Pajouhan Scientific Journal Volume 16, Issue 3, Spring 2018, Pages: 20-28

Original Article

doi: 10.18869/psj.16.3.20

Feasibility of Reuse of Effluent from the Extended Aeration Process of Wastewater Treatment Plant in the Bojnoord City for Agricultural and Irrigation Uses

Tayebeh Hatami (MSc)[1], Azam Nadali (MSc)[1], Ghodratollah Roshanaei (PhD)[2], Reza Shokoohi (PhD)[1,*]

[1] *Department of Environmental Health, Faculty of Public Health, University of Medical Science, Hamadan, Iran*
[2] *Department of Biostatistics and Epidemiology, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*

**** Corresponding Author:** Reza Shokoohi, Department of Environmental Health, Faculty of Public Health, University of Medical Science, Hamadan, Iran. Email: reza.shokohi@umsha.ac.ir*

Received: 11/02/2017
Accepted: 03/04/2018

How to Cite this Article:
Hatami T, Nadali A, Roshanaei Gh, Shokoohi R. Feasibility of Reuse of Effluent from the Extended Aeration Process of Wastewater Treatment Plant in the Bojnoord City for Agricultural and Irrigation Uses. *Pajouhan Scientific Journal*. 2018; 16(3): 20-28. DOI: 10.18869/psj.16.3.20

Abstract

Background and Objective: Due to increasing the water demand and the lack of its resources, the reuse of effluents is considered as a useful option in the water resources management. The aim of this study was to evaluate the possibility of the reuse of effluents from the extended aeration process in the wastewater treatment plant of the Bojnoord city for agricultural uses.

Materials and Methods: This is a descriptive-analytical study which performed in 2013 on the quality of effluents in the wastewater treatment plant of the Bojnoord city by measuring the parameters of Electrical Conductivity (EC), Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD), nitrogen, phosphorus, Total Suspended Solids (TSS), Total Dissolved Solids (TDS), Sodium Adsorption Ratio (SAR), sodium percentage, magnesium ions, potassium ions, calcium ions, sodium ions and chloride.

Results: The results shown that, the removal efficacy of BOD and COD were 88% and 89%, respectively, and it was higher than 85 percent for TSS and VSS factors; thus, the average residual concentration of BOD, COD, TSS and phosphate in the outflow were 27, 61, 26 and 11.34 mg, respectively. The average values of pH and EC in treated effluent were obtained 7.45 and 1940 µs/cm, respectively. Moreover, the values of chloride and SAR for the effluent of the wastewater treatment plant of the Bojnoord were achieved 3.89 meq/L and 221 mg/L, respectively.

Conclusion: based on the results, it can be concluded that the effluents of the wastewater treatment plant of the Bojnoord city can be valuable for use in agriculture; but, due to the high concentration of chloride in treated effluent, it is recommended that this effluent used for semi-sensitive plants. Furthermore, this effluent is not suitable for feeding to groundwater and for discharging into the surface water and it is needed to advanced treatment based on the standards.

Keywords: Bojnoord; Extended Aeration; Municipal Wastewater Treatment; Reuse

Copyright © 2018 Pajouhan Scientific Journal. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (*http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/*) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite.

مقاله پژوهشی

doi: 10.18869/psj.16.3.20

امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب خروجی فرآیند هوادهی گسترده تصفیه فاضلاب شهر بجنورد جهت مصارف کشاورزی و آبیاری

طیبه حاتمی[۱]، اعظم نادعلی[۲]، قدرت اله روشنایی[۳]، رضا شکوهی[۴،*]

[۱] کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۲] دانشجوی دکترای تخصصی مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۳] دانشیار، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان،ایران

[۴] دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

* **نویسنده مسئول:** رضا شکوهی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

ایمیل: reza.shokohi@umsha.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۱۴

