Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Spring 2024, Vol.2, No.1, pp 1-14

10.22077/JDCR.2023.6628.1035

Evaluating the Quality of Shiraz Wastewater Treatment Plant Effluent for Agricultural Uses in Drought Conditions Utilizing IRWQI, NSFWQI, and OWQI Indicators

Hanie Ghaedi[1], Mehdi Bahrami[2]*

1. MSc Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2. Associated Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran.

***Corresponding Author: bahrami@fasau.ac.ir**

Keywords:
Agriculture, Shiraz sewage treatment plant, Wastewater, Water quality, Water quality index.

Received:
30 July 2023

Revised:
19 September 2023

Accepted:
20 September 2023

Extended Abstract

Introduction

The utilization of non-conventional water sources, such as saline water, drainage, and sewage, has proven to be highly effective in managing droughts given the limitations of the country's water resources. The primary advantage of utilizing effluent from urban wastewater treatment plants is the stability of these sources, their accessibility, and their low cost for irrigating agricultural lands, which ultimately addresses the issue of water scarcity. Studies have shown that using sewage for irrigation doesn't harm agricultural products. However, some long-term studies have reported contamination with heavy metals and a decrease in soil quality in the irrigated area due to sewage irrigation. Water quality indices are an effective and straightforward method of assessing the condition and status of water. These indicators use multiple water quality parameters to determine the water's health through a mathematical formula, producing a single numerical value. The value is then classified on a relative scale from poor to excellent, making it useful for managing, analyzing, and monitoring water quality changes over time and space.

Materials and Methods

In this study, the quality of Shiraz urban sewage treatment plant effluent was evaluated for agricultural purposes by calculating the Iranian water quality index (IRWQI), National Sanitation Foundation of America water quality index (NSFWQI), and the Oregon water quality index (OWQI) using daily data from 2018 to 2019. The wastewater treatment plant in Shiraz City is situated on 72-hectares of land in the southeast region of the city. The plant currently serves a population of 409,000 people, and it is expected to cater for a final population of 584,000 people. The transmission lines discharge an average of 1360 l/s, with a maximum discharge of 2600 l/s. Nine parameters were selected to calculate the NSFWQI index, including turbidity,

How to cite this article:
Ghaedi, H., & Bahrami, M. (2024). Evaluating the Quality of Shiraz Wastewater Treatment Plant Effluent for Agricultural Uses in Drought Conditions Utilizing IRWQI, NSFWQI, and OWQI Indicators. Journal of Drought and Climate change Research, 2(1), 105-118. 10.22077/JDCR.2023.6628.1035

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of *Drought and Climate change Research* (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

temperature, phosphate, nitrate, coliform, biological oxygen demand (BOD), total dissolved solids (TDS), dissolved oxygen (DO), and PH. The OWQI quality index is similar to the NSFWQI index but includes eight parameters: temperature, dissolved oxygen, biological oxygen demand, PH, nitrogen, total phosphorus, total dissolved solids, and fecal coliform.

Results and Discussion

The analysis of the average quality parameters obtained from the relevant tests conducted by Shiraz Water and Sewerage Company indicates that the biological oxygen demand (BOD) concentration was consistently above 30 mg/L in all months. According to the standard, since the sub-index met a minimum value of 2, its changes did not affect the water quality index. The PH level was appropriate throughout all seasons, and it did not vary significantly. Therefore, it did not play a significant role in determining the water quality index. On the other hand, the total dissolved solids concentration exceeded 500 mg/L in all seasons, and the sub-index met a minimum value of 20. Thus, its changes also did not affect the water quality index. Also, the results showed that the average NSFWQI values varied between 28.73 and 31.54 in different months, indicating poor quality. The monthly OWQI values ranged from 4.38 to 7.95, indicating very poor quality. The IRWQI index, which was calculated using 11 parameters, confirms the results of the other two indices. By using a combination of treated wastewater and high-quality water, we can irrigate our crops while reducing the amount of freshwater we use. This can be done directly using treated wastewater or by improving its quality through drip irrigation and subsurface irrigation systems.

Conclusion

The results of the studied indices revealed that the effluent of the Shiraz wastewater treatment plant is of poor quality. Therefore, given the low quality of the effluent, it is recommended for use only in irrigating non-productive plants, forest parks around Shiraz, and a limited part of urban green space.

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم

دوره دوم، شماره یک، پیاپی ۵، بهار ۱۴۰۳، صفحات ۱۴ - ۱

doi 10.22077/JDCR.2023.6628.1035

ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر شیراز جهت استفاده مجدد در بخش کشاورزی در شرایط خشکسالی با استفاده از شاخص‌های IQWRI، IQWFSN و IQWO

هانیه قائدی[۱]، مهدی بهرامی[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران.

*نویسنده مسئول: bahrami@fasau.ac.ir

واژه‌های کلیدی:
پساب، تصفیه‌خانه فاضلاب شیراز، شاخص کیفیت آب، کشاورزی، کیفیت آب.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۵/۰۸

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۲/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۷/۰۸

