



Semnan University

Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions

<https://ceasr.semnan.ac.ir>



Research Article

The Localized Standard for the Use of Effluent in Agriculture in Iran

Safoora Alizadeh^a, Fatemeh Akhoni Pourhosseini^b, and Kumars Ebrahimi^{c,*}

^a MA in Environmental Health, Ministry of Health and Medical Education, Tehran, Iran.

^b PhD in Water Resources Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

^c Professor, Department of Renewable Energies and Sustainable Resources Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received: 21 December 2023

Revised: 28 April 2024

Accepted: 10 May 2024

Keywords:

Standard,
Water crisis,
Sewage,
Food,
Environment.

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: Various standards have been proposed for the application of water resources, each of which addresses some of the environmental consequences and aspects related to water, soil, plants or human health. The FAO standard, for example, emphasizes the protection of plants and soil in addition to water parameters. On the other hand, the Schuler standard emphasizes water parameters and applies only to the drinking water, but neglects water hygiene parameters. The present research was aimed at introducing the indigenous standard of wastewater application as one of the most important unconventional water resources in agriculture.

Materials and Methods: To achieve this, the national standards of some countries (Cyprus, Mexico, Australia and Jordan), international standards (WHO, FAO and EPA) and Wilcox and Schuler indexes for wastewater use (treated municipal wastewater) were collected, studied and reviewed. In the agricultural sector, a standard has been developed and proposed that, contrary to the Iranian standards, has proposed numerical values for calcium, nitrate, phosphate, sodium, EC, TDS, SS and SAR parameters, based on water quality, soil, plant, environmental protection, and human health, related to the use of wastewater and production of healthy crops. Investigation of each of the effluent parameters alone requires more extensive and detailed studies and this research can be a starting point for them. Wastewater quality monitoring data of Zahedan (2014 to 2018), Arak (2016) and Zargandeh, Tehran (2018) cities were used as case study.

Results: Results indicate that the effluent of Zahedan treatment plant is in medium risk group and Arak and Zarghandeh effluents are in good wastewater group. The results also show that the values of pH, EC, SAR, BOD5, TSS, sodium, magnesium, and mercury in the Zahedan wastewater application are above the maximum permissible level and DO is less than the minimum. In addition, all metals, except copper (0.56 mg/l), with permissible level of 0.2 mg/l, are permitted in comparing heavy metals with the aforementioned standards. Sodium content of 15.55 mg/l and TSS value of 455 mg/l exceed all standards and the recommended standard. The values of EC (2.24 dS/m), SAR (7.63), TDS (1919.6 mg/l) and pH (7.76) are within the permissible standard range. Also according to the Schuler index, the effluent is in the acceptable to medium range and according to the Wilcox index, Zahedan effluent is in the S₁-

*Corresponding Author; EbrahimiK@ut.ac.ir

C₄ class.

Conclusion: The proposed standard of the present research completes the shortcomings of the standard of the Environmental Protection Organization of Iran as the most complete standard among the reviewed standards and includes all aspects of the protection and health of water, soil, plants and humans. In the proposed standard, the permissible range was determined for calcium, nitrate, phosphate, sodium, EC, TDS, SS, and SAR, which have not been previously defined in the national standards of Iran. Phosphorus in the form of phosphate in municipal wastewater is one of the nutrients required for plant growth. One of the most important advantages of using wastewater for agricultural irrigation is reducing the need to use phosphate and nitrogen fertilizers. Sodium is defined in WHO, EPA, University of California, Ayers and Westcott and Jordan standards. If, in the process of cation exchange with soil particles, cations of single capacity (specifically sodium) prevail, the soil structure loses its consistency and disintegrates easily. Sodium is one of the most important cations due to its effects on soil. Exchangeable sodium tends to spread in the soil and reduces the velocity of water and air infiltration in the soil.

Cite this article as: Alizadeh, S., Akhoni Pourhosseini, F. and Ebrahimi, K. (2025). The localized standard for the use of effluent in agriculture in Iran. *Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions*, 2(1), 69-87.

©2025 Published by Semnan University Press.

<https://doi.org/10.22075/ceasr.2025.32583.1024>

ارائه استاندارد بومی کاربرد پساب در کشاورزی در ایران

صفورا علیزاده^۱، فاطمه آخونی پورحسینی^۲ و کیومرث ابراهیمی^{۳*}

۱- کارشناس ارشد بهداشت محیط، وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، تهران، ایران.

۲- دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- استاد گروه مهندسی انرژی‌های نو و منابع پایدار، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول، EbrahimiK@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۱ واژه‌های کلیدی: استاندارد، بحران آب، فاضلاب، غذا، محیط زیست.	سابقه و هدف: در کاربرد منابع آب، ضوابط و استانداردهای مختلفی پیشنهاد شده که هر یک بخشی از پیامدها و جنبه‌های زیست محیطی مربوط به آب، خاک، گیاه و یا بهداشت و سلامت انسان را مورد توجه قرار داده است. به طور مثال، استاندارد FAO علاوه بر پارامترهای آب، بر حفاظت از گیاه و خاک نیز تأکید دارد. از سوی دیگر، استاندارد شولر بر پارامترهای آب تأکید داشته و فقط در بخش آب شرب کاربرد دارد؛ ولی از پارامترهای بهداشتی آب غافل مانده است. پژوهش حاضر، با هدف ارائه استاندارد بومی کاربرد پساب در کشاورزی به عنوان یکی از مهمترین منابع آب نامتعارف انجام شده است. مواد و روش‌ها: برای نیل به این هدف، ضمن جمع‌آوری، مطالعه و بررسی استانداردهای ملی برخی از کشورها (قبرس، مکزیک، استرالیا و اردن)، استانداردهای بین‌المللی (WHO، EPA و FAO) و شاخص‌های ویلکاکس و شولر در خصوص استفاده از پساب (فاضلاب شهری تصفیه‌شده) در بخش کشاورزی، یک استاندارد تهیه و پیشنهاد شده که برخلاف استانداردهای ایران، برای پارامترهای کلسیم، نیترات، فسفات، سدیم، EC، TDS، SS و SAR مقادیر عددی پیشنهاد شده است که مبنای آن صیانت از کیفیت آب، حفاظت خاک، گیاه، محیط زیست و سلامت و بهداشت انسان در رابطه با کاربرد پساب و تولید محصولات سالم کشاورزی است. از داده‌های پایش کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های شهرستان زاهدان (۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷)، شهرستان اراک (۱۳۹۵) و زرگنده تهران (۱۳۹۷) به عنوان مطالعه موردی استفاده شد. یافته‌ها: نتایج بیانگر آن است که پساب خروجی تصفیه‌خانه زاهدان در گروه پساب با خطر متوسط و پساب اراک و زرگنده در گروه پساب خوب قرار دارند. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که برای کاربرد پساب زاهدان در آبیاری فضای سبز، مقادیر پارامترهای EC، pH، SAR، BOD5، TSS، سدیم، منیزیم و جیوه بیش از حداکثر مجاز بوده و مقدار DO کمتر از حداقل مطلوب است. علاوه بر این، در خصوص مقایسه مقدار فلزات سنگین با حد مجاز استانداردهای مذکور، همه فلزات به جز مس با مقدار 0.056 mg/l (حد مجاز 0.2 mg/l) در محدوده مجاز هستند. مقدار سدیم $15/95 \text{ mg/l}$ و TSS $455/2 \text{ mg/l}$ بیش از حد مجاز

همه استانداردها و استاندارد پیشنهادی می‌باشد. مقدار پارامترهای EC ($2/4 \text{ dS/m}$)، SAR ($7/63$)، TDS ($1919/6 \text{ mg/l}$) و pH ($7/76$) در محدوده مجاز استاندارد پیشنهادی می‌باشند. همچنین، با توجه به شاخص شولر، این پساب در محدوده قابل قبول تا متوسط قرار داشته و بر اساس شاخص ویلکوکس، پساب زاهدان در کلاس S1-C4 قرار دارد.