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به افزایش نیاز آبی و کمبود منابع آن، استفاده مجدد از پساب به عنوان گزینه‌ای مفید در مدیریت منابع آب مطرح می‌باشد. هدف از انجام مطالعه حاضر، بررسی قابلیت استفاده مجدد از پساب فرایند هوادهی گسترده در تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان بجنورد جهت مصارف کشاورزی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه، پژوهشی توصیفی- تحلیلی بر روی کیفیت پساب تصفیه‌خانه شهر بجنورد است که در سال ۱۳۹۲ با اندازه‌گیری پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) و بیولوژیکی (BOD)، نیتروژن، فسفر، جامدات معلق (TSS)، جامدات محلول (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد سدیم، یون‌های منیزیم، پتاسیم، کلسیم، سدیم و کلراید انجام شد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج، راندمان حذف فرایند هوادهی گسترده برای BOD و COD به ترتیب ۸۸ و ۸۹ درصد و برای هر دو فاکتور TSS و VSS بیش از ۸۵ درصد بود، در نتیجه میانگین غلظت باقیمانده در پساب خروجی برای BOD، COD، TSS و فسفات به ترتیب ۲۷، ۶۱، ۲۶ و (mg/L) ۱۱/۳۴ بود. متوسط مقدار pH و EC در فاضلاب تصفیه شده به ترتیب ۷/۴۵ و ۱۹۴۰µs/cm به دست آمد. همچنین مقدار کلراید و SAR برای پساب تصفیه خانه بجنورد به ترتیب ۳/۸۹ meq/L و ۲۲۱ بدست آمد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج می‌توان گفت که پساب خروجی از تصفیه‌خانه بجنورد می‌تواند برای کاربرد در کشاورزی مفید باشد اما بدلیل بالا بودن غلظت کلراید در پساب تصفیه شده، توصیه می‌شود این پساب در آبیاری گیاهان نیمه‌حساس استفاده شود. همچنین این پساب برای تغذیه به آب زیرزمینی و تخلیه به آب‌های سطحی مناسب نبوده و بر اساس استانداردها نیازمند تصفیه پیشرفته است.

واژگان کلیدی: استفاده مجدد؛ بجنورد؛ تصفیه خانه شهری؛ هوادهی گسترده

مقدمه

امروزه با صنعتی شدن جوامع و افزایش جمعیت، تقاضای آب و به دنبال آن مقدار تولید فاضلاب افزایش یافته است. از جهت دیگر با تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آب در دسترس، مسئله تامین آب برای مصارف مختلف به عنوان یکی از نگرانی‌های جهانی مطرح شده است [۱،۲]. بنابراین مدیریت منابع آب در دسترس و یافتن منابع جدید آب ضروری به نظر می‌رسد. در سراسر جهان، بخش کشاورزی با مصرف حدود ۹۴/۲۵ درصد از کل مصرف سالیانه آب، بزرگترین مصرف کننده آب است [۳]. از بین منابع مختلف پساب، فاضلاب خانگی به دلیل حجم زیاد و کیفیت مناسب بعد از تصفیه، به شرط داشتن استانداردهای لازم مورد توجه قرار می‌گیرد. از مزایای کاربرد پساب در کشاورزی، دارا بودن نیتروژن و فسفر، کاهش هزینه‌های تصفیه، کم بودن نوسانات کمی و کیفی، فراهم نمودن یک منبع ارزان و دائمی تامین آب و کاهش اثرات زیست محیطی دفع پساب است [۴،۵].

کشور ایران با تنها ۰/۳۴ درصد از کل آب‌های موجود در جهان و کمبود ریزش‌های جوی و بالا بودن میزان تبخیر، جزء مناطق خشک قرار گرفته است به طوری که نصف مساحت کل آن

را مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد [۶]. فاضلاب تصفیه شده شهری یکی از در دسترس ترین منابع آبی جایگزین در جاهاییست که دارای منابع آبی طبیعی محدودی می‌باشد [۷]. اما از طرف دیگر، .مطلوبیت آب برای آبیاری با توجه به مقدار املاح موجود در آن تعیین می‌شود؛ بنابراین آبیاری با آب‌هایی که کیفیت مناسبی ندارد، باعث بروز مشکلاتی از جمله افزایش شوری خاک، کاهش نفوذپذیری و سمیت می شود [۸]. آژانس حفاظت محیط زیست برای استفاده مجدد از پساب، مقادیر BOD_5 و COD را به ترتیب ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر پیشنهاد کرده است. همچنین سازمان حفاظت از محیط زیست در ایران برای استفاده از پساب در آبیاری، مقادیر BOD_5 وCOD پساب را برابر ۱۰۰ و ۲۰۰ mg/L پیشنهاد کرده است [۲].

