

Comparative investigation of the effluent quality of Bandar Gaz and Bandar Torkaman treatment plants

Mojtaba G. Mahmoodlu^{1*} , Mostafa Raghimi² , Masumeh Farasati¹ 

¹ Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Golestan, Iran.

² Department of Geology, Faculty of Sciences. Education, Golestan University, Gorgan, Golestan, Iran

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Objective: Proper treatment of urban wastewater and monitoring the quality parameters of wastewater treatment plant effluent are essential and play an important role in environmental protection. Therefore, this study aimed to evaluate the effluent quality of two wastewater treatment plants in Bandar Gaz and Bandar Turkmen, located in western Golestan Province. Methods: In this study, the concentrations of qualitative parameters including temperature, pH, BOD, COD, EC, nitrate, total suspended solids (TSS), total solids (TS), turbidity, total phosphorus, dissolved oxygen (DO), fecal coliform, and total coliform, along with discharge as a quantitative parameter, were evaluated in the effluent of the Bandar Gaz and Bandar Turkmen wastewater treatment plants during the 1400–1401 water year. The Catalan Water Agency Water Quality Index (ISQA), BOD/COD ratio, and pollutant removal efficiency were then assessed based on existing standards. Results and Discussion: The results showed that turbidity, total coliform, and BOD levels in the Bandar Gaz wastewater treatment plant were significantly higher than those in Bandar Turkmen. The BOD/COD ratio in the influent of both treatment plants was approximately 0.6, indicating that the wastewater could be effectively treated using biological methods. However, the BOD/COD ratio in the effluent was less than 0.3. The highest removal efficiencies were observed for TSS and BOD, respectively. In addition, the removal efficiency of most parameters in the Bandar Turkmen treatment plant was higher than that in the Bandar Gaz treatment plant, except for COD. The ISQA results indicated improved effluent quality after treatment, although the final effluent quality of both treatment plants remained in the relatively poor category. Conclusion: The results showed that microbial contamination in the effluent of the Bandar Gaz treatment plant was higher than that of the Bandar Turkmen treatment plant. The removal efficiency results also indicated that parameter removal rates in the Bandar Turkmen treatment plant (except COD) were higher than those in the Bandar
Article history: Received 30 April 2026 Revised 04 July 2026 Accepted 27 August 2026 Published online 23 September 2026	
Keywords: Treatment Plant Effluent Pollution Removal Percentage ISQA Water Quality Index	

*Corresponding author, Email: m.g.mahmoodlu@gmail.com

Cite this article: G. Mahmoodlu, M., Raghimi, M., & Farasati, M. (2026). Comparative investigation of the effluent quality of Bandar Gaz and Bandar Torkaman treatment plants. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 5(3), 1-20. <http://doi.org/10.22034/nawee.2024.454832.1074>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/nawee.2024.454832.1074>

Publisher: Gonbad Kavous University.

Introduction

Currently, untreated urban wastewater is considered one of the most significant sources of environmental pollution in Iran and many developing countries. The common practice of using inadequately treated urban wastewater for agricultural purposes or discharging it into surface water bodies can lead to serious health and environmental hazards. Therefore, proper treatment of urban wastewater plays a crucial role in preserving the environment. Furthermore, the appropriate reuse of treated effluent in agricultural and industrial sectors can significantly help address the country's water scarcity issue, which currently receives insufficient attention. Hence, the present research was conducted on comparative investigation of effluent quality of two water treatment plants, Bandar Gaz and Bandar Torkaman, in the west of Golestan province.

Methodology

This study conducted monthly monitoring of effluent from the Bandar Gaz and Bandar Torkaman wastewater treatment plants during the 2021-2022 hydrological year, focusing on qualitative parameters (temperature, pH, BOD, COD, EC, nitrate, suspended and total solids, turbidity, total phosphorus, dissolved oxygen, and coliforms) and the quantitative parameter (flow rate). Sampling involved both field measurements and laboratory analyses based on standard methods at the Golestan Province Water and Wastewater Laboratory. Data analysis included comparing results with surface water standards, assessing influent and effluent quality using the Catalonia Water Quality Index (ISQA), evaluating the biodegradability of organic matter via the BOD/COD ratio, and calculating the removal percentage of parameters to determine treatment efficiency, with all calculations performed in Excel.

Results

The effluent volume produced in the Bandar Gaz wastewater treatment plant (2.3 million m³) was higher than that of the Bandar Torkaman plant (2.1 million m³), with peak production occurring in March for both facilities. Regarding water quality, parameters indicating microbial and organic pollution (turbidity, nitrate, BOD, and total coliform) were significantly higher in Bandar Gaz, whereas total solids and electrical conductivity (EC) were higher in Bandar Torkaman. Comparison with standards revealed that BOD levels in Bandar Gaz exceeded the permissible limits for discharge into surface waters and infiltration wells, whereas levels in Bandar Torkaman were closer to these standards; however, BOD in both plants was deemed safe for agricultural use. COD concentrations in both plants were lower than discharge standards (particularly EPA limits), and pH values remained within the acceptable range for all cited standards. Nitrate levels in both plants were approximately 10 mg/L, which is suitable for surface waters and WHO/EPA standards but borderline for infiltration wells. EC levels in both plants were significantly higher than WHO, EPA, and FAO standards, while turbidity, despite meeting domestic standards, exceeded EPA limits. The BOD/COD ratio in the influent was approximately 0.6, indicating that biological treatment methods are effective for degradable pollutants. However, this ratio dropped to below 0.3 in the effluent, suggesting limited potential for further biological degradation post-treatment. In terms of treatment performance, Bandar Torkaman demonstrated higher removal efficiencies for TSS (87.7%) and BOD compared to Bandar Gaz (85.5%). The lowest removal rates were observed for EC in Bandar Gaz (5.57%) and for COD in Bandar Torkaman. Overall, the removal efficiency of parameters in Bandar Torkaman was higher than in Bandar Gaz, with the exception of COD.

Conclusion

A comparative analysis of the two wastewater treatment plants reveals that Bandar Torkaman demonstrated superior performance with higher removal efficiencies for TSS (87.7%) and BOD compared to Bandar Gaz (85.5%). However, the effluent from both facilities faced significant quality limitations. While COD and pH levels remained within acceptable discharge standards, and the influent BOD/COD ratio (0.6) indicated effective biological treatment potential, this ratio dropped to below 0.3 in the effluent, suggesting limited further biodegradability. The primary challenge for both plants was the high concentration of EC and BOD—particularly in Bandar Gaz, where BOD exceeded permissible limits for discharge into surface waters—which hindered compliance with stringent EPA and WHO standards for direct environmental discharge or infiltration wells. Nevertheless, the effluent from both plants was considered safe for agricultural use based on BOD levels, although careful monitoring is required due to borderline nitrate levels and high EC.

Author Contributions

Mojtaba G. Mahmoodlu: data collection and interpretation, writing the main draft, modeling, conceptualization, revising and editing the manuscript, Mostafa Raghimi: conceptualization and revising the manuscript. Masoumeh Farasati: conceptualization and revising the manuscript.

Data Availability Statement

The data supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Acknowledgements

The authors would like to thank Gonbad Kavous University for supporting this research. The authors also thank the anonymous reviewers for their valuable suggestions and comments during the revision of the manuscript.

Ethical Considerations

The authors confirm that they have avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and any other form of research misconduct.

Funding

This study has been undertaken as a part of the project entitled “Comparative investigation of the effluent quality of Bandar Gaz and Bandar Torkaman treatment plants” [grant numbers 6.02.95 dated 11 March 2024].

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



بررسی مقایسه‌ای کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرترکمن

مجتبی قره‌محمودلو^{۱*}، مصطفی رقیمی^۲، معصومه فراستی^۱

^۱ گروه آموزشی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، گلستان، ایران.