نتیجه‌گیری: استاندارد پیشنهادی تحقیق حاضر نواقص استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران را به‌عنوان کامل‌ترین استاندارد در بین استانداردهای بررسی شده تکمیل نموده و همه جوانب حفاظت و سلامت آب، خاک، گیاه و انسان را شامل شده است. در استاندارد پیشنهادی، برای پارامترهای کلسیم، نیتрат، فسفات، سدیم، EC، TDS، SS و SAR محدوده مجاز تعیین شد که قبلاً در استانداردهای ملی ایران تعریف نشده است. فسفر به شکل فسفات در پساب شهری، یکی از عناصر مغذی مورد نیاز برای رشد گیاهان است. یکی از مهمترین مزایای کاربرد پساب برای آبیاری در کشاورزی، کاهش نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی فسفاته و ازته است. سدیم در استانداردهای WHO، EPA، دانشگاه کالیفرنیا، آیرز و وستکات، و اردن تعریف شده است. چنانچه در فرآیند تبادل کاتیونی با ذرات خاک، کاتیون‌های یک ظرفیتی (به‌طور مشخص سدیم) غالب باشند، ساختمان خاک قوام خود را از دست داده و به راحتی متلاشی می‌شود. سدیم، به دلیل اثراتش بر خاک، یکی از مهمترین کاتیونهاست. سدیم تبادلی، تمایل به پراکنش خاک داشته، باعث کاهش سرعت نفوذ آب و هوا در خاک می‌شود.

استناد: علیزاده، ص.، آخونی پورحسینی، ف. و ابراهیمی، ک. (۱۴۰۴). ارائه استاندارد بومی کاربرد پساب در کشاورزی. *اقلیم و بوم سازگان مناطق خشک و نیمه خشک*، ۲(۱)، ۶۹-۸۷.

ناشر: دانشگاه سمنان

DOI: <https://doi.org/10.22075/ceasr.2025.32583.1024>

۱- مقدمه

در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد از کل آب استحصال‌شده در ایران صرف آبیاری اراضی زراعی می‌شود. از این‌رو، تأمین آب مورد نیاز کشاورزی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. برآورد می‌شود در سال ۱۴۰۰، آب مورد نیاز صنعت ۲۱۱۰ میلیون متر مکعب و میزان پساب تولیدی معادل ۱۰۸۸ میلیون متر مکعب خواهد بود. ایران به عنوان یکی از کشورهای خاورمیانه با کاهش منابع آب تجدیدشونده مواجه بوده و بر استفاده بهینه از منابع تجدیدپذیر، به‌ویژه بازچرخانی و استفاده مجدد آب، تغذیه آب‌های زیرزمینی و استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی تصفیه‌شده در امور کشاورزی و سایر فعالیت‌ها تأکید شده است (Mirzashahi و همکاران، ۲۰۱۴؛ Mohammadi، ۲۰۱۹). Alinejadian و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر آبیاری با پساب شهری بر تجمع باکتری‌های شاخص آلودگی و برخی فلزات سنگین را در خاک و گیاه مطالعه کردند. در پژوهش مذکور به‌منظور بررسی میکروبی و برخی فلزات سنگین در اندام هوایی ذرت علوفه‌ای و خاک، در مزرعه‌ی تصفیه‌خانه شهرکرد دو تیمار، شامل آبیاری با آب چاه با کود و تیمار دوم آبیاری با پساب فاضلاب شهری در تابستان ۱۳۹۰ اجرا شد. نتایج نشان داد که تعداد باکتری‌های لاکتوز مثبت، کلیفرم کل و مدفوعی در عمق ۵ سانتی‌متری نسبت به عمق ۱۵ سانتی‌متری حدود ۴۲ درصد بیشتر بوده و با گذشت زمان روزانه تعداد باکتری‌های شاخص آلودگی در خاک به مقدار ۳۵ درصد کاهش نشان داد.

غلظت فلزات سنگین در ساقه و برگ جدید بیشتر بوده ولی تفاوت معنی داری بین دو تیمار ثبت نشد. غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه تحت بررسی نیز در حد مجاز قرار داشت. Najafpour و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی استفاده مجدد از پساب و لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهر اهواز در فضای سبز شهری پرداختند. ایشان در این پژوهش با در نظر گرفتن استانداردهای کیفیت پساب و لجن فاضلاب، پارامترهای کیفی مانند هدایت الکتریکی، اسیدیته، کربن، پتاسیم، فسفر، سدیم، مواد آلی و ازت را برای استفاده جهت مصارف آبیاری فضای سبز مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. بر اساس رهنمود آیرز و وستکات^۱ پارامترهای کیفی پساب تصفیه‌شده فاضلاب جهت آبیاری سطحی عموماً در رده محدودیت کم تا متوسط قرار داشت. نتایج حاصل از کلاس‌بندی ویلکاکس، شوری را در کلاس زیاد و گاهی شدید و سدیمی بودن آب را در کلاس کم قرار داد که خطر شوری خاک در درازمدت برای آبیاری گیاهان با همین کیفیت را هشدار می‌دهد. از نظر بافت خاک، منطقه مورد استفاده جهت فضای سبز در رده خاک‌های لوم و شنی ارزیابی شد که مناسب جهت کاشت گیاهان چمنی و درختچه‌های کوتاه تزئینی می‌باشد. در نهایت، با توجه به نتایج حاصل از پارامترهای کیفی، آب خام رودخانه کارون جهت آبیاری فضای سبز شهری با انجام تمهیداتی قابل‌استفاده ارزیابی شد. Yazdanbakhsh و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی به بررسی کیفیت رواناب سطحی کانال فیروزآباد شهر تهران برای مصارف آبیاری پرداختند. ایشان پارامترهای pH، TSS، COD، BOD₅، هدایت الکتریکی، بُر، کلرور، فلزات سنگین، کلیفرم کل، کلیفرم‌های موفوعی و نماتدهای روده‌ای را جهت تعیین کیفیت رواناب سطحی برای مصارف آبیاری اندازه‌گیری کردند. همچنین، شاخص‌های درصد سدیم و SAR را تعیین کردند. نتایج با استانداردهای آب کشاورزی مقایسه شد و نشان داد که میانگین pH، COD، BOD₅ و فلزات سنگین مورد اندازه‌گیری به‌جز نیکل مطابق با استانداردهای پساب برای آبیاری توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران می‌باشد. هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، SAR، کلراید و بُر در محدوده کم تا متوسط و درصد سدیم قابل‌قبول برای آبیاری ارزیابی شد. میانگین میزان کدورت، TSS و همچنین تعداد باکتری‌های کلیفرم و کلیفرم مقاوم به حرارت بیشتر از استانداردهای پساب برای استفاده در آبیاری و کشاورزی اندازه‌گیری شد. گرچه بعضی از پارامترهای اندازه‌گیری شده با استانداردها مطابقت داشت، ولی نتایج تحقیق اخیر نشان داد که در مورد برخی از پارامترها نیاز به تصفیه و به‌خصوص گندزدایی وجود دارد. همچنین، در صورت استفاده، پایش مداوم این رواناب‌ها از نظر رعایت استانداردها برای آبیاری ضروری است. Vali و همکاران (۲۰۱۵) الگوی کشت و ارزیابی گونه‌های کشت شده با پساب تصفیه‌شده شهر سبزوار جهت احیای اراضی بیابانی را تعیین کردند. در این تحقیق، الگوی کشت متناسب با کیفیت پساب با مقایسه خصوصیات کیفی پساب با استانداردهای کیفی کشور اردن تعیین شد. نتایج نشان داد که در سبزیجات پخته‌شده، محصولات علوفه‌ای، درختان جنگلی و محصولات صنعتی فقط پارامترهای کلیفرم کل و اکسیژن محلول و در چمن‌زار و فضای سبز شهری علاوه بر این، پارامترهای مجموع کل مواد جامد معلق، اکسیژن مورد تقاضای شیمیایی و بیوشیمیایی نیز محدودکننده می‌باشد. همچنین، گونه‌های تاغ، آتریپلکس و قره‌داغ به‌ترتیب بیشترین درصد زنده‌مانی را داشته‌اند. Haji Namaki و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی اثرات آبیاری در طولانی مدت بر خصوصیات شیمیایی و زیستی خاک در کشف‌رود مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که آبیاری با پساب نتایج سوئی ندارد و باعث بهبود ویژگی‌های خاک گردیده، ولی به علت ورودی متفاوت پساب به رودخانه، تغییر در فعالیت‌های زیستی و شیمیایی در طول مسیر متفاوت می‌باشد. Taheriyoun و همکاران (۲۰۱۶) به تحلیل ریسک استفاده از پساب تصفیه‌شده در کشاورزی با استفاده از شبکه بیزی پرداختند. پساب به‌دلیل مزایایی نظیر کاهش محدودیت منابع آب و کاهش آلودگی محیط‌زیست مورد توجه و استفاده در بخش کشاورزی قرار گرفته است. اما آلاینده‌های احتمالی موجود در پساب باعث ایجاد محدودیت‌هایی در استفاده از آن می‌شود. ارزیابی ریسک یکی از ابزارهای مهم برای شناخت خطرات احتمالی یک پروژه و

