Products in Urban Areas. In *Urban Water Reuse Handbook* (pp. 1101-1116). CRC Press.
- Tortajada, C. (2020). Contributions of recycled wastewater to clean water and sanitation Sustainable Development Goals. *NPJ Clean Water*, 3(1), 1-6.
- Ullah A, H. S., Wasim A, Jahanzaib M. (2020). Development of a decision support system for the selection of wastewater treatment technologies. *Science of The Total Environment*.
- Valipour, M., & Singh, V. P. (2016). Global experiences on wastewater irrigation: challenges and prospects. *Balanced urban development: options and strategies for liveable cities*, 289-327.
- World Health Organization, W. H. O. (2006). WHO guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater (Vol.1): World Health Organization.
- Yadav, K. K., Singh, P. K., & Purohit, R. C. (2016). Impacts of wastewater reuse on peri-urban agriculture: Case study in Udaipur city, India. *Balanced urban development: Options and strategies for liveable cities*, 329-339.
- Zhang, Y., & Shen, Y. (2019). Wastewater irrigation: past, present, and future. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(3), e1234.