چکیده

استفاده از آب‌های نامتعارف از جمله آب‌های شور، زه‌آب‌ها و پساب با توجه به محدودیت‌های منابع آبی کشور در مدیریت خشکسالی بسیار مؤثر است. مهم‌ترین مزیت استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های شهری، ثابت بودن این منابع، سهولت دسترسی و قیمت ارزان آن برای آبیاری زمین‌های کشاورزی یا به بیان دیگر حل مشکل کمبود آب می‌باشد. در این پژوهش شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI)، شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت آمریکا (NSFWQI) و شاخص کیفیت آب اورگان (OWQI) با استفاده از داده‌های روزانه تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شیراز طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ محاسبه گردید و کیفیت پساب خروجی برای مصارف کشاورزی مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نظر افراد متخصص نه پارامتر کدورت، دما، فسفات، نیترات، کلیفرم، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)، مواد جامد کل (TDS)، اکسیژن محلول (DO) و pH جهت محاسبه شاخص NSFWQI برای تصفیه‌خانه شهر شیراز انتخاب گردید. شاخص کیفی OWQI همانند شاخص NSFWQI است با این تفاوت که حاوی هشت پارامتر شامل دما، اکسیژن محلول، اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی، pH، نیتروژن، فسفر کل، کل جامدات محلول و کلیفرم مدفوعی می‌باشد. نتایج نشان داد مقادیر میانگین شاخص NSFWQI در ماه‌های مختلف بین ۲۸/۷۳ تا ۳۱/۵۴ بود که در طبقه کیفیت ضعیف قرار می‌گیرد. همچنین بر اساس مقادیر OWQI ماهانه که در بازه ۴/۳۸ تا ۷/۹۵ قرار می‌گیرد کیفیت این پساب خیلی ضعیف است. شاخص IRWQI نیز که با استفاده از ۱۱ پارامتر محاسبه گردید مؤید نتایج دو شاخص دیگر است. پساب با چنین کیفیتی را می‌توان صرفاً برای آبیاری گیاهان غیرمثمر و پارک‌های جنگلی اطراف شیراز و حتی قسمتی از فضای سبز شهری به‌کار برد.

مقدمه

رشد جمعیت و صنعتی شدن جامعه جهانی از یک سو و گسترش خشکسالی حاصل از تغییرات آب و هوایی از سوی دیگر مهم‌ترین متغیرهای محدود کننده منابع آب به‌منظور امنیت تولیدات غذایی در کشورهای در حال توسعه واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آیند (Faramarzi, 2010). بر اساس مطالعات انجام گرفته توسط موسسه بین‌المللی مدیریت آب، ایران در سال ۲۰۲۵ بر اثر رشد جمعیت و توسعه کشاورزی صنعت و نیز توسعه شهرنشینی جزء کشورهای دارای کمبود فیزیکی آب دسته‌بندی خواهد شد (Ehsani, 2005). در حال حاضر حدود ۹۳ درصد از کل آب مصرفی ایران صرف آبیاری حدود ۸/۵ میلیون هکتار از اراضی زراعی شده و سهم بخش شرب و صنعت به ترتیب ۵/۸ و۱/۲ درصد می‌باشد. پتانسیل خانگی تولید در سطح کشور بر اساس آخرین سرشماری رسمی کشور به تفکیک شهری، روستایی و کل به ترتیب معادل ۳۶۷۰، ۷۲۷ و ۴۴۰۰ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد (Khosravi and Dehzad, 2013). با توجه به محدودیت‌های منابع آبی کشور، استفاده از آب‌های نامتعارف شامل آب‌های شور، زهاب‌ها و فاضلاب‌های تصفیه شده در مدیریت خشکسالی بسیار مؤثر است و یکی از راه‌های توسعه بخش کشاورزی و صنعتی محسوب می‌گردد (Rohani Shahraki et al., 2005). استفاده مجدد از فاضلاب موضوع جدیدی نیست زیرا حدود ۹۹/۹ درصد فاضلاب را آب تشکیل می‌دهد و ۰/۱ درصد باقی‌مانده فاضلاب از مواد آلی و معدنی معلق و یا محلول تشکیل شده است (Tchobanoglus et al., 2003).

در حال حاضر در سطح کشور به‌ویژه در حواشی شهرهای بزرگ و مراکز استان‌ها مناطق وسیعی با پساب‌ها، آب‌های برگشتی و رواناب‌های شهری آبیاری می‌شوند. در بیشتر مواقع این استفاده غیراصولی بوده و برای کشت سبزیجات و صیفی‌جات به‌کار رفته و موجب آلودگی محیط زیست، تجمع آلودگی در خاک و انتقال آن به محصولات تولیدی شده است. با توجه به میزان استقبال و همچنین نیاز به استفاده از پساب‌ها و آب‌های برگشتی در کشاورزی، در حال حاضر بیشتر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در سطح کشور با هدف استفاده مجدد از پساب حاصل در کشاورزی، طراحی و اجرا می‌گردند. با وجود قدمت استفاده از فاضلاب در کشور، تحقیقات در زمینه اثرات مربوطه در یکی دو دهه اخیر آغاز شده است (Khosravi and Dehzad, 2013). سابقه استفاده از پساب در ایران به عهد صفویه (۱۷۲۲-۱۵۰۱ میلادی) برمی‌گردد، به‌طوری که در اصفهان فاضلاب بسیاری از خانه‌های قدیمی شهر به نهرهایی موسوم به مادی تخلیه می‌شد که این نهرها برای آبیاری زمین‌های کشاورزی به‌کار می‌رفته‌اند (Mohammadi, 2008). مهم‌ترین مزیت استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های شهری به‌شمار آمدن آن به‌عنوان یک منبع ثابت، در دسترس بودن و قیمت ارزان برای آبیاری زمین‌های کشاورزی یا به بیان دیگر حل مشکل کمبود آب می‌باشد. از دیگر مزایای استفاده مجدد از پساب می‌توان به امکان بازیابی مواد مغذی موجود در پساب و کاهش استفاده از کودها و رفع مشکلات مربوط به دفع پساب و شارژ مجدد آب‌های زیرزمینی اشاره کرد (Heidarpour et al., 2007).