¹ Ayers and Westcott

پیامدهای بالقوه ناشی از آن می‌باشد. Rahimi و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به ارائه و ارزیابی یک روش پیشنهادی در تعیین مناسب‌ترین کاربرد پساب شهر اراک پرداختند. در این پژوهش، مشخصات ۶۰ نمونه پساب ماهانه برای پنج سال از ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ و ۱۶ پارامتر از هر نمونه از تصفیه‌خانه شهر اراک تهیه و پس از تعیین شش گزینه ممکن مصرف پساب، پارامترهای مناسب انتخاب و پس از تدوین دو شاخص با کاربرد رویکردهای فازی و آنتروپی ضمن ارزیابی شاخص‌های پیشنهادی، بهترین گزینه استفاده از پساب در هر حالت تعیین شد. بر اساس نتایج، مشخص شد که شاخص‌های پیشنهادی ضمن حساس بودن به پارامترها و سطح کیفیت پساب، کاربرد پساب را به‌خوبی تعیین نموده‌اند، به‌طوری که نتایج نشان داد که کیفیت پساب تصفیه‌خانه شهر اراک در پنج سال آخر بررسی بهبود یافته و در سال پنجم، علاوه بر تولید علوفه دام و آبیاری فضای سبز، در کاربری‌های صنعت، سبزی‌های پخته و تولید دانه‌های روغنی و تغذیه مصنوعی آبخوان نیز قابل استفاده تشخیص داده شد. این در حالی است که پساب سال ۱۳۹۱ فقط برای آبیاری فضای سبز و تولید علوفه تأیید شده است. Mazaheri و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثر آلودگی تغذیه پساب بر آلودگی منطقه گاوخونی پرداختند. نتایج نشان داد که راهبرد غرقابی خشکی به غرقابی دائم در حذف فسفات مؤثرتر است. در لایه اول تا ۱۵ درصد و در لایه سوم تا ۱۶ درصد نسبت به راهبرد غرقابی دائم و در لایه دوم با بافت سنگین‌تر تغییری در جذب نهایی حاصل نشد. Zolfaghari و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی استفاده از آب‌های نامتعارف در ده محصول زراعی استان گلستان پرداختند. معیارهای تصمیم‌گیری و عوامل ایجاد محدودیت بر اساس مطالعات صورت گرفته در زمینه استفاده از پساب طبق نظرات کارشناسان آنالیز حساسیت گردید. نتایج با استفاده از داده‌های تصفیه‌خانه کردکوی نشان داد که علی‌رغم پایین بودن مطلوبیت کشت تمامی گیاهان به دلیل عدم مطلوبیت پارامترهای نیتрат، آلودگی میکروبی و آسیب‌پذیری آبخوان، دو گیاه پنبه و کلزا در میان ده گیاه زراعی بالاترین مطلوبیت کشت را با پساب در منطقه تحت پوشش تصفیه‌خانه داشتند. Shokri و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی توصیفی - مقطعی عملکرد تصفیه‌خانه همدان با سیستم تصفیه لجن فعال در بازه زمانی آذر تا بهمن در سال ۱۳۹۷ پرداختند. نتایج حاکی از کاهش نسبی TSS، COD، BOD، NTU و pH است. با توجه به نتایج حاصل، پساب تصفیه شده به علت خاصیت اسیدی، کمتر می‌تواند در نیروگاه برق مورد استفاده قرار گیرد. Mohammadi Deylamani و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی جهت رفع آلودگی پساب شهری، از گیاهان و تیور و گل اختر استفاده کردند. نتایج نشان داد که در فرآیند جذب فلزات سنگین، تغییراتی در برخی از عملکردهای آناتومیک و فیزیولوژیک گیاهان تحت تیمار ایجاد شد. Hassanoghli و فرزنام‌نیا (۲۰۲۳) تحقیقی جهت بررسی وضعیت آب در گلخانه‌ای در استان اصفهان پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار شوری آب چاه در فلاورجان و کمترین میزان در شهرضا می‌باشد. همچنین، بیشترین مقدار شوری پساب یا شورابه در فلاورجان و کمترین آن در شهرضا می‌باشد.

در ادامه تحقیقات پیشین، در مطالعه حاضر، تهیه و تدوین استاندارد و دستورالعمل بومی کاربرد پساب در کشاورزی برای ایران مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. برای نیل به این هدف، ضمن جمع‌آوری، مطالعه و بررسی استانداردهای ملی برخی از کشورها (قبرس، مکزیک، استرالیا و اردن)، استانداردهای بین‌المللی (FAO، WHO، EPA) و شاخص‌های ویلکاکس و شولر در خصوص استفاده از پساب (فاضلاب شهری تصفیه‌شده) در بخش کشاورزی، یک استاندارد تهیه و پیشنهاد شده که برخلاف استانداردهای ایران، برای پارامترهای کلسیم، نیترات، فسفات، سدیم، EC، TDS، SS و SAR مقادیر عددی پیشنهاد شده است و مبنای آن صیانت از کیفیت آب، حفاظت خاک، گیاه، محیط‌زیست و سلامت و بهداشت انسان در رابطه با کاربرد پساب و تولید محصولات سالم کشاورزی است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه پژوهش

داده‌های به‌کار گرفته شده در پژوهش حاضر شامل یک دوره پنج ساله (از ابتدای سال ۱۳۹۳ تا انتهای سال ۱۳۹۷) پساب تصفیه‌خانه شهر زاهدان، میانگین نتایج کیفی پساب تصفیه‌خانه شهر اراک در سال ۱۳۹۵ و تصفیه‌خانه زرگنده تهران در سال ۱۳۹۷ می‌باشد. تحقیق حاضر با هدف ارائه استاندارد بومی کاربرد آب‌های نامتعارف در کشاورزی برای ایران با تکیه بر پساب انجام شد. برای نیل به این هدف، ابتدا استانداردهای ملی پرکاربرد چند کشور و استانداردهای بین‌المللی با رویکرد مبنای استفاده در کشاورزی و همچنین نوع منبع، جمع‌آوری و با یکدیگر مقایسه شد. دستورالعمل‌های بررسی شده عبارتند از: WHO, EPA, FAO, NAS (اردن)، استانداردهای ملی کشورهای قبرس، مکزیک، استرالیا و ایران و همچنین استانداردهای ویلکوکس، آیز و وستکات، پایپر و شولر، که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، پارامترهای مورد بررسی عبارتند از: نقره، آلومینیوم، آرسنیک، بر، باریوم، بریلیوم، کادمیم، کلر آزاد، کلراید، فرمالدئید، فنل، سیانور، کبالت، کروم، مس، فلوراید، آهن، جیوه، لیتیوم، منگنز، منیزیم، مولیبدن، نیکل، سرب، سلنیم، سولفید، سولفیت، وانادیم، روی، روغن پاک‌کننده، BOD₅, TSS, COD, pH, EC، کدورت، رنگ، تخم انگلی، کلیفرم کل، کلسیم، نیتрат و فسفات.