در صورت نیاز به استفاده مجدد از پساب، باید مشخص شود که پساب تصفیه شده، تا چه میزان استانداردهای رهنمود شده برای کاربرد مورد نظر را تامین می‌کند. از این‌رو در این مطالعه ویژگی‌های پساب تصفیه‌خانه بجنورد به عنوان منبع آب مطمئن و پایدار به عنوان روشی برای مدیریت پساب و کاربرد آن در آبیاری اراضی کشاورزی مورد بررسی قرار می‌گیرد و مشخصات کیفی آن با استانداردهای مربوط به استفاده پساب در سه حیطه تزریق به آب‌های زیرزمینی، تخلیه به آب‌های سطحی و کاربرد آن در کشاورزی مقایسه می‌شود.

مواد و روش‌ها

محل مطالعه

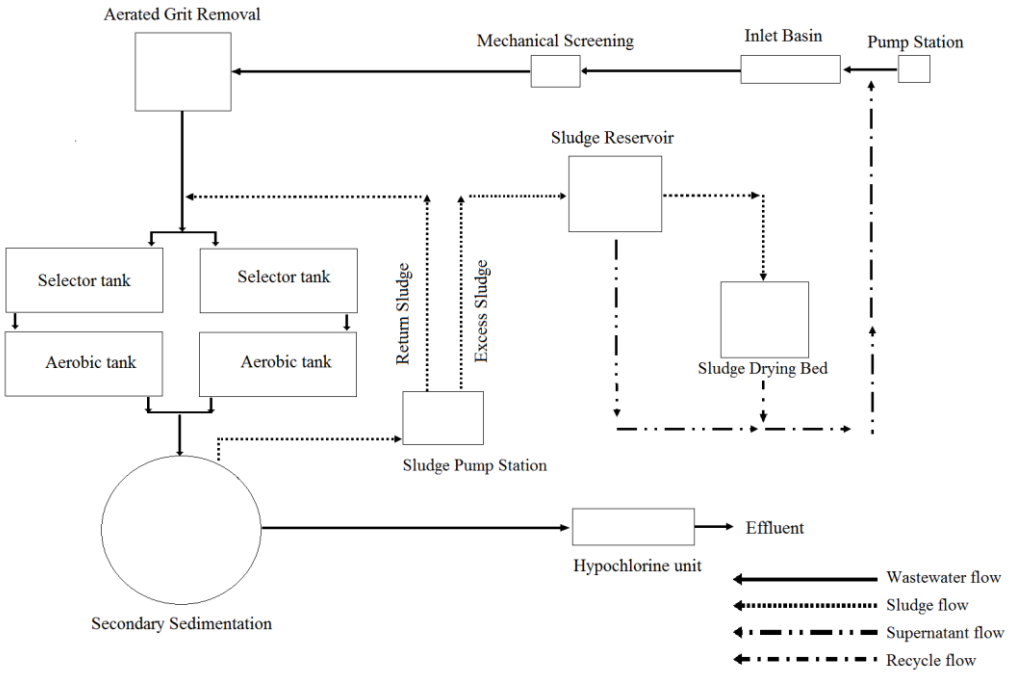
شهرستان بجنورد مرکز استان خراسان شمالی با مساحت ۳۶ کیلومتر مربع در شمال شرق ایران در طول و عرض جغرافیایی ۵۷ و ۳۷ درجه و ارتفاع ۱۰۷۰ متر از سطح دریا واقع شده است و بر اساس اطلاعات هواشناسی موجود، میانگین بارش سالانه ۲۷۴/۴ میلیمتر برآورد شده است. بر اساس طبقه‌بندی‌های اقلیمی کوپن و دمارتن، این شهر دارای اقلیم سرد و نیمه خشک بوده و دمای هوای آن روند صعودی و میزان بارندگی روند کاهشی را نشان می‌دهد [۹]. بنابراین برنامه‌ریزی بر روی مدیریت پساب برای استفاده مجدد امری ضروری به نظر می‌رسد. در نتیجه، تصفیه و بازچرخش آب‌های آلوده و استفاده از آن‌ها در کشاورزی راهکاری موثر در مدیریت منابع آب باشد [۴].