طبق مطالعات صورت گرفته، آبیاری با پساب تأثیر منفی بر محصولات مختلف کشاورزی ندارد اما در برخی مطالعات که به بررسی آثار بلندمدت آبیاری با پساب در خاک پرداخته شده است آلودگی به فلزات سنگین و کاهش کیفیت خاک محل تحت آبیاری گزارش گردیده است. از سوی دیگر استفاده از پساب جهت آبیاری به‌دلیل وجود پاتوژن‌ها می‌تواند موجب افزایش مخاطرات بهداشتی و ریسک ابتلا به عفونت‌های روده شود. بدین ترتیب به منظور جلوگیری از اثرات مخرب بهداشتی و زیست محیطی، بررسی کیفی پساب قبل از استفاده مجدد ضروری است (Al-Lahham et al., 2003). ناصری و همکاران (Nasseri et al., 2012) در بررسی کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اردبیل به منظور استفاده مجدد در کشاورزی به این نتیجه رسیدند که این پساب بجز از نظر کلیفرم‌های کل و مدفوعی محدودیتی برای استفاده در کشاورزی ندارد. گندزدایی پساب و پایش مداوم خروجی تصفیه‌خانه از نظر برآوردن استاندارد

استفاده از پساب در کشاورزی و همچنین ارتقاء تصفیه‌خانه فوق ضروری می‌باشد. انبیر و نوری (Anbir and Noori, 2018) نیز نشان دادند که کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه اکباتان از نظر همه پارامترها در مقایسه با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست مطابقت دارد و این پساب قابلیت استفاده در آبیاری فضای سبز و کشاورزی را دارا می‌باشد.

تلاش برای طبقه‌بندی آب بر اساس درجه خلوص آن به اواسط قرن بیستم برمی‌گردد. کیفیت آب در هر محل منعکس‌کننده‌ی اثر عوامل مختلف مانند پارامترهای زمین‌شناسی، شرایط اقلیمی و منابع آلاینده انسانی می‌باشد. پایش کیفیت منابع آب اغلب موجب تولید داده‌های پیچیده‌ای می‌شود که حاوی اطلاعات غنی درباره رفتار منابع می‌باشد که نیاز به روش‌هایی برای تحلیل و تفسیر دارند. در این میان طبقه‌بندی، تحلیل آماری داده‌ها و شبیه‌سازی از مهم‌ترین بخش‌های ارزیابی کیفیت آب می‌باشند. به دلیل اینکه اندازه‌گیری کل پارامترهای کیفی آب مشکل است و یا به عبارتی وقت‌گیر و هزینه‌بر است، از شاخص کیفیت آب استفاده می‌شود. همچنین مقایسه مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده با مقادیر استاندارد آب‌ها یک روش قدیمی و ساده بوده که نمی‌تواند یک تصویر جامع و قابل فهم برای عموم از وضعیت کیفیت آب در منطقه‌ای خاص را نشان دهد. شاخص‌ها ابزاری مناسب و ساده برای تعیین وضعیت و شرایط کیفیت آب هستند که در آن داده‌های چند پارامتر کیفی آب در یک فرمول ریاضی گنجانده می‌شود و با یک عدد میزان سلامت آب را نشان می‌دهد. این عدد با یک مقیاس نسبی که گویای کیفیت آب از بسیار بد تا عالی است، دسته‌بندی می‌شود تا برای مدیریت و تحلیل کیفیت آب و همچنین پایش تغییرات کیفی آب در طول زمان و مکان مورد استفاده قرار گیرند. به‌طور کلی شاخص‌های کیفیت آب به پنج گروه اصلی تقسیم می‌شوند (Meftah Halaghi, 2011; Ensink et al., 2005):

الف) شاخص‌های عمومی: در این نوع شاخص‌ها طبقه‌بندی کیفی آب صرف نظر از نوع مصرف آن صورت می‌گیرد.

ب) شاخص مصارف ویژه: در این شاخص طبقه‌بندی کیفیت بر اساس نوع مصرف صورت می‌گیرد.

ج) شاخص‌های طراحی: ابزاری پویا که کمک به سنجش تصمیمی برای برنامه‌ریزی آبی می‌باشد.

د) شاخص‌های آماری: در این شاخص‌ها از روش‌های آماری استفاده شده و نظرهای شخصی کمتر در آن وارد می‌شود.

ه) شاخص‌های بیولوژیکی: این نوع شاخص‌ها عموماً کیفیت آب را بر اساس تأثیرات آن بر حیات ارزیابی می‌کند.

به عنوان مثال آقاجانلو و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از شاخص‌های IRWQI و WAWQI (Weighted arithmetic water quality index) کیفیت آب رودخانه کارون را در دو ایستگاه ملاثانی و اهواز مورد ارزیابی قرار دادند (Aghajanloo et al., 2022). همچنین عین‌الهی پیر و همکاران(Einollahipeer et al., 2020) کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان زابل در استان سیستان و بلوچستان را بر اساس استانداردهای مربوطه تعیین نمودند و امکان کاربری پساب تصفیه شده در کشاورزی و آبزی‌پروری را با استفاده از مدل CWQI (Canadian water quality index) مورد بررسی قرار دادند.

لذا هدف این پژوهش، بررسی قابلیت استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده شیراز در مصارف کشاورزی با استفاده از شاخص‌های کیفیت منابع آب ایران (IRWQI)، کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت آمریکا (NSFWQI) و کیفیت آب اورگان (OWQI) در بازه ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تصفیه‌خانه فاضلاب شهر شیراز در ناحیه جنوب شرقی شهر شیراز در زمینی به مساحت ۷۲ هکتار واقع شده است (شکل ۱). جمعیت تحت پوشش فعلی این تصفیه خانه ۴۰۹۰۰۰ نفر می‌باشد و پیش‌بینی می‌شود جمعیت تحت پوشش نهایی آن به ۵۸۴۰۰۰ نفر برسد. متوسط و حداکثر دبی خطوط انتقال در این تصفیه‌خانه به ترتیب ۱۳۶۰ و ۲۶۰۰ لیتر در ثانیه می‌باشد. نوع سیستم تصفیه فاضلاب این تصفیه‌خانه لجن فعال می‌باشد و شامل واحدهای آشغالگیر،

تەنشینی اولیه، سلکتور، حوضچه هوادهی، حوضچه تەنشینی ثانویه و واحد کلرزنی می‌باشد (Jahed et al., 2013). در این پژوهش برای محاسبه شاخص‌های کیفی از پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط شرکت آب و فاضلاب شیراز طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ استفاده گردید.

شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig 1. Geographical location map of Case Study

شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت آمریکا (NSFWQI)

براون و همکاران (Brown et al., 1970) با حمایت مؤسسه ملی بهداشت آمریکا، این شاخص کیفی کاهشی را بر اساس نظرسنجی از تعداد زیادی از افراد متخصص با تخصص‌های گوناگون در این زمینه ارائه نمودند که در حال حاضر یکی از شاخص‌های پرکاربرد جهت طبقه‌بندی کیفیت آب‌ها می‌باشد. ایشان در ابتدا حدود ۳۵ پارامتر آلودگی را مطرح کردند و سپس بر اساس نظر افراد متخصص نه پارامتر کدورت، دما، فسفات، نیترات، کلیفرم، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)، کل مواد جامد (TDS)، اکسیژن محلول (DO) و pH را برای محاسبه شاخص اصلی انتخاب کردند. در این شاخص، برای منظور کردن میزان اثر هر پارامتر به هر یک از آن‌ها یک وزن یا ارزش عددی نسبت داده می‌شود که در جدول (۱) آمده است (Brown et al., 1970; Shamsaei et al., 2005).

جدول ۱. فاکتورهای وزنی مربوط به پارامترهای مورد استفاده در شاخص NSFWQI

Table 1. Weighting factors related to the parameters used in the NSFWQI index

پارامتر Parameter	اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی Biological oxygen demand	اکسیژن محلول Dissolved oxygen	فسفات کل Total Phosphates	کلیفرم Coliform	کدورت Turbidity	تغییرات دما Temperature changes	نیترات Nitrate	کل مواد جامد Total dissolved solids	pH
وزن Weight	0.11	0.17	0.1	0.16	0.08	0.1	0.1	0.07	0.11

سپس با استفاده از رابطه زیر، شاخص NSFWQI محاسبه می‌گردد:

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^{n} W_i I_i \quad (۱)$$

که در این رابطه n تعداد پارامترها، I_i زیر شاخص پارامتر iام و W_i ضریب وزنی پارامتر iام می‌باشد.

برای به‌دست آوردن زیر شاخص‌ها می‌توان از نمودارهای تهیه شده توسط مؤسسه بهداشت آمریکا (Kharake and Raut, 2021) استفاده کرد. کیفیت آب بر اساس مقدار این شاخص که از صفر تا صد متغیر است در جدول (۲) طبقه بندی شده است.

جدول ۲. توصیف کیفی آب بر اساس شاخص NSFWQI

Table 2. Water quality description based on NSFWQI index

کیفیت Quality	NSFWQI	مورد استفاده Application
عالی Excellent	91-100	دارای حالت طبیعی، در صورت استفاده از آن جهت تأمین آب شرب نیاز به تصفیه ندارد، مناسب برای پرورش شیلات و گونه‌های حساس. When used for drinking water, no purification is necessary. It's also suitable for breeding fisheries and sensitive species.
خوب Good	71-90	در صورت استفاده از آن جهت تأمین آب شرب نیازمند تصفیه متداول است، مناسب برای پرورش ماهی و گونه‌های حساس آبی، مناسب برای مقاصد تفریحی چون شنا. If the water is intended for drinking, it must be regularly purified, while also being suitable for aquatic life and recreational activities such as swimming.
متوسط Medium	51-70	در صورت استفاده از آن جهت تأمین آب شرب نیازمند تصفیه پیشرفته است، مناسب برای پرورش شیلات و گونه‌های مقاوم آبی، مناسب برای آب شرب حیوانات اهلی. If the water will be used for drinking, it must undergo advanced purification and be suitable for raising fish and water-resistant species as well as domestic animals.
ضعیف Poor	26-50	مناسب برای آبیاری اراضی کشاورزی. Suitable for irrigation of agricultural land.
خیلی ضعیف Very poor	0-25	برای هیچ کدام از استفاده‌های مذکور مناسب نمی‌باشد و تنها توانایی حمایت تعداد محدودی از اشکال آبزیان وجود دارد. It is not suitable for any of the above-mentioned uses, and there is only the ability to support a limited number of aquatic forms.

شاخص کیفیت آب اورگان (OWQI)

شاخص کیفی OWQI برای اولین بار در ایالت اورگان آمریکا توسط یک گروه بررسی‌کننده‌ی مسائل کیفی محیط زیست در سال ۱۹۷۹ جهت ارزیابی شرایط و روند کیفی آب ارائه گردید. در این شاخص که به صورت کاهشی می‌باشد، هر یک از پارامترهای هشت‌گانه (دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیولوژیکی، خاصیت اسیدی، نیتروژن، فسفر کل، کل جامدات محلول و کلیفرم مدفوعی) فاقد ضریب وزنی بوده و دارای اثر یکسانی در مقدار نهایی شاخص می‌باشند. سادگی و در دسترس بودن پارامترهای کیفی مورد نیاز (هشت پارامتر) و تعیین زیر شاخص‌ها با استفاده از نمودار و یا روابط تحلیلی از مزایای این روش است (Cude, 2001; Rahnama and Sayari, 2016). رابطه کلی برای محاسبه شاخص OWQI به‌صورت زیر می‌باشد:

$$OWQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (۲)$$

که در آن n تعداد زیر شاخص‌ها و SI_i زیر شاخص پارامتر iام می‌باشد که از جداول موجود در منابع پیشین استخراج گردید (Cude, 2001). جدول (۳) بیانگر توصیف آب بر اساس مقادیر عددی شاخص OWQI می‌باشد که بین صفر تا صد متغیر است.