جدول ۱. مشخصات کلی استانداردهای بین‌المللی و ملی کاربری پساب

Table 1. General specifications of international and national standards for wastewater use

استانداردهای بین‌المللی			استانداردهای ملی		
International standards			National standards		
نام استاندارد	نوع منبع	هدف کاربری	نام استاندارد	نوع منبع	هدف کاربری
Standard name	Source type	Purpose of use	Standard name	Source type	Purpose of use
WHO	آب و پساب Water and sewage	آبیاری و آب Irrigation and water	انگلبورگ سوییس Engelberg, Switzerland	پساب Sewage	آبیاری Irrigation
		شرب Potable			
EPA	آب و پساب Water and sewage	آبیاری و آب Irrigation and water	سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران EPO of Iran	پساب Sewage	آبیاری و فضای سبز Irrigation and greenery
		شرب Potable			
FAO	آب و پساب Water and sewage	آبیاری Irrigation	سازمان مشترک المنافع استرالیا Commonwealth of Australia	پساب Sewage	آبیاری فضای سبز Irrigation and greenery
NAS	پساب Sewage	آبیاری Irrigation	استاندارد اردن Jordan standard	پساب Sewage	آبیاری Irrigation
ویلکوکس Wilcox	آب Water	آبیاری Irrigation	استاندارد قبرس Cyprus standard	پساب Sewage	آبیاری Irrigation
آیز و وستکات Ayers and Westcott	آب Water	آبیاری Irrigation	وزارت نیرو ایران Ministry of Energy of Iran	پساب Sewage	آبیاری و فضای سبز Irrigation and greenery
	آب پایپر	آبیاری	استاندارد مکزیک		آبیاری

Piper	Water	Irrigation	Mexican standard		Irrigation
شولر	آب	آب شرب	ایالت کنتاکی	پساب	آبیاری
Shuler	Water	Potable	Kentucky State	Sewage	Irrigation
			دستورالعمل کشورهای مدیترانه	آب و پساب	آبیاری
			Guidelines for	Sewage	Irrigation
			Mediterranean countries		
			هیئت مشاوران دانشگاه کالیفرنیا	پساب	آبیاری
			University of California	Sewage	Irrigation
			Advisory Board		

۲-۲- روش کار

دستورالعمل‌های پیشنهادی برای کشورهای مدیترانه‌ای حداقل الزاماتی هستند که پایه و اساس مقررات مربوط به استفاده مجدد از آب را در هر منطقه تشکیل می‌دهند. در کشورهای توسعه‌یافته بیشتر به حفظ و نگهداری کیفیت آب توجه شده است. به‌خاطر پیشرفت کند تصفیه آب در بسیاری از کشورها، انتظار نمی‌رود با وجود این تأخیر تمام این تحولات با دستورالعمل‌های مشابه مطابقت داشته باشند. با این حال، هر کشور باید خود را متعهد کند که بسته به ظرفیت‌های مالی و تجهیزات خود به این دستورالعمل‌ها دست یابد (سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۸۹). در جدول ۲، نواقص و نقاط ضعف استانداردهای ملی و بین‌المللی ارائه شده است.

جدول ۲. محدودیت استانداردهای ملی و بین‌المللی

Table 2. Limitation of national and international standards

نام استاندارد	تعداد پارامترها	تعداد پارامترهای مشترک با استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران	نواقص و ضعف‌ها
Standard name	Number of parameters	Number of common parameters with the standard of Iran Environmental Protection Organization	Defects and weaknesses
WHO	27	25	عدم معرفی مقادیر برای پارامترهای مربوط به مواد آلی سمی، خواص فیزیکی و شیمیایی پساب، آلودگی به فاضلاب صنعتی Introducing values for parameters related to toxic organic substances, physical and chemical properties of wastewater, industrial wastewater pollution
FAO	25	22	عدم معرفی مقادیر برای پارامترهای مربوط به مواد آلی سمی، خواص فیزیکی و شیمیایی پساب، آلودگی به فاضلاب صنعتی Introducing values for parameters related to toxic organic substances, physical and chemical properties of wastewater, industrial wastewater pollution
NAS	20	19	عدم معرفی مقادیر برای پارامترهای مربوط به مواد آلی سمی، خواص فیزیکی و شیمیایی پساب، آلودگی به فاضلاب صنعتی و شهری Failure to introduce values for parameters related to toxic organic substances, physical

نام استاندارد Standard name	تعداد پارامترها Number of parameters	تعداد پارامترهای مشترک با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران Number of common parameters with the standard of Iran Environmental Protection Organization	نواقص و ضعفها Defects and weaknesses
EPA	37	30	and chemical properties of wastewater, industrial and urban wastewater pollution عدم معرفی مقادیر برای پارامترهای مربوط به مواد آلی سمی، آلودگی به فاضلاب صنعتی Failure to introduce values for parameters related to toxic organic substances, industrial wastewater pollution
کالیفرنیا California	8	3	فقط پارامترهای مربوط به شوری خاک و هدایت الکتریکی پساب لحاظ شده است. Only the parameters related to soil salinity and electrical conductivity of wastewater have been considered.
کتناکی Kentucky	5	4	یک دستورالعمل ایالتی و بومی است و قابل تعمیم به سایر کشورها نیست. It is a state and local guideline and cannot be extended to other countries.
آیرز و وستکات Ayers and Westcott	6	2	فقط پارامترهای مربوط به شوری خاک و هدایت الکتریکی پساب لحاظ شده است. Only parameters related to soil salinity and electrical conductivity of wastewater are included.
سوئیس Switzerland	9	9	فقط برخی از پارامترهای مربوط به فلزات سنگین و یونهای سمی لحاظ شده است. Only some parameters related to heavy metals and toxic ions are included.
اردن Jordan	35	29	عدم معرفی مقادیر برای پارامترهای مربوط به خواص فیزیکی و شیمیایی پساب، آلودگی به فاضلاب صنعتی و شهری Failure to introduce values for parameters related to the physical and chemical properties of wastewater, industrial and urban wastewater pollution
مکزیک Mexico	2	2	فقط پارامترهای مربوط به آلودگی بیولوژیکی و میکروبی لحاظ شده است. Only parameters related to biological and microbial pollution have been considered.
قبرس Cyprus	4	3	فقط پارامترهای مربوط به آلودگی مواد آلی و جامدات قابل ته نشینی لحاظ شده است. Only the parameters related to pollution of organic substances and settleable solids have been considered.

نواقص و ضعف‌ها Defects and weaknesses	تعداد پارامترهای مشترک با استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران Number of common parameters with the standard of Iran Environmental Protection Organization	تعداد پارامترها Number of parameters	نام استاندارد Standard name
فقط پارامترهای مربوط به آلودگی بیولوژیک و میکروبی لحاظ شده است. Only parameters related to biological and microbial contamination have been considered.	2	2	وزارت نیرو ایران Ministry of Energy of Iran
برخی پارامترهای مربوط به حفاظت از خاک و گیاه و محیط‌زیست لحاظ نشده است. Some parameters related to the protection of soil, plant and environment have not been included.	42	42	سازمان حفاظت محیط زیست ایران EPO of Iran