^۲ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گلستان، گرگان، گلستان، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	هدف: تصفیه صحیح فاضلاب‌های شهری و پایش پارامترهای کیفی پساب تصفیه‌خانه‌ها امری بسیار مهم و ضروری است و می‌تواند نقش مهمی در حفاظت از محیط زیست داشته باشد. از این رو پژوهش حاضر به منظور بررسی کیفیت پساب خروجی دو تصفیه‌خانه بندرگز و بندرترکمن در غرب استان گلستان انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰	مواد و روش‌ها: در این پژوهش از غلظت ۱۱ پارامتر کیفی شامل دما، pH، BOD، COD، EC، نیترات، کل جامدات معلق (TSS)، کل جامدات، کدورت، فسفر کل، اکسیژن محلول، کلیفرم گرم‌پا و کلیفرم کل به همراه دبی به‌عنوان پارامتر کمی در پساب خروجی دو تصفیه‌خانه بندرگز و بندرترکمن و در سال آبی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ استفاده شد. سپس با استفاده از استانداردهای موجود، شاخص کیفیت آب آژانس کاتالان ISQA، نسبت BOD/COD و درصد بازده حذف پساب دو تصفیه‌خانه بررسی شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۱۳	نتایج و بحث: نتایج نشان داد که میزان کدورت، کلیفرم کل و BOD تصفیه‌خانه فاضلاب بندرگز بسیار بیشتر از شهر بندرترکمن است. همچنین نسبت BOD/COD در پساب ورودی در هر دو تصفیه‌خانه حدود ۰/۶ است. بنابراین، پساب هر دو تصفیه‌خانه را می‌توان به راحتی با استفاده از روش‌های بیولوژیکی تجزیه کرد. با این حال، نسبت BOD/COD در پساب خروجی کمتر از ۰/۳ است. نتایج میزان حذف نشان داد که بیشترین میزان حذف به ترتیب مربوط به TSS و BOD است. همچنین میزان حذف پارامترها در تصفیه‌خانه بندرترکمن به جز COD بیشتر از تصفیه‌خانه بندرگز است. نتایج حاصل از شاخص کیفیت آب ISQA نشان از بهبود کیفیت آب پساب خروجی بعد عمل تصفیه دارد. اگرچه پساب خروجی در هر دو تصفیه‌خانه در رده نسبتاً ضعیف قرار می‌گیرد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۵	نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که میزان آلودگی میکروبی پساب تصفیه‌خانه بندرگز از تصفیه‌خانه بندرترکمن بیشتر است. نتایج راندمان حذف نشان داد که میزان حذف پارامترها در تصفیه‌خانه بندرترکمن (به جز COD) بیشتر از تصفیه‌خانه بندرگز است.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱	
کلیدواژه‌ها:	
تصفیه‌خانه	
پساب	
آلودگی	
درصد حذف	
شاخص کیفیت آب ISQA	

* نویسنده مسئول، Email: m.g.mahmoodlu@gmail.com

استناد: قره‌محمودلو، م.، رقیمی، م.، فراستی، م. (۱۴۰۵). بررسی مقایسه‌ای کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرترکمن. *رویکردهای نوین در*

<http://doi.org/10.22034/nawee.2024.454832.1074>

مهندسی آب و محیط زیست، ۵ (۳)، ۱-۲۰.

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه گنبد کاووس.



مقدمه

فاضلاب آب مصرف شده توسط انسان که پس از مصرف با انواع مواد آلاینده جامد، گاز و مایع ترکیب شده باشد. به عبارت دیگر، فاضلاب آب مصرف شده‌ای است که خواص فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی آن تا حدی تغییر کرده است. در مقابل پساب به آبی اطلاق می‌شود که پس از مراحل مختلف تصفیه در تصفیه‌خانه، کیفیت آن تغییر کرده باشد (کاکاوندی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Mara, 2004). فاضلاب ممکن است شامل انواع آلاینده‌های معدنی، آلی و سمی مقاوم به تصفیه باشد که با ورود آن به محیط زیست و تماس با منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و خاک‌ها، آلودگی را به دنبال دارد و در صورت استفاده انسان از این منابع، خطر گسترش بیماری‌های مختلف افزایش خواهد یافت. این عوامل علاوه بر خطرهای مستقیمی که بر بهداشت عمومی دارند نتایجی از قبیل ایجاد مناطق با چشم‌انداز نامناسب، تولید بوهای ناخوشایند و افزایش جمعیت حشرات ناقل مانند پشه‌ها و مگس‌ها را نیز به همراه خواهند داشت. اما با استفاده مجدداً از فاضلاب تصفیه شده شده در کشاورزی علاوه بر کاهش این خطرات می‌توان در مصرف آب شیرین نیز صرفه‌جویی کرد و همچنین مواد کودی موجود در پساب‌ها، باعث حاصل‌خیزی زمین‌های کشاورزی می‌شود که در نهایت صرفه اقتصادی را در پی‌خود داشت (کاکاوندی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Tchobanoglous et al, 2004).

امروزه فاضلاب‌های تصفیه نشده شهری به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی زیست محیطی در ایران و بسیاری از کشورهای جهان سوم محسوب می‌شود. استفاده از فاضلاب‌های تصفیه نشده شهری و یا خوب تصفیه نشده در بخش کشاورزی و یا تخلیه آنها به آب‌های سطحی که امروزه امری متداول در کشور ما بوده، می‌تواند مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی زیادی را به دنبال داشته باشد. از اینرو تصفیه صحیح فاضلاب‌های شهری می‌تواند نقش مهمی در سالم نگهداشتن محیط زیست داشته باشد (کاکاوندی و همکاران، ۱۳۹۱؛ عابدی کویایی و همکاران، ۱۴۰۱). از طرفی استفاده صحیح آنها در بخش‌های کشاورزی و صنعت، می‌تواند کمک فراوانی به بحث کمبود آب در کشور کند که امروزه توجهی به آن نمی‌شود.

شناخت درست و تعیین میزان پارامترهای کیفی پساب تصفیه‌خانه‌ها بسیار مهم و ضروری است از این‌رو مطالعات زیادی در این زمینه در داخل و خارج کشور انجام شده است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود. کاکاوندی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی به بررسی مقایسه‌ای کیفیت پساب خروجی سه تصفیه‌خانه فاضلاب صاحبقرانی، اکباتان و جنوب شهر تهران پرداختند. در این پژوهش از هر تصفیه‌خانه سه بار نمونه‌برداری انجام شد. برخی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی را نظیر کلیفرم مدفوعی، pH، DO، BOD، COD، کلراید، فسفات، نیتрат را اندازه‌گیری کردند. مقایسه نتایج این مطالعه با استانداردهای مربوط به فاضلاب خروجی نشان داد که میانگین نیترات و کلیفرم مدفوعی در هر سه تصفیه‌خانه بالاتر از حد مجاز می‌باشد. با این وجود غلظت BOD و COD فقط در تصفیه‌خانه جنوب تهران بالاتر از حد استاندارد می‌باشد. در نهایت به این نتیجه رسیدن که کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های صاحبقرانی و اکباتان بهتر از تصفیه‌خانه جنوب تهران می‌باشد.

هاشم‌پور و مرتضی‌زاده (۱۳۹۹) به ارزیابی تغییرات پارامترهای کیفی آب در فرایندهای مختلف تصفیه‌خانه آب سطحی در تصفیه‌خانه آب تهران پارس پرداختند. در این پژوهش در مدت ۳۰ ماه، به شکل هفتگی نمونه‌برداری از آب واحدهای مختلف تصفیه‌خانه تهران پارس (نظیر پیش‌کلرزی، پولساتور، فیلتراسیون و کلرزی نهایی) انجام شد. نتایج نشان داد که تصفیه‌خانه آب تهران پارس از راندمان قابل‌ملاحظه‌ای در کاهش میزان کدورت برخوردار است. فرآیندهای پیش‌کلرزی و کلرزی نهایی بیشترین اثر را بر کاهش غلظت DOC داشته که این امر به دلیل میل ترکیبی بالای ترکیبات آلی با کلر و تشکیل ترکیبات جانبی حاصل از گندزدایی است. بنابراین، پیش‌ازنرزی به عنوان یک راهکار در جهت کاهش تولید این ترکیبات آلی خطرناک به جای پیش‌کلرزی توصیه می‌شود.

در تحقیقی بهرامی و همکاران (۱۴۰۲) به ارزیابی کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شیراز برای مصارف مختلف پرداختند. در این راستا، ابتدا مقادیر پارامترهای مختلف فیزیکوشیمیایی از جمله اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، کل مواد جامد معلق، کل جامدات فرار، کل جامدات، اکسیژن خواهی شیمیایی، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، کدورت، اکسیژن

محلول و غیره در فاضلاب خام و پساب خروجی تعیین گردید. سپس علاوه بر مقایسه مقادیر این متغیرها با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران، راندمان‌های حذف این پارامترها محاسبه گردید و در نهایت کیفیت پساب خروجی برای به کارگیری در بخش‌های مختلف بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که کیفیت پساب خروجی فقط براساس استاندارد سازمان محیط زیست ایران برای اهداف کشاورزی مناسب است. 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.

در پژوهشی که برای ارزیابی میزان بهینه مصرف کلر در گندزدایی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اراک انجام شد، تأثیر شرایط فصلی و پارامترهای کیفی فاضلاب بر مصرف کلر و تولید تری‌هالومتان‌ها بررسی گردید. با توجه به خطرات سلامتی ناشی از ترکیب کلر با مواد آلی، این مطالعه به دنبال یافتن نقطه بهینه مصرف کلر بود. نتایج تحلیل آماری (همبستگی پیرسون) نشان داد که مصرف کلر همبستگی معناداری با بار میکروبی (کلیفرم) دارد و تحت تأثیر دما تغییر می‌کند؛ به‌طوری‌که در فصول گرم افزایش و در فصول سرد کاهش می‌یابد. یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که نقطه بهینه مصرف کلر در شرایطی با غلظت بالای کلیفرم (بین ۱۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ کیلوگرم) قابل دستیابی است (احمدلو و خانی‌تملیه، ۱۴۰۳).