شاخص کیفیت منابع آب ایران (IRWQI)

این شاخص بر اساس متداول‌ترین پارامترهای کیفیت منابع آب ایران و از طرف سازمان حفاظت محیط

جدول ۳. توصیف کیفی آب بر اساس شاخص OWQI

Table 3. Water quality description based on OWQI index

مقدار شاخص Index quantity	90-100	85-89	80-84	61-79	0-60
کیفیت آب Water quality	عالی Excellent	خوب Good	متوسط Medium	ضعیف Poor	خیلی ضعیف Very poor

زیست ایران ارائه شده است (Aghajanloo et al., 2022). در این روش وزن نسبی پارامترهای فیزیکوشیمیایی مطابق جدول (۴) تعیین می‌شود. پس از تعیین وزن پارامترها، مقدار شاخص IRWQI با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Hashemi et al., 2011):

$$IRWQI = \left[\prod_{i=1}^{N} I_i^{W_i}\right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (۳)$$

که در آن W_i وزن پارامتر iام (جدول ۴)، N تعداد پارامترها و I_i مقدار شاخص برای پارامتر iام می‌باشد. در نهایت با استفاده از مقدار شاخص IRWQI و کلاس‌بندی ارائه شده در جدول (۴) می‌توان کیفیت آب و یا پساب را ارزیابی نمود.

جدول ۴. وزن نسبی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی در روش IRWQI (Hashemi et al., 2011)

Table 4. Relative weight of physicochemical and microbial parameters in IRWQI method (Hashemi et al., 2011)

پارامتر Parameter	%DO	BOD	COD	pH	نیترات Nitrate	آمونیوم Ammonium	کدورت Turbidity	فسفات Phosphate	سختی کل Total hardness	EC	FC
وزن Weight	0.097	0.117	0.093	0.051	0.108	0.090	0.062	0.087	0.059	0.096	0.140

مقدار شاخص عددی Index quantity	رده‌بندی کیفی Qualitative classification
<15	خیلی بد Very bad
15-29.9	بد Bad
30-44.9	به نسبت بد Relatively bad
45-55	متوسط Medium
55.1-70	به نسبت خوب Relatively good
70.1-85	خوب Good
>85	بسیار خوب Very good

شاخص IRWQI
IRWQI Index

نتایج و بحث

بررسی میانگین پارامترهای کیفی به‌دست آمده از آزمایشات مربوطه توسط شرکت آب و فاضلاب شیراز (جدول ۵) نشان می‌دهد که در همه‌ی ماه‌ها غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی بیشتر از ۳۰ mg/L بوده و مطابق استاندارد، حداقل مقدار زیرشاخص ۲ برای آن منظور می‌گردد و در نتیجه تغییرات آن تأثیری بر تغییر شاخص کیفیت آب نداشته است (Aslhashemi and Taghipour, 2010). pH در همه فصول در حد مناسب بوده و تغییر چندانی نداشته و در نتیجه نقش مهمی در تعیین شاخص کیفیت آب ندارد. میزان کل جامدات نیز در همه فصول بیش از ۵۰۰ mg/L بوده و مطابق استاندارد، حداقل مقدار زیرشاخص ۲۰ برای آن منظور می‌گردد و در نتیجه تغییرات آن نیز تأثیری بر

تغییر شاخص کیفیت آب نداشته است. کدورت پساب به‌دلیل بارش‌های پراکنده و نیز تغییر الگوی مصرف مردم در فصل‌های مختلف، تغییرات زیادی داشته و از روند خاصی پیروی نمی‌کند. در فصول بهار و تابستان شرایط محیط برای رشد میکروب‌های پاتوژن انسانی مناسب بوده و تعداد کلیفرم‌های مدفوعی افزایش می‌یابد. درصد اکسیژن محلول اشباع در فصول گرم کاهش می‌یابد که از عوامل اصلی کاهش شاخص کیفیت آب در نیمه اول سال می‌باشد. به‌طور کلی روند تغییرات پارامترهای کیفی پساب به‌گونه‌ای است که مقدار شاخص‌های کیفیت آب در نیمه دوم سال بیشتر شده و نشان‌دهنده‌ی کیفیت بهتر پساب در فصول تر سال است.

جدول ۵. میانگین پارامترهای کیفی در پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شیراز طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸

Table 5. The average quality parameters in the effluent of the Shiraz treatment plant during the 2018-2019

TP (mg/L)	TKN (mg/L)	FC	DO (mg/L)	کدورت (NTU)	NO_3 (mg/L)	TDS (mg/L)	PO_4 (mg/L)	ΔT (°C)	pH	BOD (mg/L)	ماه Month
4.70	48.00	864.50	3.00	6.35	17.50	934.40	4.10	20.40	7.35	38.75	فروردین Mar-Apr
5.40	51.70	864.50	3.00	4.80	16.25	941.90	5.70	22.25	7.25	37.95	اردیبهشت Apr-May
5.50	49.70	864.50	2.55	7.25	16.75	928.00	5.90	24.05	7.20	35.30	خرداد May-Jun
5.90	48.50	864.50	2.50	5.30	17.00	919.65	5.80	25.75	7.20	39.15	تیر Jun-Jul
7.50	48.00	864.50	2.20	4.60	17.00	943.15	5.55	25.90	7.40	37.00	مرداد Jul-Aug
6.50	51.70	864.50	2.40	5.25	12.50	948.00	6.75	25.90	7.55	38.55	شهریور Aug-Sep
7.10	53.10	377.90	2.60	7.45	12.00	934.25	7.40	24.65	7.50	36.30	مهر Sep-Oct
8.40	50.60	377.90	2.70	5.75	12.50	843.20	5.60	21.85	7.40	34.60	آبان Oct-Nov
8.60	52.90	377.90	3.25	4.60	14.15	834.05	6.05	20.05	7.35	34.70	اذر Nov-Dec
9.30	52.40	377.90	3.35	5.50	16.85	880.00	7.00	18.65	7.35	35.40	دی Dec-Jan
10.40	51.30	377.90	4.10	5.90	16.80	918.15	7.30	17.95	7.40	30.40	بهمن Jan-Feb
9.30	48.30	377.90	3.30	6.20	16.75	894.15	6.45	19.35	7.30	32.35	اسفند Feb-Mar