در بسیاری از کشورها، مثل ایالات متحده آمریکا، فقط استانداردهای منطقه‌ای موجود است (EPA, 1977). تعداد بسیار معدودی از کشورهای اروپایی از دستورالعمل‌ها یا مقررات خاصی برای بازیابی پساب و استفاده از آن برخوردار هستند؛ چون اولاً آنها به دلیل فزونی منابع آب در دسترس نیاز به استفاده از پساب ندارند و ثانیاً اکثر منابع آب سطحی آنها از عوامل کافی و مناسب برای رقیق‌سازی برخوردار می‌باشند. ایالات متحده آمریکا در زمینه استانداردهای فنی خود چند محدوده مشخص برای ارگانسم‌ها و مواد شیمیایی تعریف و تنظیم نموده است. کالیفرنیا پیشگام این نوع تفکیک و تمایز بوده که در اوایل ۱۹۱۸ تلاش‌های اولیه در باره استفاده از پساب را انجام داده است و بعداً با افزایش پتانسیل‌های فنی ایالات متحده بیشتر این مقررات را تفکیک و محدود نموده، که نتیجه نهایی آن کرانه‌های بسیار کم بود (قانون آب ایالت کالیفرنیا). بسیاری از کشورهای در حال توسعه بر استفاده از محدودیت‌ها و ممنوعیت‌ها در مقررات خود تمرکز نموده‌اند. به‌عنوان مثال، اغلب در چنین مقرراتی آبیاری سبزی‌هایی که به‌صورت خام مصرف می‌شوند یا به‌طور کلی بخش‌های خوردنی گیاهان با پساب را منع نموده است و نیازمند حداقل فاصله زمانی بین آبیاری و برداشت محصول است. مشکل اصلی در استفاده از چنین ممنوعیت‌هایی این است که این ممنوعیت‌ها بدون نظارت آژانس‌های ناظر انجام نمی‌شود. مشکلات مهم دخیل در نظارت بر استفاده از این ممنوعیت‌ها موجب شده است تا کشورهای بسیاری همچون مکزیک و تونس این دو رویکرد را با هم تلفیق نمایند (Vice President of Planning and Strategic Supervision of the President, 2019).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات استاندارد پیشنهادی

استانداردهای بررسی شده با استفاده از WHO, FAO, EPA و اردن با استاندارد پیشنهادی تحقیق حاضر در جدول ۳ مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در مجموع، تعداد کل پارامترهای قابل بررسی در کاربری پساب ۵۰ پارامتر است که در صورت لحاظ همه‌ی آنها جوانب سلامت خاک، گیاه، انسان و محیط‌زیست پوشش داده می‌شود. اما هیچیک از استانداردها همه جوانب را شامل نیستند. به‌طور مثال، استاندارد کشور قبرس فقط جنبه‌های حفاظت و سلامت مصرف‌کنندگان (انسان) و محصولات تولیدی کشاورزی را در نظر گرفته است و از جنبه‌های محیط‌زیستی پساب (سلامت خاک و گیاه) غافل شده است. در استاندارد سوئیس، فقط برای فلزات سنگین و یون‌های سمی حدود مجاز تعریف شده است و یا در استاندارد

سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، جنبه‌های محافظت از محیط‌زیست به‌طور کامل در نظر گرفته نشده است. همچنین، برخی از پارامترهای مربوط به سلامت گیاه و خاک (مانند TDS، فسفات و نیترات) مغفول مانده است. از این‌رو، در استاندارد پیشنهادی تحقیق حاضر، پارامترهایی پیشنهاد شده که نواقص استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران را به‌عنوان کامل‌ترین استاندارد در بین استانداردهای بررسی شده تکمیل نموده و همه جوانب حفاظت و سلامت آب، خاک، گیاه و انسان را شامل شود. بنابراین مقادیر استاندارد پیشنهادی تحقیق حاضر با رعایت اولویت مقادیر استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران و تکمیل آن به‌عنوان استاندارد بومی کشور پیشنهاد شده است.

- در استاندارد پیشنهادی برای پارامترهای کلسیم، نیترات، فسفات، سدیم، EC، TDS، SS و SAR محدوده مجاز تعیین شده که قبلاً در استانداردهای ملی ایران تعریف نشده است.

- کلسیم در استانداردهای EPA و کشور اردن تعریف شده است. رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات از کل نمک‌های محلول در آب اثر می‌پذیرد.

- نیترات در استانداردهای WHO، FAO، EAP، دانشگاه کالیفرنیا و اردن تعریف شده است. مقدار نیتروژن به شکل نیترات موجود در پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری اغلب نیاز گیاهان به این عنصر را طی دوره رشد برآورده می‌کند، اما نیتروژن و پتاسیم بیش از حد مورد نیاز گیاهان موجب رشد بیش از حد، تأخیر در زمان رسیدن محصول و کاهش کیفیت محصول می‌شود.

- فسفات فقط در استاندارد EAP مقدار دارد. فسفر به شکل فسفات در پساب شهری یکی دیگر از عناصر مغذی مورد نیاز برای رشد گیاهان است. یکی از مهمترین مزایای کاربرد پساب برای آبیاری در کشاورزی، کاهش نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی فسفاته و ازته است.

- سدیم در استانداردهای WHO، EAP، دانشگاه کالیفرنیا، آیرز و وستکات و اردن تعریف شده است. چنانچه در فرآیند تبادل کاتیونی با ذرات خاک، کاتیون‌های یک ظرفیتی (به‌طور مشخص سدیم) غالب باشند، ساختمان خاک قوام خود را از دست داده و به‌راحتی متلاشی می‌شود. سدیم به‌دلیل اثراتش روی خاک، یکی از مهمترین کاتیون‌ها است. سدیم تبادلی، تمایل به پراکنش خاک داشته، باعث کاهش سرعت نفوذ آب و هوا در خاک می‌گردد.

EC در استانداردهای WHO، EPA، دانشگاه کالیفرنیا و آیرز و وستکات و SAR در استانداردهای WHO، FAO، دانشگاه کالیفرنیا، آیرز و وستکات و اردن تعریف شده است. TDS در استانداردهای WHO، FAO، دانشگاه کالیفرنیا و اردن تعریف شده است. SS فقط در استاندارد EPA و کشور قبرس مقدار دارد. هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی با TDS و نمک‌های محلول در آب دارد. یکی از راه‌های ساده تعیین غلظت املاح محلول در آب، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی است. هر چه مقدار املاح حل‌شده در آب بیشتر باشد قابلیت هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد.

هدایت الکتریکی (EC) به‌طورمستقیم با مجموع آنیون‌ها (کربنات، بی‌کربنات، سولفات، کلر) و کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) در ارتباط است و بنابراین به‌عنوان شاخصی مناسب برای شناسایی مقادیر کل نمک‌های موجود در آب آبیاری به‌حساب می‌آید (Chopan و همکاران، ۲۰۱۸). آب‌هایی که یون بی‌کربنات در آنها زیاد است، باعث رسوب کربنات کلسیم شده و در نتیجه نسبت جذب سدیم را افزایش می‌دهد. کاهش هدایت هیدرولیکی خاک از اثرات بلندمدت استفاده از آب‌های سدیمی است. به‌ویژه، وجود کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها در آب باعث تخریب ساختمان خاک در درازمدت می‌شود (Matin، ۱۹۹۴). گاهی اوقات، حد مجاز شاخص BOD به‌صورت BOD کربن‌دار (CBOD) مشخص می‌گردد. CBOD تقریباً ۸۰ درصد یا بیشتر از میزان کل BOD را شامل می‌شود. در حالت کلی، نسبت COD به BOD بین ۲ تا ۲/۲ می‌باشد. نسبت‌های

بالاتر ممکن است دلالت بر این موضوع باشد که فاضلاب صنعتی می‌باشد و حاوی موادی است که قابل تجزیه بیولوژیک نیستند (Eddy و Metcalf, ۱۹۹۱).