Iloms et al (2020) در پژوهشی غلظت پارامترهای فیزیکوشیمیایی به همراه فلزات سنگین را در پنج فاضلاب صنعتی مختلف، ورودی و پساب تصفیه‌خانه فاضلاب و همچنین نمونه‌های آب رودخانه را در سال ۲۰۱۷ بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بین پساب صنایع در حوضه آبریز رودخانه وال و خروجی حاصل از تصفیه‌خانه همبستگی وجود دارد. بطوریکه پساب صنعتی به طور قابل توجهی بر کیفیت خروجی فاضلاب تخلیه شده به رودخانه تأثیر می‌گذارد. علاوه براین، نتایج نشان داد که نوع صنعت و فعالیت انجام شده در آن بر pH و ترکیب عناصر پساب تأثیر گذار است. همچنین در این مطالعه مشخص شد که تصفیه‌خانه نمی‌تواند جریان فاضلاب دریافتی را با کیفیت قابل قبولی تصفیه کند.

Al-Jasser (۲۰۱۱) در پژوهشی استانداردهای استفاده مجدد از فاضلاب عربستان سعودی را برای آبیاری کشاورزی با تأکید بر پساب تصفیه‌خانه‌های ریاض بررسی کرد. در این پژوهش کیفیت پساب شش تصفیه‌خانه بزرگ فاضلاب در شهر ریاض به مدت ۱۰ ماه پایش شد. نتایج این پژوهش نشان داد که کیفیت پساب این تصفیه‌خانه‌ها با استانداردهای کشور مطابقت دارد. همچنین تمام گیاهانی که در تولید آنها از پساب تصفیه‌خانه‌ها استفاده شده بود از کیفیت قابل قبولی برخوردار بودند و کیفیت آب آنها تنها محدودیت جزئی از حد استاندارد برای آب آبیاری را داشت.

در پژوهشی Xu et al (2019) به بررسی و مقدار حذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در شهر چنگ‌ژو چین پرداختند. بدین منظور، فراوانی، اندازه، شکل و رنگ میکروپلاستیک‌ها در پساب بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که در بیش از ۹۰ درصد تصفیه‌خانه‌ها میزان حذف میکروپلاستیک‌ها بیش از ۹۷ درصد بوده است. براساس اندازه میکروپلاستیک‌ها به چهار دسته تقسیم شدن که بالاترین فراوانی مربوط به ذرات بین ۰/۱-۰/۵ میلی‌متر می‌باشد. اشکال فیبری شکل بیشترین فراوانی را در بین دیگر شکل ذرات به خود اختصاص داده‌است.

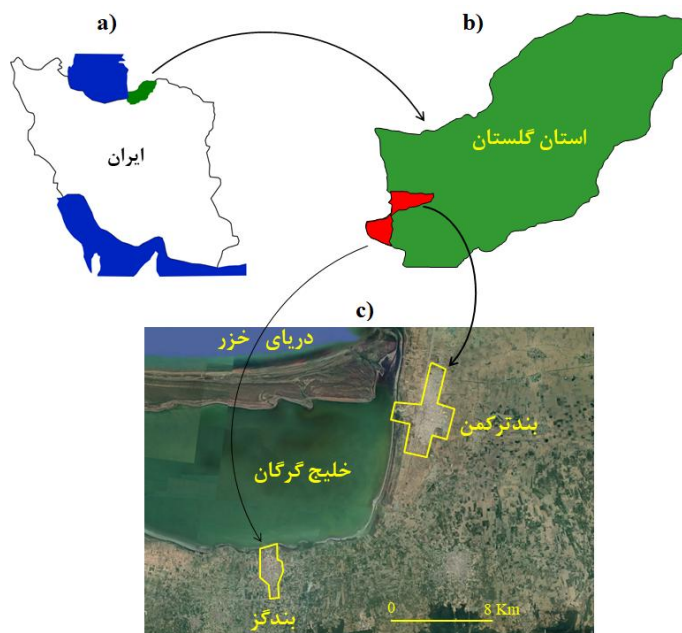
در پی کاهش شدید منابع آبی زیرزمینی و آب سطحی در ایران و در اکثر کشورهای دنیا، تصفیه پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی و بررسی پتانسیل استفاده از آنها در بخش‌های مختلف نظیر، کشاورزی، شهری (آبیاری فضای سبز شهری و غیره) می‌تواند راه‌حل مناسبی برای کاهش استرس بیشتر بر آبخوان‌های کشور در نتیجه برداشت بیرویه از آب آنها باشد. از این‌رو، مطالعه حاضر به منظور بررسی مقایسه‌ای کیفیت پساب خروجی دو تصفیه‌خانه بندرگز و بندرترکمن انجام شد. اهداف اصلی این مطالعه: (۱) مقایسه پارامترهای کیفی پساب تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرترکمن با استانداردهای ملی و خارجی کیفیت آب و (۲) طبقه‌بندی پساب تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرترکمن در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت مناطق مورد مطالعه

شهرستان ترکمن با وسعت ۲۹۵ کیلومتر مربع و جمعیتی در حدود ۷۹۹۷۸ نفر در بخش شمال غربی استان که از شمال به کشور ترکمنستان، از جنوب به شهرستان کردکوی، از شرق به شهرستان آق‌قلا و از غرب به دریای خزر و خلیج گرگان محدود می‌شود (اجزاء شکوهی و همکاران، ۱۳۹۳). شهر بندرترکمن به عنوان یکی از بزرگترین بنادر شمالی ایران در ساحل جنوب شرقی دریای خزر و در جلگه پست و هموار خزری در حدود ۴۰ کیلومتری شمال غربی مرکز استان گلستان (گرگان) واقع شده است. این شهر دارای مختصات ۴۵ درجه و ۴ دقیقه ۱۵ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۳ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی می‌باشد. گسترش این شهر در امتداد ساحل به طول تقریبی ۶/۵ کیلومتر می‌باشد. ارتفاع این شهر ۲۰ متر پایین‌تر از سطح دریاهای آزاد و ۶/۵ متر بالاتر از آب دریای خزر و مدخل خلیج گرگان می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه این شهر در حدود ۵۵۰ میلی‌متر در سال می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). شهر بندرترکمن به عنوان یک شهر ساحلی، در کنار فعالیت‌های شیلاتی و بندری دارای جاذبه‌های گردشگری نظیر جزیره آشوراده در شبه‌جزیره میانکاله، مسابقات اسبدوانی و تالاب گمیشان می‌باشد (اجزاء شکوهی و همکاران، ۱۳۹۳).

شهرستان بندرگز با مساحت ۲۴۰ کیلومتر مربع واقع در غرب استان گلستان در فاصله ۴۲ کیلومتری از شهر گرگان واقع شده است (شکل ۱). این شهر از شرق به کردکوی، از شمال به خلیج گرگان و شبه‌جزیره میانکاله در دریای خزر، از غرب به بهشهر و گلوگاه و از جنوب به نواحی جنگلی رشته کوه البرز محدود شده است. این شهر در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه و ۳۶ درجه و ۷/۳۸ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. شهر بندرگز در سال ۱۳۹۵ دارای ۲۰۷۴۲ نفر جمعیت بوده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). این شهر به‌خاطر هم‌جواری بندرگز با جنگل و دریا، دارای آب و هوای معتدل خزری است. میانگین بارندگی سالانه آن ۶۷۰ میلی‌متر است. بیشترین درجه حرارت در تابستان به ۳۹ درجه بالای صفر و در زمستان‌ها به پنج درجه زیر صفر می‌رسد. بررسی الگوی توسعه فضایی شهر بندرگز نشان می‌دهد که شکل‌گیری بافت کالبدی این شهر در گذر زمان از الگوی خاصی تبعیت نکرده است.



شکل ۱- موقعیت شهرستان‌های بندر ترکمن و بندرگز در استان گلستان و ایران

شاخص کیفیت آب آژانس آب کاتالانیا (ISQA Simple Water Quality Index Calculator)

ISQA شاخص ساده شده کیفیت آب توسط آژانس آب کاتالانیا می‌باشد. این شاخص براساس پنج پارامتر کیفی دما، نیاز بیولوژیکی اکسیژن (BOD)، رسوب معلق کل (TSS)، اکسیژن محلول (DO) و هدایت الکتریکی (EC) استوار است و براساس رابطه زیر نتیجه حاصل ضرب زیرشاخص دما در زیرشاخص‌های BOD، TSS، DO و EC می‌باشد (Gitau et al, 2016).

$$ISQA = SI_{Temp}(SI_{BOD} + SI_{TSS} + SI_{DO} + SI_{Con}) \quad (1)$$

در رابطه (۱) زیرشاخص‌های BOD، TSS، DO و EC به ترتیب دارای بردار وزنی ۰/۳، ۰/۲۵، ۰/۲۵ و ۰/۲ هستند. براساس مقدار شاخص ISQA کیفیت آب به پنج رده خیلی ضعیف (۰-۲۵)، نسبتاً ضعیف (۲۶-۵۰)، متوسط (۵۱-۷۰)، خوب (۷۱-۹۰) و عالی (۹۱-۱۰۰) تقسیم‌بندی می‌شوند. بنابراین هرچه مقدار شاخص بالاتر باشد، نشان دهنده کیفیت بهتر منبع آب است (Gitau et al., 2016؛ Ocampo Duque, 2008).