مقادیر میانگین شاخص NSFWQI در ماه‌های مختلف بین ۲۸/۷۳ تا ۳۱/۵۴ می‌باشد که در طبقه کیفیت ضعیف قرار می‌گیرد (جدول ۶ و شکل ۲). پساب با چنین کیفیتی برای آبیاری اراضی کشاورزی مناسب است. به بیان دیگر کیفیت این پساب برای مقاصد تفریحی، پرورش شیلات و شرب حیوانات اهلی مناسب نیست. بهرامی و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای به ارزیابی کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شیراز برای مصارف مختلف پرداختند. نتایج نشان داد کیفیت پساب خروجی فقط بر اساس

استاندارد سازمان محیط زیست ایران برای اهداف کشاورزی مناسب است و از نظر سایر استانداردها قابلیت چنین استفاده‌ای را ندارد. این پساب را می‌توان برای آبیاری درختان میوه زینتی، محصولات علوفه‌ای، درختان و فضای سبز کنار جاده‌های خارج از شهر، محصولات زراعی، صنعتی و جنگلی و نیز شرب دام و طیور به کار برد. اما برای آبیاری فضای سبز شهری، پرورش ماهی، تخلیه به آب‌های سطحی (مانند دریاچه مهارلو در مجاورت تصفیه‌خانه) و نیز تغذیه آب زیرزمینی محدودیت‌هایی دارد، هر چند برخی از این محدودیت‌ها را می‌توان با ارتقاء کارکرد تصفیه‌خانه رفع نموده و پساب را برای این اهداف نیز استفاده کرد (Bahrami et al., 2023). با آبیاری گیاهان غیرمثمر و پارک‌های جنگلی اطراف شیراز و حتی قسمتی از فضای سبز شهری می‌توان فشار بر منابع آب را تا حد زیادی کاهش داد. از طرف دیگر، استمرار آبیاری با این پساب که حاوی مواد آلی و مغذی به نسبت زیادی است، افزایش نیترات خاک را سبب شده و امکان شستشو و انتقال آن به منابع آب سطحی و زیرزمینی وجود خواهد داشت.

همچنین بر اساس مقادیر OWQI ماهانه که در بازه ۴/۳۸ تا ۷/۹۵ قرار می‌گیرد کیفیت این پساب خیلی ضعیف است (جدول ۶ و شکل ۲) که مؤید نتایج حاصل از شاخص NSFWQI و مطالعات پیشین است.

جدول ۶. مقادیر شاخص‌های NSFWQI، OWQI و IRWQI پساب خروجی ایستگاه تصفیه فاضلاب شیراز

Table 6. Values of NSFWQI, OWQI and IRWQI of the Shiraz wastewater treatment plant's effluent

ماه Month	فروردین Mar-Apr	اردیبهشت Apr-May	خرداد May-Jun	تیر Jun-Jul	مرداد Jul-Aug	شهریور Aug-Sep	مهر Sep-Oct	آبان Oct-Nov	آذر Nov-Dec	دی Dec-Jan	بهمن Jan-Feb	اسفند Feb-Mar
NSFWQI	29.93	29.72	29.00	28.73	29.29	29.83	30.87	31.54	31.54	31.14	31.11	30.76
OWQI	4.38	5.33	5.29	5.04	4.93	5.46	5.92	6.08	6.69	7.03	7.95	7.08
IRWQI	11.4	12.2	13.0	10.6	12.9	12.0	13.2	15.4	14.1	13.0	14.3	13.9

مقدار میانگین شاخص IRWQI در بازه مورد مطالعه بین ۱۰/۶ تا ۱۵/۴ است که پساب را در رده خیلی بد قرار می‌دهد. ترکیب این پساب با آب با کیفیت مناسب جهت استفاده در آبیاری محصولات کشاورزی منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب شیرین می‌گردد. به عنوان مثال می‌توان پساب را به صورت مستقیم یا پس از بهبود کیفیت، از طریق سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و آبیاری زیرسطحی استفاده نمود.

از انواع گیاهان قابل آبیاری با پساب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- گیاهان مقاوم به کیفیت پایین آب: برخی از گیاهان مانند بعضی از رقم‌های گندم، جو، گیاهان علوفه‌ای و برخی از درختان میوه.

۲- گیاهان شورزی: برخی از گیاهان مانند گونه‌هایی از گیاهان نمک‌دوست و گیاهانی مانند گلرنگ و حنا که مقاوم به شوری هستند.

۳- گیاهان تصفیه‌کننده آب: برخی از گیاهان مانند بامیه، شبدر، کنگر فرنگی و سوسن برای تصفیه آب و کاهش آلودگی‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گیاهان می‌توانند در سیستم‌های تصفیه آب با استفاده از پساب نقش مؤثری ایفا کنند.