جدول ۳. ارزیابی وضعیت پساب تصفیه‌خانه زاهدان (سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷) با استاندارد پیشنهادی تحقیق حاضر

Table 3. Evaluation of the effluent condition of Zahedan treatment plant (2014 to 2018) with the proposed standard in this research

پارامتر Parameter (mg/l)	مقدار حد مجاز Limit value	مقدار میانگین پساب زاهدان Average amount of Zahedan wastewater	وضعیت پساب زاهدان Status of Zahedan wastewater
آرسنیک Ar	0.1	0.001	مناسب Suitable
کادمیم Cd	0.01-0.05	0.003	مناسب Suitable
کلراید Cl	2.8-17	10.82	مناسب Suitable
کبالت Co	0.005	0.003	مناسب Suitable
کروم Cr	0.1-1	0.004	مناسب Suitable
مس Cu	0.2	0.56	نامناسب Unsuitable
جیوه Hg	0.001	0.004	نامناسب Unsuitable
منیزیم Mg	25-100	61.47	مناسب Suitable
نیکل Ni	0.2	0.07	مناسب Suitable
سرب Pb	1	0.061	مناسب Suitable
BOD ₅	30-100	53.3	مناسب Suitable
COD	120-200	99.83	مناسب Suitable
DO	2	1.55	نامناسب Unsuitable
TSS	50-100	455.2	نامناسب Unsuitable
Ph	6-8.5	7.76	مناسب Suitable
کلسیم Ca	200-400	74.05	مناسب Suitable
نیتрат NO ₃	5-30	11	مناسب Suitable
سدیم Na	3-9	15.95	نامناسب Unsuitable

پارامتر Parameter (mg/l)	مقدار حد مجاز Limit value	مقدار میانگین پساب زاهدان Average amount of Zahedan wastewater	وضعیت پساب زاهدان Status of Zahedan wastewater
EC (dS/m)	0.7-3	2.4	مناسب Suitable
TDS	450-2000	1919.6	مناسب Suitable
SAR	0-9	7.63	مناسب Suitable

مطابق جدول ۳، مقدار مس در پساب شهر زاهدان مساوی 0.56 mg/l بوده که از حد مجاز (0.2 mg/l) بیشتر است. مطابق استاندارد انگلبرگ سوئیس (جدول ۲) مس از جمله فلزات سنگینی است که در غلظت 0.1 mg/l تا 1 mg/l در محلول‌های غذایی برای تعدادی از گیاهان مسموم‌کننده است. همچنین، در غلظت‌های بالا اثرات جانبی از قبیل کم‌خونی، صدمه به دستگاه گوارش، کلیه و کبد انسان دارد.

– مقدار جیوه نیز در جدول ۳ مساوی 0.004 mg/l است که از مقدار مجاز پیشنهاد شده (0.001 mg/l) بیشتر است. مطابق استاندارد انگلبرگ سوئیس (جدول ۲) مقادیر بالای جیوه (حداکثر مجاز ۲ میلی گرم بر لیتر) موجب آسیب به سیستم اعصاب مرکزی، کلیه و صدمات ذهنی در انسان می‌شود.

آلودگی فلزات سنگین نه تنها به‌طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت بیولوژیک و کاهش دستیابی زیستی مواد مغذی خاک تأثیر می‌گذارد، بلکه خطر جدی برای سلامتی انسان از طریق ورود در زنجیره غذایی و امنیت زیست‌محیطی از طریق نفوذ در آب زیرزمینی محسوب می‌شود (Metcaff and Eddy, 1991).

– مقدار اکسیژن محلول پساب زاهدان مطابق جدول ۳ از حد مجاز کمتر است و نشان‌دهنده وجود مواد آلی و میکروارگانیسم‌های زیاد در پساب است.

– مقدار TSS نیز مساوی $455/2 \text{ mg/l}$ و بسیار بیشتر از حد مجاز ($50-100 \text{ mg/l}$) است که بیانگر مقدار زیاد جامدات قابل ته‌نشینی در پساب مذکور است.

– مقدار سدیم نیز مساوی $15/95 \text{ mg/l}$ و بیش از حداکثر مجاز بوده و SAR ($7/63$) به مقدار حد اکثر مجاز نزدیک است که نشان‌دهنده شوری کلاس پساب است. از آنجایی که مقدار هدایت الکتریکی و مقدار جذب سدیم نسبت مستقیم دارند، بالا بودن مقدار جذب سدیم و مقدار املاح سدیم در آب باعث افزایش هدایت الکتریکی پساب شده است. زمانی که شوری زیاد می‌شود، نمک‌هایی مانند کلراید سدیم و بور (B) نیز برای گیاهان مسمومیت ایجاد می‌کنند.

مطابق جدول ۳، مقدار EC ($4/2 \text{ dS/m}$)، SAR ($7/63$)، TDS ($1919/6 \text{ mg/l}$) و pH ($7/76$) و در محدوده مجاز استاندارد پیشنهادی می‌باشد.

این در صورتی است که در مقایسه با استاندارد کشور استرالیا، همه پارامترهای پساب شهر زاهدان بجز کلراید (mg/l) $383/27$ در محدوده مجاز است. علاوه بر این، برای مصارف آبیاری، مقدار همه فلزات سنگین بجز مس 0.56 mg/l (حد مجاز 0.2 mg/l) و جیوه (0.004 mg/l) در محدوده مجاز است. مقدار سدیم ($15/95 \text{ mg/l}$) و TSS ($455/2 \text{ mg/l}$) بیش از حد مجاز همه استانداردها و استاندارد پیشنهادی می‌باشد و مقدار DO ($1/55 \text{ mg/l}$) از مقدار مجاز خارج است. مقدار پارامترهای EC ($2/4 \text{ dS/m}$)، SAR ($7/63$)، TDS ($1919/6 \text{ mg/l}$) و pH ($7/76$) در محدوده مجاز استاندارد پیشنهادی می‌باشد.

جدول ۴. ارزیابی وضعیت پساب تصفیه خانه اراک سال (۱۳۹۵) با استاندارد پیشنهادی تحقیق حاضر

Table 4. Evaluating the status of Arak wastewater treatment plant in 2016 with the proposed standard of this research

پارامتر Parameter (mg/l)	مقدار حد مجاز Limit value	مقدار میانگین پساب اراک Average amount of Arak wastewater	وضعیت پساب اراک Arak wastewater situation
آرسنیک Ar	0.1	0.0006	مناسب Suitable
کادمیم Cd	0.01-0.05	0.022	مناسب Suitable
کروم Cr	0.1-1	0.066	مناسب Suitable
جیوه Hg	0.001	0.0003	مناسب Suitable
منیزیم Mg	25-100	28.35	مناسب Suitable
سرب Pb	1	0.14	مناسب Suitable
BOD ₅	30-100	25.13	مناسب Suitable
تخم انگل Parasite eggs	1	0.45	مناسب Suitable
کلیفرم مدفوعی Gastrointestinal coliform	1000	1318.14	نامناسب Unsuitable
TSS	50-100	78.69	مناسب Suitable
pH	6-8.5	7.87	مناسب Suitable
کلسیم Ca	200-400	81.42	مناسب Suitable
نیترات NO ₃	5-30	8.71	مناسب Suitable
فسفات Phosphate	10	15.85	نامناسب Unsuitable
TDS	450-2000	677.36	مناسب Suitable

مطابق جدول ۴، در پساب تصفیه خانه اراک مقدار کلیفرم مدفوعی و فسفات بیشتر از مقدار مجاز می‌باشد. مقدار کلیفرم مدفوعی مساوی ۱۳۱۸/۴۴ میلی گرم بر لیتر بوده که از حد مجاز (۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) بیشتر است. تمام ارگانوسم‌های کلیفرم مدفوعی و کل کلیفرم‌ها برای آلودگی میکروبیولوژیک پساب، اغلب به‌عنوان شاخص استفاده می‌شوند. از تخم نماتدها به‌عنوان شاخصی برای استانداردهای بیولوژیک در استفاده از پساب در کشاورزی استفاده می‌شود. افزایش این پارامترها در پساب مخاطرات بهداشتی را برای سلامت کشاورزان بخصوص در آبیاری غرقابی و شیاری و سلامت گیاهان بخصوص در آبیاری قطره‌ای و بارانی ایجاد می‌کند. مطابق جدول ۴، مقدار فسفات نیز مساوی ۱۵/۸۵ میلی گرم در لیتر است که از مقدار

مجاز پیشنهاد شده (۱۰ میلی گرم در لیتر) بیشتر است. فسفات یکی از مواد مغذی موجود در پساب برای گیاهان است. اما مقدار زیاد مواد مغذی از قبیل نترات و فسفات باعث سوختن برگ گیاهان و اختلال در مراحل رشد گیاه می شود.