نسبت BOD/COD

نسبت BOD/COD، در واقع نسبت ماده آلی قابل تجزیه بیوشیمیایی به کل مواد آلی است. این نسبت شاخص خوبی برای نشان دادن قابلیت تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها می‌باشد و برای توصیف ترکیب آلی در پساب استفاده می‌شود. همچنین در شیرابه‌های حاصل از محل دفن پسماندهای شهری (لندفیل)، نسبت BOD/COD می‌تواند اطلاعات خوبی در مورد تثبیت زباله‌های در حال عبور از فاز استوژنیک اولیه به فاز متانوژنیک بالغ ارائه دهد (Lee and Nikraz, 2014؛ Bader et al, 2022). بطور کلی بالا بودن نسبت BOD/COD باعث افزایش توان تجزیه‌پذیری زیستی پساب می‌شود. اگر نسبت BOD/COD در پساب ورودی به تصفیه‌خانه‌ها بین ۰/۹۲ تا ۱ باشد، پساب کاملاً زیست‌تخریب‌پذیر است. در صورتی که BOD/COD بزرگتر از ۰/۶ باشد،

تجزیه بیولوژیکی پساب از سرعت قابل قبولی برخوردار است. اگر نسبت BOD/COD پساب ورودی به تصفیه‌خانه‌ها بین ۰/۳ تا ۰/۶ باشد، تجزیه ترکیب آلی پساب با سرعت کم امکان پذیر است و نیاز به روش‌های تکمیلی دارد. در صورتی که نسبت BOD/COD پساب ورودی کوچک‌تر از ۰/۳ باشد، امکان تجزیه بیولوژیکی پساب وجود ندارد. اگرچه در برخی منابع پیشنهاد می‌شود که در صورتی که در پساب ورودی نسبت BOD/COD بالاتر از ۰/۵، بین ۰/۳ تا ۰/۵، و کمتر از ۰/۳ باشد پساب به ترتیب به‌عنوان زیست تخریب‌پذیر سریع، زیست تخریب‌پذیر و غیرقابل تجزیه طبقه‌بندی می‌شوند (Bader et al, 2022; Lee and Nikraz, 2014).

درصد بازدهی حذف

در این پژوهش به منظور تعیین میزان حذف پارامترهای کیفی پساب توسط تصفیه‌خانه‌های بندرت‌رکمن و بندرگز از رابطه زیر استفاده شد (بافکار و بابلی، ۱۳۹۷):

$$\%R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه $R/\%$ درصد حذف پارامترهای کیفی، C_i مقدار پارامتر کیفی در آب پساب ورودی و C_f مقدار پارامتر کیفی در آب پساب تصفیه شده‌است.

روش کار

در این پژوهش ۱۱ پارامتر کیفی شامل دما، pH، میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD)، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، هدایت الکتریکی (EC)، نیتрат (NO_3)، کل جامدات معلق (TSS)، کل جامدات (TS)، کدورت (Turbidity)، فسفر کل (TP)، اکسیژن محلول (DO)، کلیفرم گرمای (Tt.Coliforms) و کلیفرم کل (T.Coliforms) و دبی (Q) به‌عنوان پارامتر کمی در پساب خروجی دو تصفیه‌خانه بندرگز و بندرت‌رکمن و در سال آبی ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ بررسی شد. تمامی نمونه‌ها به شکل ماهانه از پساب خروجی این دو تصفیه‌خانه برداشت شد. برخی از پارامترها نظیر دبی، دما، pH و EC در محل خروجی پساب از تصفیه‌خانه برداشت شد و بقیه پارامترها در آزمایشگاه آب و فاضلاب استان گلستان و براساس روش‌های استاندارد موجود اندازه‌گیری شدند (حدادی و همکاران، ۱۳۹۶).

در پژوهش حاضر ابتدا نتایج بدست آمده از آزمایشگاه با استانداردهای موجود برای آبهای سطحی مقایسه شد. در مرحله بعد با استفاده از شاخص کیفیت آب کاتالانیا ISQA، کیفیت پساب ورودی و خروجی به تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرت‌رکمن و در سال آبی ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ بررسی و مقایسه شد. سپس با استفاده از نسبت BOD/COD قابلیت تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها در پساب تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرت‌رکمن و در سال آبی ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ بررسی شد. در نهایت درصد حذف پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده برای بررسی راندمان هر تصفیه‌خانه تخمین زده شد. تمامی محاسبات در محیط اکسل انجام شد.

بحث و نتایج

نتایج پارامترهای کیفی و کمی پساب تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرت‌رکمن

در این پژوهش به منظور بررسی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرت‌رکمن و مقایسه آنها از نتایج پارامترهای کیفی و کیفی این دو تصفیه‌خانه استفاده شد (جدول ۱). باتوجه به نتایج بدست آمده، حجم پساب تولیدی در تصفیه‌خانه بندرگز معادل ۰/۲۳ میلیون متر مکعب (MCM) در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ می‌باشد. درحالی‌که این مقدار در تصفیه‌خانه بندرت‌رکمن ۰/۲۱ میلیون متر مکعب در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ بوده‌است (شکل ۲). از این‌رو حجم پساب تولیدی در تصفیه‌خانه بندرگز بیشتر از بندرت‌رکمن بوده است. همچنین بیشترین مقدار پساب تولیدی مربوط به ماه فروردین برای هر دو تصفیه‌خانه می‌باشد.

در بین پارامترهای مورد بررسی تصفیه‌خانه بندرگز، حجم پساب تولید با واریانس $0/00153$ کمترین تغییرات را در سال آبی $1401-1400$ داشته‌است. کمترین و بیشترین مقدار این پارامتر به ترتیب $0/15$ MCM و $0/25$ MCM است. در مقابل، پارامترهای کل جامدات و کلیفرم کل به ترتیب با واریانس $1373/84$ و $1026/79$ بیشترین تغییرات را در بین پارامترهای کیفی به خود اختصاص داده‌اند. کمترین و بیشترین مقدار کل جامدات به ترتیب به میزان 757 و 880 میلی گرم بر لیتر می‌باشد. این مقادیر برای کلیفرم کل 12 و 110 MPN می‌باشد. رواناب‌های شهری و اختلاط پساب شهری و خانگی در زمان بارندگی می‌تواند دلیلی برای تغییرات نسبتاً زیاد در میزان کل جامدات و کلیفرم کل باشد.

در تصفیه‌خانه بندرتکمن، بیشترین و کمترین تغییرات به ترتیب مربوط به هدایت الکتریکی و حجم پساب تولیدی است. تغییرات میزان هدایت الکتریکی در این تصفیه‌خانه بین $4600 \mu S/cm$ تا $6820 \mu S/cm$ می‌باشد. لازم به ذکر است میزان واریانس این پارامتر در حدود 640564 می‌باشد. در مقابل حجم پساب تولیدی با واریانس در حدود $0/001$ کمترین تغییرات را در تصفیه‌خانه بندرتکمن دارا می‌باشد. کمترین مقدار این پارامتر در حدود $0/13$ و بیشترین مقدار آن در حدود $0/22$ می‌باشد.

جدول ۱- پارامترهای کمی و کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه بندرگز و بندرتکمن در سال آبی $1400-1401$

ردیف	پارامتر	واحد	متوسط	کمترین	بیشترین
۱	حجم پساب تولیدی	MCM	$0/19$	$0/15$	$0/25$
۲	کل جامدات	mg/L	$31/6$	$26/2$	$38/8$
۳	کلیفرم کل	MPN	$75/5$	$65/4$	$91/4$
۴	کل جامدات	mg/L	$1275/5$	1250	1309
۵	کلیفرم کل	MPN	$10/2$	$6/7$	$25/1$
۶	کل جامدات	mg/L	~ 15	2	26
۷	کلیفرم کل	MPN	~ 65	12	110
۸	کل جامدات	mg/L	$791/3$	757	880
۹	کلیفرم کل	MPN	$35/6$	28	49
۱۰	کل جامدات	mg/L	$7/1$	$4/6$	10
۱۱	کلیفرم کل	MPN	$4/6$	$3/8$	$5/1$
۱۲	کل جامدات	mg/L	$8/1$	$7/8$	$8/4$
۱۳	کلیفرم کل	MPN	$18/7$	12	16
۱۴	کل جامدات	mg/L	$0/17$	$0/13$	$0/23$
۱۵	کلیفرم کل	MPN	$28/9$	$22/2$	$39/5$
۱۶	کل جامدات	mg/L	$79/5$	$64/1$	$98/1$
۱۷	کلیفرم کل	MPN	$5852/8$	4600	6820
۱۸	کل جامدات	mg/L	$9/2$	$4/2$	$26/2$
۱۹	کلیفرم کل	MPN	~ 15	7	23
۲۰	کل جامدات	mg/L	~ 54	21	90
۲۱	کلیفرم کل	MPN	$2403/3$	16	3000
۲۲	کل جامدات	mg/L	$21/8$	16	26
۲۳	کلیفرم کل	MPN	$8/5$	$6/8$	13
۲۴	کل جامدات	mg/L	$5/1$	$4/2$	$5/8$
۲۵	کلیفرم کل	MPN	8	$7/8$	$8/3$
۲۶	کل جامدات	mg/L	$18/7$	$12/1$	26