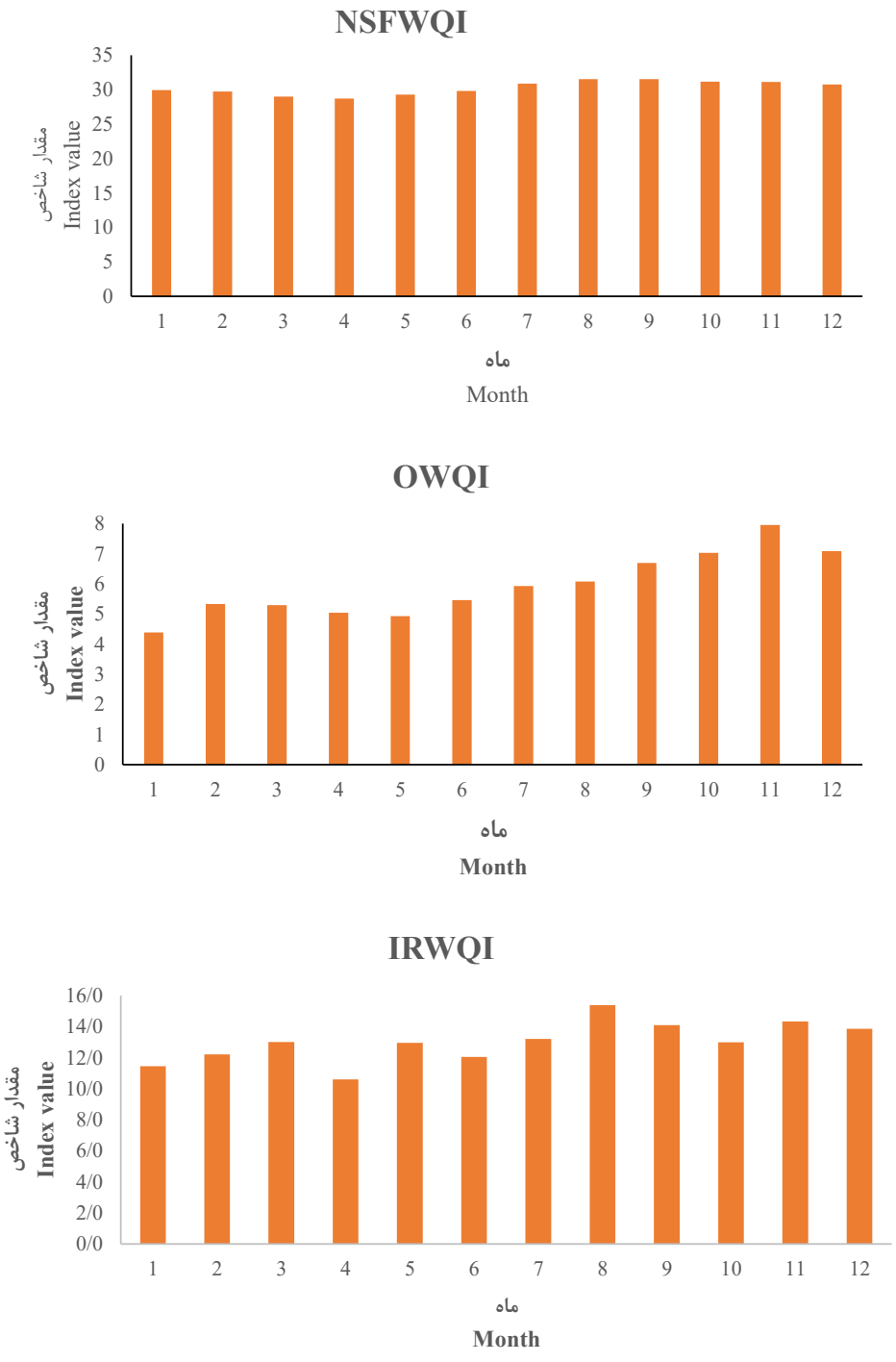
۴- گیاهان رطوبت‌دوست: مانند بعضی از گونه‌های گیاهان خزه‌ای مانند پونه و خزه که رطوبت‌پذیری بالایی دارند و می‌توانند با آب پساب سازگاری داشته باشند.

۵- گیاهان دارویی: برخی از گیاهان دارویی مانند آویشن، نعناع، زیره سبز و گل گاوزبان می‌توانند با استفاده از آب پساب کشت شوند. این گیاهان علاوه بر آبیاری با کمترین نیاز به آبیاری تکمیلی، می‌توانند محصولات دارویی با کیفیت بالا تولید کنند.

۶- گیاهان زینتی: برخی از گیاهان زینتی مثل گل‌های باغی، گل‌های آپارتمانی و گیاهان سبز داخلی می‌توانند با پساب آبیاری شوند. این گیاهان معمولاً نسبت به کیفیت آب حساسیت کمتری دارند و ممکن است با استفاده از پساب تغذیه و رشد خوبی داشته باشند.

به طور کلی، احتمالاً استفاده از پساب در آبیاری کشاورزی و فضای سبز با کاهش آلودگی‌های میکروبی

پساب و رعایت استانداردهای زیست محیطی کشور و با مطالعات جامع در خصوص ویژگی‌های خاک منطقه، نوع محصولات مورد کشت و ارزیابی غلظت دیگر آلاینده‌های موجود در فاضلاب صنعتی، تحت شرایط کنترل شده و تحت نظارت سازمان‌های مربوطه طی دوره‌های مشخص می‌تواند مورد بهره‌برداری قرار گیرد (Emamjomeh et al., 2017).



شکل ۲. تغییرات شاخص‌های کیفیت آب پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شیراز در طول سال

Fig 2. Changes in the quality indices of Shiraz wastewater treatment plant during the year

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با استفاده از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و با محاسبه شاخص‌های کیفیت آب IRWQI، NSFWQI و OWQI به بررسی کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر شیراز جهت مصارف کشاورزی پرداخته است. نتایج شاخص NSFWQI نشان داد که پساب خروجی از کیفیت ضعیفی برخوردار است و صرفاً برای آبیاری اراضی کشاورزی مناسب می‌باشد. نتایج شاخص OWQI نیز بیانگر کیفیت خیلی ضعیف فاضلاب تصفیه شده شیراز است. یکی از اشکالات این شاخص این است که هر یک از پارامترهای هشت‌گانه فاقد ضریب وزنی بوده و اثر یکسانی در محاسبه شاخص نهایی دارند. با توجه به تأثیر یکسان پارامترها، کم بودن مقدار یک یا دو زیرشاخص منجر به افت شدید شاخص نهایی می‌شود. در نتیجه، در این روش پارامترهای با ارزش کم و پارامترهای با ارزش بالا به یک مقدار روی عدد نهایی شاخص تأثیر دارند. مقدار میانگین شاخص IRWQI نیز نشان‌دهنده‌ی رده خیلی بد پساب است. علاوه بر قابلیت استفاده این پساب در آبیاری گیاهان زینتی و غیرمثمر، می‌توان آن را با آب با کیفیت مناسب ترکیب نمود و در آبیاری محصولات کشاورزی استفاده کرد.