جدول ۵. ارزیابی وضعیت پساب تصفیه خانه زرگنده (تهران - سال ۱۳۹۷) با استاندارد پیشنهادی تحقیق حاضر

Table 5. Evaluation of the wastewater status of Zargandeh treatment plant (Tehran - 2018) with the standard proposed by the current research

پارامتر (mg/l) Parameter	مقدار حد مجاز limit value	مقدار میانگین پساب زرگنده Average amount of Zargandeh effluent	وضعیت پساب زرگنده Zargandeh wastewater situation
کلر آزاد Free chloride		1	مناسب suitable
BOD ₅	30-100	10	مناسب suitable
COD	120-200	22	مناسب suitable
DO	2	6	مناسب suitable
TSS	50-100	8	مناسب suitable
pH	6-8.5	7.5	مناسب suitable
کدورت (NTU)	50	5	مناسب suitable
کلیفرم گوارشی Gastrointestinal coliform	400	1.8	مناسب suitable
کل کلیفرم All coliform	1000	2	مناسب suitable
فسفات Phosphate	10	2	مناسب suitable
TDS	450-2000	300	مناسب suitable

پساب تصفیه خانه زرگنده از نظر پارامترهای شیمیایی، میکروبیولوژیک و بیولوژیک در حدود مجاز استاندارد پیشنهادی قرار دارد و از نظر مصارف آبیاری کشاورزی و فضای سبز محدودیتی ندارد.

بررسی داده های پساب تصفیه خانه زاهدان، اراک و زرگنده با شاخص ها و استانداردهای بین المللی و ملی زاهدان: با توجه به شاخص ویلکوکس، پساب شهر زاهدان از نظر نسبت جذب سدیم (SAR) در کلاس S1 با درجه خوب قرار داشته و از نظر هدایت الکتریکی (EC) در کلاس C4، درجه نامناسب و بسیار شور قرار دارد. با توجه به شاخص شولر، در پساب تصفیه خانه شهر زاهدان مقدار منیزیم (۴۷/۶۱ mg/l) و کلسیم (۰۵/۷۴ mg/l) در محدوده خوب، مقدار بی کربنات (۷۲/۲۵۹ mg/l) در محدوده قابل قبول و مقدار سدیم (۷۷/۳۶۶ mg/l)، کلراید (۲۷/۳۸۳ mg/l)، سولفات (۹۷/۴۵۵ mg/l) و سختی کل (TDS) (۶/۱۹۱۹ mg/l) در محدوده متوسط قرار دارد.

در مقایسه داده‌های پساب تصفیه‌خانه زاهدان با استانداردهای بین‌المللی و ملی استفاده شده، مقدار آرسنیک، کلسیم، کادمیوم، کبالت، (Cr^{+6}) کروم، نیکل، سرب و COD در حدود مجاز همه استانداردها قرار دارند. مقدار مس، جیوه، سدیم، DO و TSS متجاوز از حدود همه استانداردها است.

مقدار کلراید $(383/27 \text{ mg/l})$ فقط در محدوده مجاز استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران قرار دارد.

مقدار BOD_5 $(53/3 \text{ mg/l})$ در محدوده مجاز استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران و اردن بوده و از حد مجاز استانداردهای EPA، ایالت کنتاکی و قبرس بیشتر است.

مقدار pH $(7/76)$ به‌جز استاندارد ایالت کنتاکی در محدوده مجاز سایر استانداردها است.

مقدار EC $(2/4 \text{ dS/m})$ از استانداردهای WHO، FAO و EPA بیشتر و در حد مجاز کالیفرنیا و آیرز و وستکات است.

مقدار TDS $(1919/6 \text{ mg/l})$ از استانداردهای WHO و FAO بیشتر است. اما در محدوده مجاز استانداردهای کالیفرنیا، آیرز و وستکات و اردن است.

مقدار SAR $(7/63)$ از مقدار استانداردهای WHO، FAO و آیرز و وستکات بیشتر بوده اما در محدوده مجاز استانداردهای کالیفرنیا و اردن است.

در مقایسه خروجی پساب تصفیه‌خانه زاهدان با استانداردهای ملی و بین‌المللی استفاده از پساب برای آبیاری فضای سبز (جدول ۳) مقادیر پارامترهای مقدار BOD $(53/3 \text{ mg/l})$ ، TSS $(455/2 \text{ mg/l})$ ، کربنات (4 mg/l) ، بی‌کربنات (mg/l) TDS $(1919/6 \text{ mg/l})$ ، SAR $(7/63)$ و سدیم $(366/77 \text{ mg/l})$ از حدود مجاز استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران بالاتر است. اما در مقایسه با استاندارد کشور استرالیا، همه پارامترها به‌جز کلراید $(383/27 \text{ mg/l})$ در حد مجاز است. مقادیر pH $(7/76)$ و نیترات $(10/95 \text{ mg/l})$ در حدود مجاز استانداردها قرار دارند.

مقایسه مشخصات پساب تصفیه‌خانه زاهدان با استاندارد سازمان علمی و تحقیقات صنعتی استرالیا، در گروه پساب با خطر متوسط قرار می‌گیرد.

اراک: مقدار کل کلیرمها $(1318/44 \text{ ml در } 100 \text{ ml})$ و فسفات $(15/85 \text{ mg/l})$ در این پساب از حدود استاندارد پیشنهادی و سایر استانداردهای ملی و بین‌المللی خارج است که نشان‌دهنده تداخل فاضلاب خام شهری با پساب مذکور می‌باشد. زرگنده: مقادیر پارامترهای این پساب در محدوده مجاز استاندارد پیشنهادی و سایر استانداردها قرار دارد.

۴- نتیجه‌گیری

ایران با کمبود آب و کاهش منابع آب تجدیدشونده مواجه است و در این راستا متولیان امر، تصفیه و استفاده از پساب شهری و صنعتی و همچنین آب برگشتی را به‌عنوان منابعی جدید برای جبران بخشی از این کمبودها مورد توجه قرار داده‌اند. بررسی تجارب جهانی نشان می‌دهد که استفاده از پساب و آب‌برگشتی به‌عنوان یک منبع ارزشمند آب مطرح بوده و با گذشت زمان اهمیت آن بیشتر نیز خواهد شد. در صورت استفاده صحیح و رعایت استانداردها و ضوابط مربوط از اثرات سودمندی هم‌چون حفاظت کمی و کیفی از منابع آب، جلوگیری از آلودگی منابع آب، کاهش نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی، احیاء اراضی بیابانی، منافع اقتصادی و امکان استفاده در مصارف صنعتی برخوردار می‌باشد. یکی از ابعاد مهم در برنامه‌ریزی بهره‌برداری از پساب در نظر گرفتن مؤلفه‌هایی مانند اولویت بهره‌برداری از این منابع و میزان منابع آب برگشتی و پساب می‌باشد. همچنین، آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری در کشاورزی در مناطق درگیر با تنش و کمبود آب باعث کاهش فشار بر منابع آب موجود شده و اجازه می‌دهد تا منابع آب با کیفیت برای مصارف با اولویت بیشتر و توسعه زیرساخت‌های امنیت و سلامت اختصاص یابد. تحقیق حاضر با هدف ارائه استاندارد بومی کاربرد پساب در کشاورزی بر