MCM: Million Cubic Meters

مقایسه تغییرات پارامترهای کمی و کیفی تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرتکمن

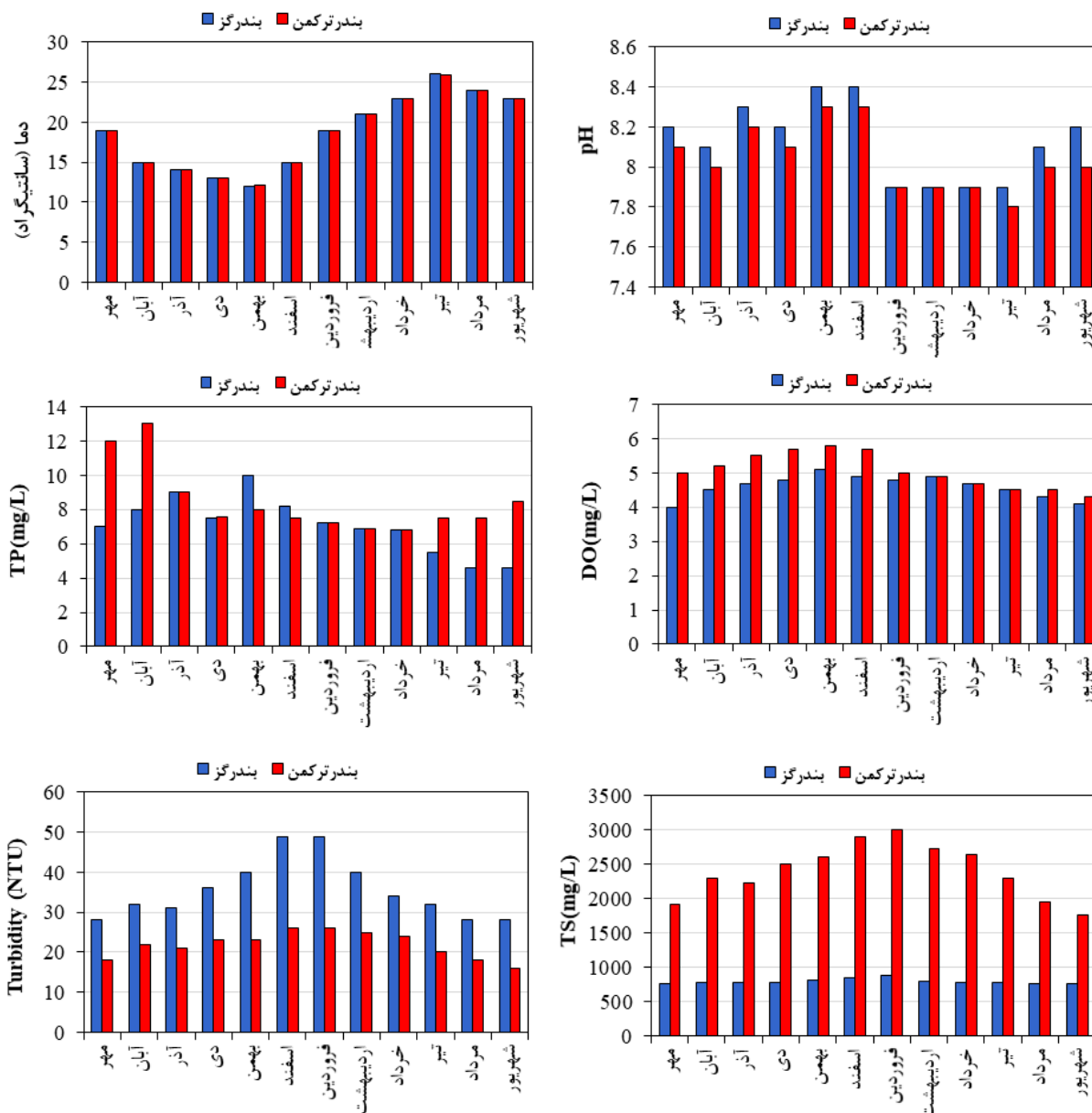
مقایسه پارامترهای این دو تصفیه‌خانه نشان داد که حجم پساب سالانه تولید شده در تصفیه‌خانه بندرگز در حدود $2/30$ میلیون متر مکعب می‌باشد. درحالی‌که این مقدار در تصفیه‌خانه بندرتکمن $2/10$ میلیون متر مکعب در سال آبی $1401-1400$ بوده‌است (شکل ۲). از این رو میزان پساب تولیدی در تصفیه‌خانه بندرگز در حدود $0/2$ میلیون متر مکعب بیشتر از تصفیه‌خانه بندرتکمن می‌باشد.



شکل ۲- مقایسه حجم پساب تولیدی در تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرتکمن

تغییرات دما در هر دو تصفیه‌خانه بندرگز و بندترکمن مشابه یکدیگر است. باتوجه به فاصله کم این دو شهر و نزدیکی به خلیج گرگان این امر بدیهی به نظر می‌رسد. همچنین بیشترین میزان دما در هر دو شهر مربوط به تیرماه و کمترین مقدار آن مربوط به بهمن است (شکل ۳).

الگوی تغییرات pH هم در طول سال آبی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ مشابه یکدیگر است. به‌طوری‌که در ماه‌های سرد میزان pH نسبت به ماه‌های گرم افزایش داشته‌است. به لحاظ عددی میزان pH در تصفیه‌خانه بندرگز بیشتر از تصفیه‌خانه بندترکمن می‌باشد. رنج تغییرات فسفات کل در تصفیه‌خانه بندترکمن به مراتب بیشتر از تصفیه‌خانه بندرگز می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار فسفات در



شکل ۳- مقایسه تغییرات پارامترهای دما (T)، pH، فسفات کل (TP)، اکسیژن محلول (DO)، کدورت (Turbidity) و کل جامدات (TS) تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندترکمن

تصفیه‌خانه بندرت‌رکمن مربوط به ماه آبان به میزان ۱۳ میلی گرم بر لیتر است. درحالی که بیشترین مقدار این پارامتر در تصفیه‌خانه بندرگز مربوط به ماه بهمن به میزان ۱۰ میلی گرم بر لیتر می‌باشد. تغییرات اکسیژن محلول در هر دو تصفیه‌خانه تقریباً مشابه یکدیگر است و با دما نسبت عکس دارد. بطوری که با افزایش دما مقدار آن در پساب هر دو تصفیه‌خانه کاهش می‌یابد و برعکس. نتایج نشان داد که میزان کدورت پساب تصفیه‌خانه بندرگز به مراتب بیشتر از بندرت‌رکمن می‌باشد. به طوری که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب بین ۲۸ NTU تا ۴۹ NTU است. اما این مقدار در تصفیه‌خانه بندرت‌رکمن بین ۱۶ NTU تا ۲۶ NTU متغیر می‌باشد. برعکس کدورت، میزان جامدات کل در بندرت‌رکمن به مراتب بیشتر از تصفیه‌خانه بندرگز است. علاوه بر این رنج تغییرات در تصفیه‌خانه بندرت‌رکمن به مراتب بیشتر از بندرت‌رکمن است. همچنین بیشتر مقدار آن مربوط به ماه فروردین می‌باشد (شکل ۳).

نتایج همچنین نشان داد که میزان کلیفرم کل در پساب تصفیه‌خانه بندرگز نسبت به تصفیه‌خانه بندرت‌رکمن بیشتر است. در هر دو تصفیه‌خانه میزان این پارامتر در ماه‌های سرد سال بیشتر از ماه‌های گرم می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار کلیفرم کل در پساب تصفیه‌خانه بندرگز مربوط به دی ماه می‌باشد و کمترین مقدار آن مربوط به خرداد ماه است. در تصفیه‌خانه بندرت‌رکمن نیز بیشترین مقدار آن مربوط به ماه دی سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ است اما کمتر مقدار ۲۱ MPN مربوط به ماه تیر می‌باشد. الگوی تغییرات نترات در هر دو تصفیه‌خانه هیچ شباهتی با هم ندارند. به طور کلی به جز سه ماه مهر، آبان و بهمن در بقیه ماه‌ها، میزان نترات در پساب تصفیه‌خانه بندرگز بیشتر از تصفیه‌خانه بندرت‌رکمن است (شکل ۴).

نتایج این مقایسه نشان داد میزان هدایت الکتریکی (EC) تصفیه‌خانه بندرت‌رکمن به مراتب بیشتر از تصفیه‌خانه بندرگز است. در مقابل میزان تغییرات COD به جز مردادماه و شهریور ماه مشابه یکدیگر است. همچنین میزان BOD تصفیه‌خانه بندرگز به جز ماه‌های خرداد، مرداد و شهریور در بقیه ماه‌ها از تصفیه‌خانه ترکمن بیشتر است. این امر بیانگر آنست که میزان آلودگی میکروبی پساب تصفیه‌خانه بندرگز بیشتر از تصفیه‌خانه ترکمن است (شکل ۴). از مهمترین عوامل این افزایش می‌توان به ورود پساب‌های خانگی تصفیه نشده به سیستم جمع‌آوری فاضلاب شهری در شهر بندرگز اشاره کرد که بیشتر از بندرت‌رکمن می‌باشد. همچنین می‌توان به استفاده کمتر از چاه‌ها سپتیک در شهر بندرگز اشاره کرد.