استراتژی نمونه برداری

این پژوهش از نوع توصیفی- تحلیلی بوده و به مدت یکسال از فرودین تا اسفند سال ۱۳۹۲ بر روی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان بجنورد انجام شد. سایت تصفیه‌خانه فاضلاب شهر بجنورد با ظرفیت ۷۶۰۰ مترمکعب در شبانه روز برای ۴۰۰۰۰ نفر با فرایند لجن فعال از نوع هوادهی گسترده بهره‌برداری می‌شود. ترتیب و توالی واحدهای مختلف تصفیه‌خانه در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. به منظور تعیین غلظت آلاینده‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی و تعیین راندمان تصفیه‌خانه در حذف آلاینده‌ها، نمونه‌برداری از دو نقطه در ورودی فاضلاب خام به تصفیه خانه (در محل پمپاژ) و از خروجی پساب انجام شد. نمونه‌ها به صورت لحظه‌ای و در ساعت پیک مصرف روزانه (دوبار در روز) در طول هر ماه تهیه شده و پس از انجام حفاظت مورد نیاز به آزمایشگاه انتقال داده شد.

آنالیز نمونه‌ها

نمونه‌ها، به منظور تعیین پارامترهای COD (اکسیژن مورد نیاز



شکل ۱: دیاگرام تصفیه خانه فاضلاب شهرستان بجنورد (فرایند هوادهی گسترده)

شیمیایی)، BOD (اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی)، TN (نیتروژن کل)، نیترات، نیتریت، نیتروژن آمونیاکی، TP (فسفر کل)، TSS (جامدات معلق کل)، TDS (جامدات محلول کل)، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم مورد آزمایش قرار گرفتند [۱۰]. اندازه‌گیری این پارامترها بر اساس دستورالعمل کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش آب و فاضلاب انجام گرفت و روش‌های مورد استفاده برای هر روش در جدول شماره یک آمده است [۱۰].

خطر سدیم با نسبت جذب سدیم (SAR) بیان می‌شود که با استفاده از معادله گاپن، از روی غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم محاسبه شد [۲] و درصد سدیم با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد. مقدار هر یون در معادلات، بر حسب میلی اکی والان در لیتر وارد می‌شود.

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

$$\% Na = \frac{100\ Na}{Ca + Mg + Na + K}$$

آنالیز داده‌ها

جهت آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزار Excel و SPSS 16.0 استفاده شد. در نهایت نتایج به دست آمده با مقادیر استاندارد ارائه شده از طرف سازمان EPA، برای استفاده مجدد آب مقایسه گردید. به منظور تعیین امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب برای کشاورزی از استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران، رهنمود WHO و رهنمود FAO استفاده شد.

جدول ۱: روش اندازه‌گیری پارامترهای مورد سنجش جهت ارزیابی کارایی تصفیه خانه [۱۰]

پارامترها	واحد	ابزار و روش	شماره روش
pH	-	pH متر (روش پتانسیومتری)	-
دما	^0C	دما سنج	-
COD	(mg/l)	تقطیر برگشتی (تیتراسیون)	۵۲۲۰C
BOD	(mg/l)	روش اصلاح شده وینکلر آزاید	۵۲۱۰ B
TSS	(mg/l)	وزن سنجی	۲۵۴۰ D
VSS	(mg/l)	وزن سنجی	۲۵۴۰ E
فسفات	(mg/l)	رنگ سنجی	۴۵۰۰-P C.
سورفاکتانت آنیونی (دترجنت)	(mg/l)	MBAS	۵۵۴۰ C.
نیترات	(mg/l)	رنگ سنجی (اسپکتروفتومتری)	۴۵۰۰- NO_3^- B.
نیتریت	(mg/l)	رنگ سنجی	۴۵۰۰- NO_2^- B.
سدیم	(mg/l)	فلیم فتومتر	۳۵۰۰-Na B.
پتاسیم	(mg/l)	فلیم فتومتر	۳۵۰۰-K B.
نیتروژن کل	(mg/l)	روش کجلدال	۴۵۰۰-N_{org} B.