مبنای مطالعه پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرهای زاهدان و اراک و زرگنده انجام شد. بسیاری از کشورهای در حال توسعه بر استفاده از محدودیت‌ها و ممنوعیت‌ها در مقررات خود تمرکز نموده‌اند. مشکلات مهم در نظارت بر استفاده از این ممنوعیت‌ها موجب شده است تا کشورهای بسیاری همچون مکزیک و تونس این دو رویکرد را با هم تلفیق نمایند. با عنایت به اینکه استاندارد پیشنهادی مقاله حاضر از بررسی و مقایسه همه استانداردهای ملی و بین‌المللی به‌دست آمده، لذا در این استانداردها جنبه‌های مختلف سلامت انسان، گیاه و خاک و همچنین جنبه‌های زیست‌محیطی در نظر گرفته شده است. مقادیر پارامترهای استاندارد پیشنهادی صیانت از جنبه‌های مذکور را در خود دارد. اما هیچیک از استانداردها همه جوانب را شامل نیستند. استاندارد کشور قبرس فقط جنبه‌های حفاظت و سلامت مصرف‌کنندگان (انسان) و محصولات تولیدی کشاورزی را در نظر گرفته است و از جنبه‌های محیط‌زیستی پساب (سلامت خاک و گیاه) غافل بوده است؛ در استاندارد سوئیس فقط برای فلزات سنگین و یون‌های سمی حدود مجاز تعریف شده است. در استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، جنبه‌های محافظت از محیط‌زیست به‌طور کامل در نظر گرفته نشده است. استاندارد پیشنهادی تحقیق حاضر نواقص استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران را به‌عنوان کامل‌ترین استاندارد در بین استانداردهای بررسی شده تکمیل نموده و همه جوانب حفاظت و سلامت آب، خاک، گیاه و انسان را شامل شده است. در استاندارد پیشنهادی، برای پارامترهای کلسیم، نیترات، فسفات، سدیم، EC، TDS، SS و SAR محدوده مجاز تعیین شد که قبلاً در استانداردهای ملی ایران تعریف نشده است. فسفر به شکل فسفات در پساب شهری یکی از عناصر مغذی مورد نیاز برای رشد گیاهان است. یکی از مهمترین مزایای کاربرد پساب برای آبیاری کشاورزی، کاهش نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی فسفات و ازته است. سدیم در استانداردهای EAP، WHO، دانشگاه کالیفرنیا، آیرز و وستکات و اردن تعریف شده است. چنانچه در فرآیند تبادل کاتیونی با ذرات خاک، کاتیون‌های یک ظرفیتی (به‌طور مشخص سدیم) غالب باشند، ساختمان خاک قوام خود را از دست داده و به راحتی متلاشی می‌شود. سدیم به دلیل اثراتش بر خاک، یکی از مهمترین کاتیون‌ها است. سدیم تبدلی، تمایل به پراکنش خاک داشته، باعث کاهش سرعت نفوذ آب و هوا در خاک می‌شود. (خاک‌های سدیمی: میزان $pH, ESP > 15, E_{ce} < 4 \text{ dS/m}$ معمولاً بین ۸/۵ تا ۱۰ است).

۵- سپاس‌گزاری

بدین وسیله از دانشگاه تهران، شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت‌های آب و فاضلاب اراک و زاهدان به‌دلیل تهیه امکانات و داده‌های لازم جهت انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه تشکر می‌شود.

۶- تعارض منافع

در این مقاله، تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

۷- مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این مقاله به شرح زیر است:

مشارکت صفورا علیزاده، انجام تحقیق، تهیه داده‌ها و تهیه مقاله.

مشارکت فاطمه آخونی پورحسینی، کنترل محاسبات، ویرایش مقاله.

مشارکت کیومرث ابراهیمی، ارائه ایده تحقیق، کنترل محاسبات و ویرایش مقاله.

۸- اصول اخلاقی

نویسندگان، اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها می‌باشد.

۹- مراجع

1. Alinejadian, A., Mohammadi, J. Karimi, A. and Nikokhah, F. (2018). The effect of urban wastewater irrigation on the accumulation of pollution indicator bacteria and some heavy metals in soil and plants. *Cellular and Molecular Research*, 26(4). [In Persian]
2. Chooan, Y., Khashei-Siuki, A. and Shahidi, A. (2018). Effect of treated wastewater on soil chemical properties under cotton cultivation. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, 3(2), 61-68. doi: 10.22112/jwwse.2018.126795.1078. [In Persian]
3. EPA. (1977). Process design manual for land treatment of municipal wastewater. Report 625/1-77-008. US Environment Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
4. FAO. (1988). Irrigation practice and water management. Doneen, L. D. and Westcott, D. W., Irrigation and Drainage, Paper 1, Rev. 1, FAO, Rome, 71 P.
5. Haji Namaki, S., Emami, H., Fatut, A. and Haqnia, Gh. (2015). Effects of long-term irrigation with Parkandabad wastewater treatment plant on some chemical and biological properties of soil. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 10(2), 208-220. <https://sid.ir/paper/131616/fa>. [In Persian]
6. Hassanoghli, A. and Farzamnia, M. (2023). Monitoring and investigation of water and effluent conditions in greenhouse desalination devices in Isfahan province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54(10), 1503-1520. doi: 10.22059/ijswr.2023.368658.669608. [In Persian]
7. Matin, A. (1994). Irrigation with urban sewage is a solution for water shortage. *Journal of Research and Construction*, 25. [In Persian]
8. Mazaheri, F., Mozaffari, J. and Nahvinia, M. J. (2019). Laboratory simulation of the effect of wastewater recharge on the transfer of phosphate contamination to aquifer (Case study: Arak Plain). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12(6), 1553-1562. [In Persian]
9. Metcalf and Eddy Inc. (1991). Wastewater Engineering Treatment, Disposal Reuse. 3rd Ed.
10. Mohammadi, P. (2019). A review of the standards and experiences of using wastewater. National Irrigation and Drainage Committee of Iran, Tehran. [In Persian]
11. Mohammadi Deylamani, M., Momen Zadeh, M., Hajipour, S. and Afshar Mohammadian, M. (2023). Refinement of urban wastewater using *Vetiveria zizanioides* L. and *Canna Indica* plants. *Iranian Water Researches Journal*, 16(4), 69-79. doi: 10.22034/iwrj.2022.14054.2451. [In Persian]
12. Mirzashahi, K., Bazargan, K. and Baghuri, A. (2014). Sewage and its use in agriculture. Soil and Water Research Institute, Technical Journal, 534. Tehran. [In Persian]
13. Najafpour, F., Soleimani Babrasad, M. and Danak, H. R. (2013). Investigating the reuse of wastewater treatment plant effluent and sludge in the green space of the city (Case study of Ahvaz sewage treatment plant). *Water Engineering Quarterly*, 136-142. [In Persian]
14. Rahimi, M., Ebrahimi, K., & Araghinejad, S. (2018). Introduction and Assessment of a New Effluents Usage Method. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(5), 963-974.
15. Shokri, M., Abtahi, S. H. and Etemadi, M. (2020). Environmental sustainability assessment by investigating the performance of urban water treatment plant. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(1), 146-155. [In Persian]
16. Taheriyoun, M., Alavi, V. and Ahmadi, A. (2016). Risk analysis of wastewater reuse in agriculture using Bayesian network. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 48(1), 101-109. doi: 10.22060/ceej.2016.372. [In Persian]
17. Vali, A., Barabadi, H. and Amirahmadi, A. (2015). Determining the cultivation pattern and evaluating the cultivated species with treated urban sewage for the restoration of desert lands (Case study: Sabzevar wastewater treatment plant). *Geographical Studies of Dry Areas*, 26(7). [In Persian]
18. Vice President of Strategic Planning and Supervision of the President. (2019). Environmental criteria for reuse of return water and waste water. Publication 535, Tehran. [In Persian]
19. WHO. (1989). Health guidelines for the use of wastewater in agriculture. Technical Report No. 778, WHO, Geneva, 74 P.
20. WHO. (1993). Guidelines for Drinking Water Quality. Vol. 1.
21. Yazdanbakhsh, A. R., Eslami, A. and Rezaei, S. (2016). Quality assessment of Tehran's Firoozabad Channel surface runoff for irrigation uses. *Journal of Behdasht Dar Arseh (Health in the Field)*, 3(3), 19-26. <https://doi.org/10.22037/jhf.v3i3.11551>. [In Persian]

22. Zolfaghary, P., Zakerinia, M. and Kazemi, H. (2020). Feasibility of unconventional water (municipal wastewater) consumption in agriculture using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(6), 1844-1857. [In Persian]