نتایج همچنین نشان داد میزان تغییرات حجم پساب تولید شده در طول سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ مشابه یکدیگر بوده است. بطوریکه در ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت به بیشترین مقدار خود می‌رسد. به نظر می‌رسد این تغییرات با میزان تغییرات بارندگی سالانه همخوانی دارد. اگرچه حجم پساب تولیدی در بندرگز بیشتر از بندرت‌رکمن می‌باشد.

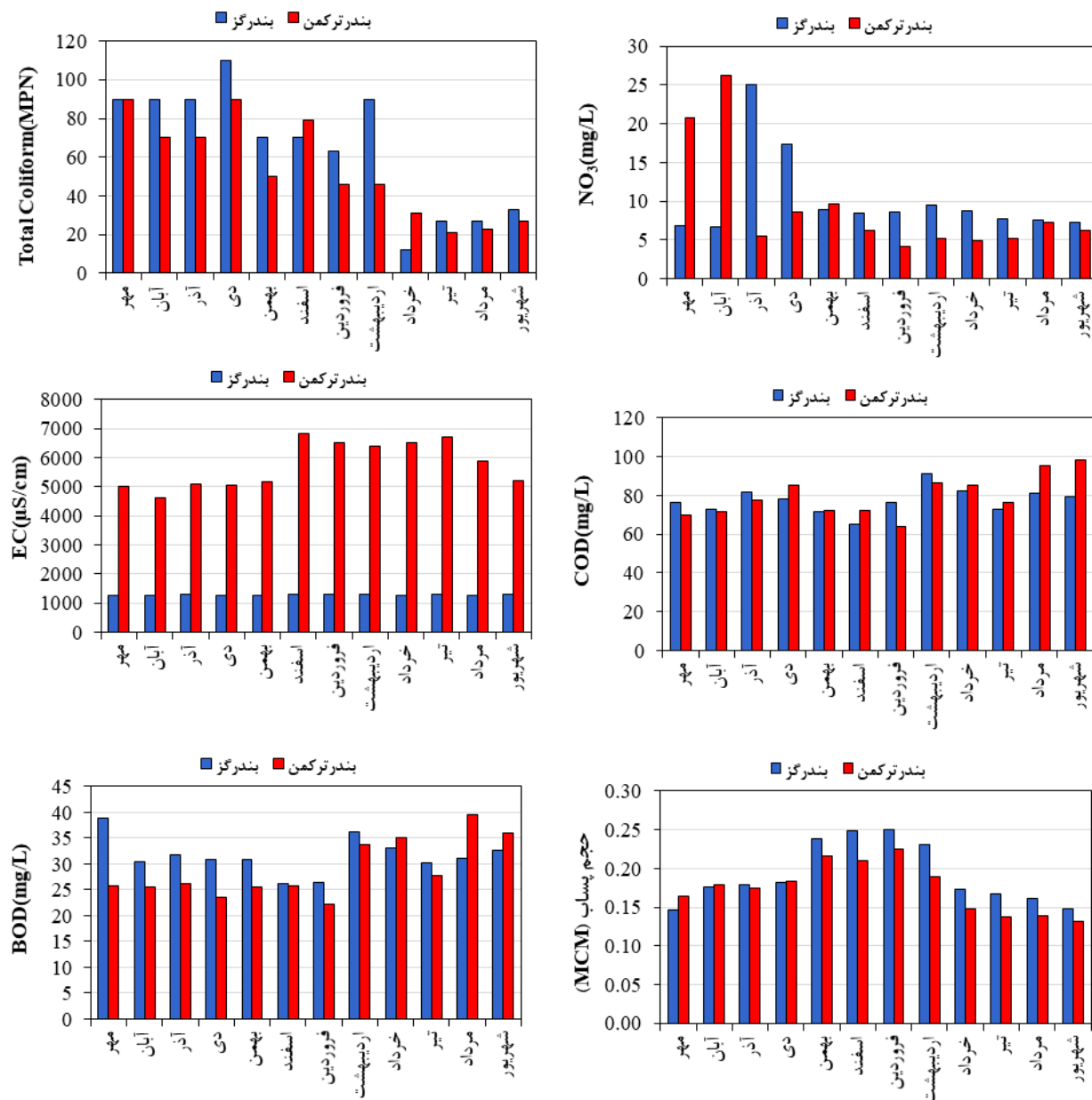
مقایسه پارامترهای کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرت‌رکمن با استانداردهای موجود

در این پژوهش میزان برخی از پارامترهای کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرت‌رکمن با استانداردهای موجود نظیر تخلیه به آب‌های سطحی (محیط زیست)، تخلیه به چاه جاذبی، مصارف کشاورزی، استاندارد کشاورزی، WHO، EPA و FAO مقایسه شد. نتایج نشان داد BOD تصفیه‌خانه بندرگز بیش از مقدار آن برای تخلیه به آب‌های سطحی، چاه جاذبی و استاندارد EPA بوده است. درحالی که که مقدار پارامتر مذکور در تصفیه‌خانه بندرت‌رکمن کمتر و نزدیک به مقدار استانداردهای تخلیه به آب‌های سطحی، چاه جاذبی و استاندارد EPA می‌باشد. اگرچه مقدار BOD در پساب هر دو تصفیه‌خانه برای استفاده در بخش کشاورزی امن می‌باشد و کمتر از استاندارد برای کشاورزی (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) می‌باشد.

مقدار COD در پساب هر دو تصفیه‌خانه کمتر از مقادیر استاندارد برای تخلیه به آب‌های سطحی و چاه‌های جاذبی است. اگرچه این مقادیر به مراتب کمتر از استاندارد EPA (۱۲۰ میلی گرم بر لیتر) است. برخلاف BOD و COD مقدار pH، در هر دو تصفیه‌خانه در داخل رنج تمامی استانداردهای ذکر شده در بالا می‌باشد. مقدار نترات در پساب هر دو تصفیه‌خانه در حدود ۱۰ میلی گرم بر لیتر

می‌باشد که این مقدار از تخلیه به آبهای سطحی و استانداردهای WHO و EPA کمتر است اما در حدود تخلیه به چاههای جذبی می‌باشد.

نتایج همچنین نشان داد مقدار EC (به عنوان پارامتر معرف شوری) در پساب هر دو تصفیه‌خانه به مراتب بیشتر از مقدار آن برای استانداردهای WHO، EPA و FAO می‌باشد. پارامتر کدورت به عنوان یک پارامتر فیزیکی مهم در تصفیه آبهای سطحی و پسابهای صنعتی می‌باشد (سلامتی و معاضد، ۱۳۸۷). میزان این پارامتر در هر دو تصفیه‌خانه کمتر از تخلیه به آبهای سطحی و کشاورزی است، اما مقدار این پارامتر به مراتب بیشتر از استاندارد EPA است. نتایج حاصل از تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرترکمن نشان داد که میزان کلیفرم گرمای و کل بسیار کمتر از استانداردهای موجود در جدول ۳ می‌باشد.



شکل ۴- مقایسه تغییرات پارامترهای کلی فرم کل (Total coliform)، نیترات (NO₃)، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن محلول (DO)، کدورت (Turbidity) و کل جامدات (TS) تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندر ترکمن

جدول ۳- مقایسه پارامترهای کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرترکمن با استانداردهای موجود

پارامترها	میانگین		تخلیه به آبهای سطحی (mg/L)	تخلیه به چاه جاذب (mg/L)	مصارف کشاورزی (mg/L)	استاندارد (WHO)	استاندارد (EPA)	استاندارد (FAO)
	بندرگز	بندرترکمن						
BOD5(mg/L)	۳۱/۵۵	۲۸/۹۰	۳۰	۳۰	۱۰۰	-	۳۰	-
COD (mg/L)	۷۷/۵۳	۷۹/۵۲	۶۰	۶۰	۲۰۰	-	۱۲۰	-
pH	۸/۳	۸/۰۴	۸/۵ تا ۶/۵	۹ تا ۵	۸/۶-۵	۸/۶-۵	۸/۶-۴/۵	۶-۸/۵
دما (سانتیگراد)	۱۸/۶۹	۱۹	-	-	-	-	-	-
فسفر کل (mg/L)	۷/۱۱	۸/۴۶	-	-	-	-	-	-
کل جامدات (mg/L)	۷۹۱/۲۵	۲۴۰۳/۳۳	-	-	-	-	-	-
نیتрат (mg/L)	۱۰/۲۰	۹/۱۵	۵۰	۱۰	-	۵۰	۳۰	-
هدایت الکتریکی (μS/cm)	۱۲۷۵/۵۰	۵۷۵۲/۸۳	-	-	-	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰
کدورت (NTU)	۳۵/۵۸	۲۱/۸۳	۵۰	-	۵۰	-	۲	-
کلیرم گرمایی (MPN)	۱۴/۹۲	۱۴/۵۸	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۱۰۰۰	-	۱۰۰۰
کلیرم کل (MPN)	۶۴/۳۳	۵۳/۵۸	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰	-

نتایج شاخص کیفیت آب ISQA

باتوجه به جدول ۵، میانگین سالانه این شاخص برای پساب ورودی تصفیه‌خانه بندرگز در حدود ۲۸ می‌باشد که این مقدار نشان‌دهنده کیفیت نسبتاً ضعیف (۲۶-۵۰) آن دارد. اما میزان شاخص ISQA در پساب ورودی تصفیه‌خانه بندرترکمن در حدود ۲۰ می‌باشد که نشان از کیفیت خیلی ضعیف آن دارد. بعد از انجام عمل تصفیه میزان شاخص ISQA در هر دو تصفیه‌خانه افزایش یافت است. اگرچه با وجود افزایش مقدار این شاخص از ۲۸ به ۴۴ در تصفیه‌خانه بندرگز همچنان کیفیت آب این تصفیه‌خانه در رده نسبتاً ضعیف (۲۶-۵۰) قرار می‌گیرد. اما افزایش میزان شاخص ISQA به مقدار ۳۸ در تصفیه‌خانه بندرترکمن باعث شده که کیفیت آب پساب خروجی از خیلی ضعیف به نسبتاً ضعیف ارتقا یابد.