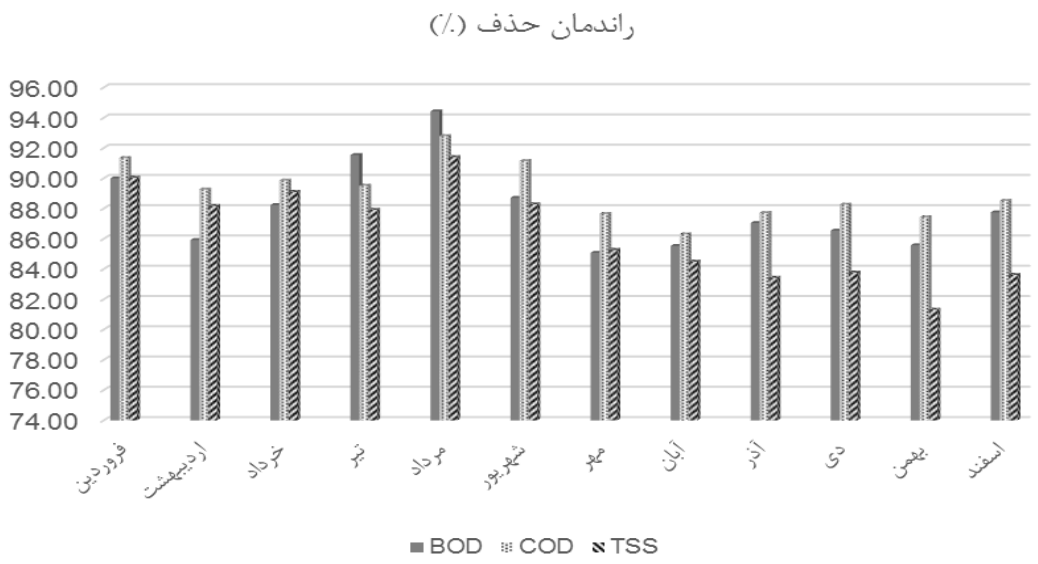
یافته‌ها

به منظور انتخاب گزینه مناسب جهت مصرف مجدد پساب تصفیه خانه فاضلاب بجنورد، کیفیت فیزیکی و شیمیایی آن در سال ۱۳۹۲ با هریک از استانداردهای تخلیه پساب مقایسه شد. جدول شماره ۲، غلظت میانگین خصوصیات فیزیکو-شیمیایی پساب خروجی از تصفیه خانه و همچنین نتایج آنالیز آماری مقایسه این مقدار با استانداردهای مربوط به استفاده مجدد از پساب (تخلیه فاضلاب به آب سطحی، آب زیرزمینی و مصرف در کشاورزی) نشان می‌دهد. مهمترین آلاینده‌های این فاضلاب شامل ترکیبات آلی و جامدات می‌باشند. لازم به ذکر است متوسط غلظت نیترات، نیتریت، فسفات و آمونیوم به ترتیب ۳/۸۶، ۰/۳۱، ۱۱/۳۴ و ۴۶/۷۹ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. میانگین مقدار pH پساب خروجی در محدوده مجاز (۷/۴۵) بود. نتایج ارائه شده در جدول ۲ و انجام آزمون آماری تی تست تک گروهی با استناد به سطح معنی داری ۹۵٪ نشان می دهد که مقدار میانگین های به دست آمده برای BOD، COD و TSS با اختلاف معنی داری از استانداردهای مربوط به کاربرد پساب در کشاورزی کمتر است. میانگین غلظت پارامترهای دیگر مانند فسفات، نیتریت و نیترات نیز در سطح معنی داری از استاندارد استفاده مجدد از پساب (کاربرد در کشاورزی، تخلیه به آب‌های سطحی و تخلیه به چاه‌های تغذیه) پایین‌تر است. شکل شماره ۲، راندمان مربوط به حذف BOD، COD و TSS در پساب تصفیه‌خانه نشان می‌دهد. در طی فرایندهای مختلف و متوالی این تصفیه‌خانه، راندمان حذف به طور متوسط برای BOD و COD به ترتیب ۸۸ و ۸۹ به دست آمد که راندمان حذف BOD در فصل تابستان بیش از فصول دیگر سال بود.

جدول شماره ۳ نتایج آنالیز ANOVA را برای خصوصیات پساب خروجی از تصفیه‌خانه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول شماره ۳، مقدار دما، BOD، COD، TSS

جدول ۲: مقایسه خصوصیات مختلف پساب تصفیه‌خانه بجنورد با استانداردهای مربوط به کاربرد مجدد پساب (one sample T-Test)