منابع

Aghajanloo, K., Hajizadeh, E. & Ariaeezadeh, S. (2022). Evaluation of Karun River Water Quality Based on IRWQI and WAWQI Indicators in Molasani and Ahvaz Stations, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(2), 367-380. doi: 10.22059/ijswr.2022.333148.669115 [In Persian] DOI: 10.22059/ijswr.2022.333148.669115

Al-Lahham, O., El Assi, N.M. & Fayyad, M. (2003). Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit, *Agricultural Water Management*, 61(1), 51-62. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00173-7

Anbir, L. & Noori, Z. (2018). Investigation of Effluent Quality of Ekbatan Wastewater Treatment Plant for Farm and Green Space Irrigation, *Journal of Land Management*, 6(1), 95-102. [In Persian] https://sid.ir/paper/267749/en

Aslhashemi, A. & Taghipour, H. (2010). Water Quality Index, *The Application of Chemistry in Environment*, 1(4), 1-5. [In Persian] https://sid.ir/paper/236291/en

Bahrami, A., Ahadi, F., Bahrami, M. & Aghamir, F. (2023). Qualitative assessment of Shiraz wastewater treatment plant effluent for different purposes, *Environmental Sciences*, 21(2), 29-48. [In Persian]. DOI: 10.52547/envs.2023.1151

Brown, R.M., McLelland, N.I., Deininger, R.A. & Tozer, R.G. (1970). A Water Quality Index – Do we dare? Water & Sewage Works. 339-343. https://www.scribd.com/document/389699238/A-Water-Quality-Index-Do-we-dare-BROWN-R-M-1970

Cude, C. G. (2001). Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness 1, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(1), 125-137. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb05480.x

Ehsani, M. (2005). A vision on water resources situation, irrigation and agriculture production in Iran, ICID European Regional Conference.

Einollahipeer, F., Ghaffari, M. & Dahmardeh Behrooz, R. (2020). Evaluation of Urban Wastewater with CWQI Model for agriculture and aquaculture reuse (case study in Zabol, Sistan and Baluchestan, Iran), *Journal of Animal Environment*, 12(4), 581-592. [In Persian]. https://civilica.com/doc/1302764

Emamjomeh, M. M., Tari, K., Jamali, H. A., Karyab, H. & Hosseinkhani, M. (2017). Quality assessment of wastewater treatment plant effluents for discharge into the environment

Science, 11(6), 101. https://doi.org/10.1007/s13201-021-01432-2

Khosravi, B. & Dehzad, B. (2013). Managing the use of purified urban wastewater for agricultural purposes, The First National Conference of IRANs Environmental Research. [In Persian]. https://civilica.com/doc/238321/

Meftah Halaghi, M. (2011). Use of Different Water Quality Indexes for Purification of Water, Case Study; Atrak river, *Journal of Water and Soil Conservation*, 18(2), 211-220. [In Persian]. https://jwsc.gau.ac.ir/article_35.html

Mohammadi, P. (2008). A review on standards and experiences of using wastewaters effluents for irrigation. 1st ed. 2008, Tehran: Iranian national committee on irrigation and drainage 45. [In Persian]

Nasseri, S., Sadeghi, T., Vaezi, F. & Naddafi, K. (2012). Quality of Ardabil wastewater treatment plant effluent for reuse in agriculture, *Journal of Health*, 3(3), 73-80. [In Persian]. https://sid.ir/paper/404001/fa

Rahnama, S. & Sayari, N. (2015). Introduction of water quality indices for the classification and use of non-conventional waters in different sectors, Second National Congress of Irrigation and Drainage of Iran, Isfahan. [In Persian]. https://civilica.com/doc/555062

Rohani Shahraki, F., Mahdavi, R., & Rezaee, M. (2005). Effect of Irrigation with Wastewater on Certain Soil Physical and Chemical properties, *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab*, *16*(1), 23-29. [In Persian]. https://www.wwjournal.ir/article_2081.html

Shamsaei, A., Oreei Zareh, S. & Sarang, A. (2005). The comparison of water indices and zoning quality in Karoon and Dez rivers, *Water and Wastewater*, 16(3 (55)), 39-48. [In Persian].

and reuse, *Journal of Mazandaran university of medical sciences*, 26(145), 283-292. [In Persian]. https://www.magiran.com/p1653881

Ensink, J.H., van der Hoek, W., Mukhtar, M., Tahir, Z. & Amerasinghe, F.P. (2005). High risk of hookworm infection among wastewater farmers in Pakistan, *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 99(11), 809-818. https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2005.01.005

Faramarzi, M. (2010). Assessment of regional water endowments, crop water productivity, and implications for intra-country virtual water trade in Iran (Doctoral dissertation, ETH Zurich). https://cms.eas.ualberta.ca/faramarzilab/wp-content/uploads/sites/14/2018/05/faramarzi_phd-dissertation.pdf

Hashemi, S.H., Farzampour, T., Ramezani, S. & Khoshro, Gh. (2011). Guideline for calculating the quality index of Iran's water resources, Iranian Department of Environment. [In Persian]. https://qualityindex.in/water_model/iranian-water-quality-index/

Heidarpour, M., Mostafazadeh-Fard, B., Koupai, J.A. & Malekian, R. (2007). The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods, *Agricultural water management*, 90(1-2), 87-94. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.02.009

Jahed, B., Naseri, S., Khalili Naji, F. & Khatibi, M. Sh. (2013). Evaluating the quality of the wastewater treatment plant outflow in Shiraz for reuse in irrigation using the CWQI model, The 16th National Environmental Health Conference of Iran, Tabriz. [In Persian]. https://civilica.com/doc/237552

Kharake, A. C. & Raut, V. S. (2021). An assessment of water quality index of Godavari river water in Nashik city, Maharashtra. *Applied Water*

https://sid.ir/paper/103990/en

Tchobanoglus, G., Burton, F. & Stensel, H.D. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse, *American Water Works Association Journal*, 95(5), 201. https://www.proquest.com