جدول ۵- مقادیر شاخص ISQA در مقاطع ورودی و خروجی تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرترکمن در سال ۱۴۰۰-

۱۴۰۱

تصفیه‌خانه	حداقل	حداکثر	میانگین
بندرگز	۲۷	۲۹	۲۸
	۴۱	۴۷	۴۴
بندرترکمن	۱۸	۲۲	۲۰
	۳۳	۳۷	۳۸

نسبت BOD/COD

نتایج مربوط به نسبت BOD/COD برای تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرتکمن در جدول ۶ ارائه شده‌است. باتوجه به جدول ۶، متوسط این نسبت در پساب ورودی به هر دو تصفیه‌خانه در حدود ۰/۶ درصد است. از این‌رو پساب هر دو تصفیه‌خانه را می‌توان به آسانی توسط روش‌های بیولوژیکی تجزیه نمود (حدادی و همکاران، ۱۳۹۶). اما مقدار این نسبت در پساب خروجی کمتر از ۰/۳ می‌باشد. درنتیجه امکان تجزیه بیولوژیکی پساب وجود ندارد.

جدول ۶- مقادیر شاخص BOD/COD در مقاطع ورودی و خروجی تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرتکمن در سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱

تصفیه‌خانه	حداقل	حداکثر	میانگین
بندرگز	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۶۰
	ورودی	خروجی	۰/۱۱
بندرتکمن	۰/۶۰	۰/۶۳	۰/۶۱
	ورودی	خروجی	۰/۰۸

مقایسه میزان حذف پارامترهای کیفی پساب توسط تصفیه‌خانه‌های بندرتکمن و بندرگز

نتایج مربوط به میزان حذف برخی از پارامترهای کیفی در پساب تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرتکمن در جدول ۴ ارائه شده‌است. باتوجه به این نتایج، بیشترین میزان حذف به ترتیب مربوط به کل جامدات معلق (TSS) و اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز (BOD) است. بطوری‌که تصفیه‌خانه بندرتکمن قادر به حذف ۸۷/۷ درصد از TSS پساب خام می‌باشد که این مقدار در تصفیه‌خانه بندرگز در حدود ۸۵/۵۷ درصد می‌باشد. باتوجه به مقادیر بدست آمده برای پارامتر BOD نیز، میزان حذف در تصفیه‌خانه بندرتکمن از بندرگز بیشتر است. در مقابل کمترین میزان حذف در تصفیه‌خانه بندرگز مربوط به پارامتر EC به میزان ۵/۵۷ درصد می‌باشد. در صورتی‌که کمترین میزان حذف در تصفیه‌خانه بندرتکمن مربوط به COD است. نتایج نشان داد که میزان حذف پارامترها در تصفیه‌خانه بندرتکمن به‌جز پارامتر COD بیشتر از تصفیه‌خانه بندرگز می‌باشد. این نتایج با یافته‌های حدادی و همکاران، (۱۳۹۶) همسو می‌باشد.

جدول ۴- راندمان حذف برخی از پارامترهای کیفی در پساب تصفیه‌خانه‌های بندرگز و بندرتکمن

پارامتر	بندرگز			بندرتکمن		
	ورودی	خروجی	درصد حذف	ورودی	خروجی	درصد حذف
BOD (mg/L)	۱۶۶/۸۵	۲۹/۰۵	۸۲/۹	۱۸۵/۵	۲۵/۳	۸۶/۳۹
COD (mg/L)	۲۷۰/۸	۲۶۲/۶	۵/۵۷	۲۸۴/۲۵	۲۶۸/۱	۵/۴۰
TP (mg/L)	۱۰/۷۶	۷/۱	۳۴/۰۱	۱۳/۷۶	۸/۵۶	۳۷/۷۹
TS (mg/L)	۹۲۵/۳	۷۹۱/۶۵	۱۴/۴۴	۳۰۲۲/۰۸	۲۵۴۵/۵	۱۵/۷۷
NO ₃ (mg/L)	۱۷/۶۳	۱۳/۱۹	۲۵/۱۸	۶۰/۲	۱۴/۱۴	۷۶/۵۱
EC (μS/cm)	۱۳۴۰/۴	۱۲۷۵/۵	۴/۸۴	۶۱۶۴	۵۷۵۲/۸۳	۶/۶۷
TSS (mg/L)	۱۲۳/۶۸	۱۷/۸۵	۸۵/۵۷	۱۳۱/۲	۱۶/۹۷	۸۷/۷

نتیجه گیری

باتوجه به نتایج بدست آمده، حجم پساب تولیدی در تصفیه خانه بندرگز معادل $2/3$ میلیون متر مکعب در سال آبی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و بیشتر از حجم پساب تولیدی در تصفیه خانه بندرتارکمن ($2/1$ میلیون متر مکعب) می باشد. همچنین بیشترین مقدار پساب تولیدی در هر دو تصفیه خانه مربوط به ماه فروردین است. به طور کلی در بین پارامترهای کیفی میزان کدورت، نیترات، BOD و کلیفرم کل پساب تصفیه خانه بندرگز به مراتب بیشتر از بندرتارکمن می باشد. این امر بیانگر آنست که میزان آلودگی میکروبی پساب تصفیه خانه بندرگز بیشتر از تصفیه خانه ترکمن است. در مقابل میزان جامدات کل و هدایت الکتریکی در بندرتارکمن به مراتب بیشتر از تصفیه خانه بندرگز است. نتایج همچنین نشان داد که در بین پارامترهای اندازه گیری شده هر دو تصفیه خانه، کمترین تغییرات مربوط به پساب تولیدی است اما بیشترین تغییرات در تصفیه خانه بندرگز و بندرتارکمن به ترتیب مربوط به کل جامدات (TS) و هدایت الکتریکی (EC) است.

نتایج حاصل از مقایسه پارامترهای کیفی با استانداردهای داخلی و خارجی نشان داد که BOD تصفیه خانه بندرگز بیش از مقدار آن برای تخلیه به آب های سطحی، چاه جذبی و همچنین استاندارد EPA می باشد. در حالی که که مقدار پارامتر مذکور در تصفیه خانه بندرتارکمن کمتر و نزدیک به مقدار استانداردهای تخلیه به آب های سطحی، چاه جذبی و استاندارد EPA می باشد. اگرچه نتایج نشان داد که مقدار BOD در پساب هر دو تصفیه خانه برای استفاده در بخش کشاورزی امن می باشد. در مقابل مقدار COD در پساب هر دو تصفیه خانه کمتر از مقدار استاندارد برای تخلیه به آب های سطحی و چاه های جذبی است. اگرچه این مقادیر به مراتب کمتر از استاندارد EPA (120 میلی گرم بر لیتر) است. برخلاف BOD و COD مقدار pH، در هر دو تصفیه خانه در داخل رنج تمامی استانداردهای ذکر شده در بالا می باشد. مقدار نیترات در پساب هر دو تصفیه خانه در حدود 10 میلی گرم بر لیتر می باشد که این مقدار از تخلیه به آب های سطحی و استانداردهای WHO و EPA کمتر است اما در حدود تخلیه به چاه های جذبی می باشد.

نتایج همچنین نشان داد مقدار EC در پساب هر دو تصفیه خانه به مراتب بیشتر از مقدار آن برای استانداردهای WHO، EPA و FAO می باشد. پارامتر کدورت به عنوان یک پارامتر فیزیکی مهم در تصفیه آب های سطحی و پساب های صنعتی می باشد. میزان این پارامتر در هر دو تصفیه خانه کمتر از تخلیه به آب های سطحی و کشاورزی است. اما مقدار این پارامتر به مراتب بیشتر از استاندارد EPA است.