مشخصات	واحد	میانگین	تخلیه به چاه‌های تغذیه				تخلیه به آب‌های سطحی				استاندارد		کاربرد در کشاورزی	
			استاندارد	P-Value	فاصله اطمینان (P<۰/۰۵)		استاندارد	P-Value	فاصله اطمینان (p<۰/۰۵)		استاندارد	P-Value	فاصله اطمینان (P<۰/۰۵)	
					حد پایین	حد بالا			حد پایین	حد بالا			حد پایین	حد بالا
دمای نمونه	(^{0}C)	۱۹،۴	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
COD	(mg/l)	۶۱	۶۰	۰/۷۵۳	-۵/۳۲۳	۷/۱۵۶	۶۰	۰/۷۵۳	-۵/۳۲۳	۷/۱۵۶	۲۰۰	<۰/۰۵	-۱۴۵/۳	-۱۳۲/۸
BOD	(mg/l)	۲۷	۳۰	۰/۱۱۹	-۶/۳۲۵	۰/۸۲۵	۳۰	۰/۱۱۹	-۶/۳۲۵	۰/۸۲۵	۱۰۰	<۰/۰۵	-۷۶/۳۲	-۶۹/۱۷
TSS	(mg/l)	۲۶	–	–	–	–	۴۰	<۰/۰۵	-۱۶/۰۵	-۱۱/۲۸	۱۰۰	<۰/۰۵	-۷۹/۰۵	-۷۱/۲۸
VSS	(mg/l)	۱۷	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
فسفات	(mg/l)	۱۱/۳۴	۶	<۰/۰۵	۱/۹۴۳	۸/۷۲۶	۶	<۰/۰۵	۱/۹۴۳	۸/۷۲۶	–	–	–	–
درجنت	(mg/l)	۰/۲۱۵	۰/۵	<۰/۰۵	-۰/۳۴۶۰	-۰/۲۲۴۵	۰/۵	<۰/۰۵	-۰/۳۴۶۰	-۰/۲۲۴۵	۰/۵	<۰/۰۵	-۰/۳۴۶۰	-۰/۲۲۴۵
نیترات	(mg/l)	۳/۸۶	۱۰	<۰/۰۵	-۷/۴۴۳	-۴/۸۳۹	۵۰	<۰/۰۵	-۴۷/۴۴	-۴۴/۸۳	–	–	–	–
نیتریت	(mg/l)	۰/۳۰۶	۱۰	<۰/۰۵	-۱۰/۰۱	-۹/۳۸۱	۱۰	<۰/۰۵	-۱۰/۰۱	-۹/۳۸۱	–	–	–	–
TKN	(mg/l)	۶۵/۷	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–



شکل ۲: نمودار مقایسه‌ای راندمان حذف BOD، COD و TSS تصفیه خانه فاضلاب بجنورد

جدول ۳: آنالیز ANOVA برای مقایسه میانگین متغیرها در فصول مختلف

آنالیز آماری	متغیر	فصل سال	F	P-value
One-way ANOVA	دما	بهار، تابستان، پاییز و زمستان	۱۰/۲۲	۰/۰۰۴
	BOD	بهار، تابستان، پاییز و زمستان	۱۲/۸۱	۰/۰۰۲
	COD	بهار، تابستان، پاییز و زمستان	۵۸/۸۳	۰/۰۰
	TSS	بهار، تابستان، پاییز و زمستان	۱۳/۱۹	۰/۰۰۲
	VSS	بهار، تابستان، پاییز و زمستان	۲۶/۸۵	۰/۰۰
	فسفات	بهار، تابستان، پاییز و زمستان	۰/۵۶	۰/۶۵
	درجنت	بهار، تابستان، پاییز و زمستان	۱/۴۲	۰/۳۰۵
	نیترات	بهار، تابستان، پاییز و زمستان	۳/۸۶	۰/۰۵۶
	نیتریت	بهار، تابستان، پاییز و زمستان	۰/۸۸	۰/۴۸
	TKN	بهار، تابستان، پاییز و زمستان	۰/۳۳۸	۱/۳۰۶

و VSS در پساب خروجی از تصفیه خانه در فصول مختلف متفاوت است که این تفاوت از نظر آماری معنی دار است. نتایج آزمون POST HOC روی این متغیرها نشان داد که مقدار خروجی در فصول گرم مثل بهار و تابستان بسیار کمتر از فصول پاییز و زمستان است.

نتایج اندازه‌گیری فاکتورهای کیفی فاضلاب شامل غلظت یون کلر، غلظت یون سدیم، هدایت الکتریکی فاضلاب (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) و مقایسه آن با استانداردهای سازمان غذا و کشاورزی آمریکا (FAO) در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: مقایسه خصوصیات کیفی پساب خروجی از تصفیه‌خانه بجنورد با استانداردهای FAO [۹]