نتایج نشان داد که متوسط نسبت BOD/COD در پساب ورودی در هر دو تصفیه خانه در حدود $0/6$ است. از این رو پساب هر دو تصفیه خانه را می توان به آسانی توسط روش های بیولوژیکی تجزیه نمود. اما مقدار این نسبت در پساب خروجی و بعد از عمل تصفیه کمتر از $0/3$ می باشد که این امر بیانگر آنست که امکان تجزیه بیولوژیکی بیشتر در پساب خروجی هر دو تصفیه خانه وجود ندارد. نتایج مربوط به میزان حذف پارامترهای بررسی شده در این پژوهش نشان داد که بیشترین میزان حذف به ترتیب مربوط به دو پارامتر TSS و BOD است. بطوریکه تصفیه خانه بندرتارکمن قادر به حذف $87/7$ درصد از TSS پساب خام می باشد که این مقدار در تصفیه خانه بندرگز کمی پایین تر و در حدود $85/57$ درصد می باشد. باتوجه به مقادیر بدست آمده برای BOD، میزان حذف این پارامتر نیز در تصفیه خانه بندرتارکمن از بندرگز بیشتر است. در مقابل این دو پارامتر، کمترین میزان حذف در تصفیه خانه بندرگز مربوط به پارامتر EC به میزان $5/57$ درصد می باشد. اما این کمترین میزان حذف در تصفیه خانه بندرتارکمن مربوط به COD است. نتایج نشان داد که میزان حذف پارامترها در تصفیه خانه بندرتارکمن بجز پارامتر COD بیشتر از تصفیه خانه بندرگز می باشد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در مقاله مستخرج از طرح پژوهشی تقریباً به شکل زیر باشد:

نویسنده اول: مجری طرح، گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله.

نویسنده دوم: همکار طرح، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله
نویسنده سوم: همکار طرح، طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی معاونت آموزشی و پژوهشی دانشگاه گنبد کاووس در قالب طرح پژوهشی انجام شد.

سپاسگزاری

از دانشگاه گنبد کاووس به خاطر حمایت مالی در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند که از داوران ناشناس این مقاله به خاطر نظرهای ارزشمندشان باعث بهبود کیفیت مقاله شدند سپاسگزاری نمایند.

منابع

- اجزاء شکوهی، م.، بوذرجمهری، خ.، ایستگلدی، م.، مودودی، م (۱۳۹۳). بررسی اثرات گردشگری بر کیفیت زندگی جامعه میزبان نمونه مطالعاتی: شهر بندر ترکمن. *فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی*، ۱۴(۴۷)، ۱۰۱-۱۲۵.
- احمدلو، ا.، خانی‌تملیه، ذ.ا (۱۴۰۳). بررسی میزان بهینه مصرف کلر در گندزدایی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اراک. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست*، ۲(۲)، ۱-۲۲.
- بهرامی، ا.، احدی، ف.، بهرامی، م.، آقامیرمحمدعلی، ف. س (۱۴۰۲). ارزیابی کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شیراز برای مصارف مختلف. *علوم محیطی*، ۲۱(۲)، ۲۹-۴۸.
- بافکار، ع.، بابلی، ن (۱۳۹۷). بررسی راندمان حذف نیترات از محلول آبی با استفاده از جاذب نانوساختار برگ درخت بلوط. *نشریه علمی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۵(۵)، ۲۳۳-۲۴۷.
- حدادی، ل.، مرندی، ر.، سجادی، ن (۱۳۹۶). ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب شرکت نوش‌آذر به‌وسیله ایستگاه پایش آنلاین. *مجله پژوهش در بهداشت محیط*، ۳(۴)، ۲۷۵-۲۵۷.
- سلامتی، ن.، معاضد، ه (۱۳۸۷). بررسی اثر کدورت آب آبیاری بر برخی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک. *پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه‌کشاورزی*، ۸(۱)، ۱۱۳-۱۲۳.
- عابدی کوپایی، ج.، بنی‌اسدی، ا.، درافشان، م (۱۴۰۱). بهبود کیفیت فاضلاب شهری با استفاده از روش توأم زیست‌پالایی و بتن متخلخل. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست*، ۱(۱)، ۱-۱۴.

- کاکاوندی، ب.، جنیدی جعفری، ا.، قاسمی، ا.، قلیزاده، ع (۱۳۹۱). بررسی مقایسه‌ای کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صاحبقرانیه، اکباتان و جنوب شهر تهران. *مجلات تحقیقات نظام سلامت*، ۸(۴)، ۷۱۳-۷۰۶.
- محمدی، ع.ا.، یوسفی، م.، مردانی، م.، فرجی، ح (۱۳۹۵). ارزیابی کیفیت شیمیایی و فیزیکی منابع آب شهرهای شمالی استان گلستان (بندر ترکمن، بندرگز و کردکوی) در سال‌های ۱۳۸۹ - ۱۳۸۴. *مجله دانشکده علوم پزشکی نیشابور*، ۴(۱)، ۴۹-۴۱.
- هاشم‌پور، ی.، مرتضی‌زاده، ف (۱۳۹۹). ارزیابی تغییرات پارامترهای کیفی آب در فرایندهای مختلف تصفیه خانه آب سطحی (مطالعه موردی: تصفیه خانه آب تهران پارس). *مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران*، ۳۰(۱۸۹)، ۱۱۶-۱۰۷.
- Abedi Koupaee, J., Baniasadi, A., Dorafshan, M.M., 2022. Improvement the quality of urban Wastewater using combination of Bioremediation and porous concrete. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 1(1), pp.1-14.
- Ahmadloo, A., Temeliyeh, Z.K., 2024. Investigating the optimal amount of chlorine consumption in the disinfection of the effluent of the Arak sewage treatment plant. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 2(2), pp.1-22.
- Ajza Shokouhi, M., Bouzarjomehry, K., Istgaldi, M., Modudi, M., 2014. Examine the effects of tourism on the host community's quality of life case study: city Bandar Turkmen. *Journal of Geographic Space*, 4 (47), pp.101-1. (In Persian)
- Al-Jasser, A.O., 2011. Saudi wastewater reuse standards for agricultural irrigation: Riyadh treatment plants effluent compliance. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 23(1), pp.1-8.
- Bader, A.C., Hussein, H.J., Jabar, M.T., 2022. BOD: COD ratio as Indicator for wastewater and industrial water pollution. *International Journal of Special Education*, 37(3), pp.2164-2171.
- Bafkar, A., Baboli. N., 2018. Investigation of the efficiency of nitrate removal from aqueous solution using oak leaf nanostructure adsorbent. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(5), pp.233-247. (In Persian)
- Bahrami, A., Ahadi, F., Bahrami, M., Aghamir, F., 2023. Qualitative assessment of Shiraz wastewater treatment plant effluent for different purposes. *Environmental Sciences*, 21(2), pp.29-48. (In Persian)
- Gitau, M.W., Chen, J., Ma, Z. 2016. Water quality indices as tools for decision making and management. *Water resources management*, 30, pp.2591-2610.
- Haddadi, L., Marandi, R., Sadjadi, N., 2018. Performance evaluation of wastewater treatment plant of Noosh Azar company by online monitoring station. *Journal of Research in Environmental Health*, 3(4), pp.257-266. (In Persian)
- Hashempour, Y., Mortezaazadeh, F., 2020. Changes in Water Quality Parameters in Different Processes of Surface Water Treatment Plant (Case study: Tehranpars Water Treatment Plant). *Journal of Mazandaran University Medical Science*, 30 (189), pp.107-116. (In Persian)
- Iloms, E., Ololade, O.O., Ogola, H.J., Selvarajan, R., 2020. Investigating industrial effluent impact on municipal wastewater treatment plant in Vaal, South Africa. *International journal of environmental research and public health*, 17(3), pp.1096.
- Kakavandi, B., Jonidi Jafari, A., Ghasemi, A., Gholizadeh, A., 2012. Studying effluent quality of wastewater treatment plant. *Journal of Health System Research*, 8(4), pp.706-7013. (In Persian)
- Lee, A.H., Nikraz, H. 2014. BOD: COD ratio as an indicator for pollutants leaching from landfill. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2, pp.263-266.
- Mara D.D. 2004. *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. London: Earthscan-
- Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel, H.D., 2004. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Mohammadi, A.A., Yousefi, M., Mardani, M., Faraji, H., 2016. Evaluation of physical and chemical quality of groundwater in northern cities of Golestan Province (Bandar Torkaman, Kordkoy, Bandar- e Gaz) in 2005-2010. *Journal of Neyshabur University of Medical Sciences*, 4(1), pp. 41-49.

- Ocampo Duque, W.A. 2008. On the Development of Decisionmaking Systems based on Fuzzy Models to Assess Water Quality in Rivers. PhD thesis, Rovira i Virgili University, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química, Spain.
- Salamati, N. & Moazed, H. 2008. Study of the Effects of Irrigation Water Turbidity on Physical and Hydraulic Properties of Soils, *Agriculture Research*, 9(2), pp.113-125.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. 2004. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Xu, X., Jian, Y., Xue, Y., Hou, Q., Wang, L. 2019. Microplastics in the wastewater treatment plants (WWTPs): occurrence and removal. *Chemosphere*, 235, pp.1089-1096.