پارامتر	پساب تصفیه‌خانه بجنورد	عالی	خوب	قابل قبول	مورد تردید	نامناسب
Cl^- (mg/L)	۲۲۱	۷۰ >	۷۰-۱۴۰	۲۸۰-۱۴۰	۲۸۰ <	-
Na (%)	۴۶/۳۵	۲۰ >	۴۰-۲۰	۶۰-۴۰	۸۰-۶۰	۸۰ <
EC (µs/cm)	۱۹۴۰	۲۵۰ >	۷۵۰-۲۵۰	۲۰۰۰-۷۵۰	۳۰۰۰-۲۰۰۰	۳۰۰۰ <
SAR	۳/۸۹	۱۰ >	۱۸-۱۰	۲۶-۱۸	۲۶ <	-

بحث

استفاده مجدد از فاضلاب شامل کاربرد مستقیم فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری زمین‌های کشاورزی، آبیاری شهری، استفاده مجدد در صنعت، تغذیه آب‌های زیرزمینی و در بعضی موارد تمیزسازی خیابان‌ها، شستشوی ماشین و در سیفون توالت‌ها می‌باشد. عملیات استفاده مجدد، نیازمند میزانی از تصفیه است که گستره‌ای از تصفیه ثانویه تا تصفیه ثالثه پیشرفته را در بر می‌گیرد. هر چه میزان دسترسی عموم و نگرانی در مورد بهداشت عمومی بیشتر باشد، درجه تصفیه بیشتری لازم خواهد بود. تصمیم‌گیری برای توسعه تاسیسات استفاده مجدد آب، اغلب اقتصادی بوده و این موضوع بستگی به این دارد که به فاضلاب به عنوان منبعی که باید دفع شود، نگاه کنیم یا به عنوان یک منبع آب [۱۱]. از نکات اساسی استفاده از پساب‌ها در فضای سبز و کشاورزی، توجه به کیفیت پساب مورد استفاده و رعایت استانداردهای تدوین شده در این خصوص است. بنابراین بهتر است استفاده مجدد، به صورت برنامه ریزی شده و مدبرانه همراه با کنترل کیفی پساب در مبدا صورت گیرد [۱۲].

فعالیت یون هیدروژن و قلیائیت

pH آب نمایانگر مقدار اسیدی و بازی بودن آن است. این پارامتر بر روی گونه‌های غالب موجود در آب اثر می‌گذارد و بنابراین در طی کاربرد مجدد پساب عامل مهمی است که بایستی در نظر گرفته شود مثلاً در کاربرد پساب در کشاورزی، pH در رشد گیاه، تجهیزات آبیاری و خصوصیات آب اثر می‌گذارد. در آب‌های قلیایی، غلظت‌های بالایی از بیکربنات و کربنات وجود دارد که وجود این یون‌ها سبب احیاء منیزیوم و ترسیب کلسیم موجود در خاک شده و بدین ترتیب محتوای کلسیم قابل تعویض خاک کاهش یافته و یا بعبارت دیگر مقدار سدیم نگه داشته شده در خاک (sodicity) افزایش می‌یابد. در نهایت کمبود کلسیم و منیزیم در رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد [۱۳]. طبق نتایج این مطالعه، مقدار متوسط pH (۷/۴۵) در گستره مناسبی برای هر سه نوع کاربرد تخلیه به چاه‌های تزریق، آب‌های سطحی و کاربرد در کشاورزی می‌باشد. صفا و همکاران نیز در سال ۱۳۹۰ نتیجه مشابهی را در بررسی خصوصیات پساب تصفیه خانه شهر کرمان گزارش کرده اند [۱۴].

نوترینت ها (نیتروژن و فسفر)

یکی از جنبه‌های مهم در کاربرد مجدد پساب فاضلاب، وجود نوترینت‌ها در آن است. طبق اطلاعات موجود در جدول ۱، غلظت بالای نیترات در فاضلاب (۱۱/۹ mg/L) را می‌توان به ورود رواناب شهری یا وجود آن در آب مصرفی نسبت داد [۱۵]. همچنین متوسط غلظت نیترات، نیتریت، فسفات و آمونیوم به ترتیب ۳/۸۶، ۰/۳۱، ۱۱/۳۴ و ۴۶/۷۹ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. نتایج به دست آمده در مورد پارامترهای زیر، مشابه نتایج مطالعات دیگر است [۱۴]. بدین ترتیب و با مقایسه با استانداردهای موجود، بنظر می‌رسد که پساب مورد مطالعه از نظر وجود فسفات در غلظتی بیش از مقدار رهنمود شده جهت تخلیه به چاه‌های تغذیه و نیز آب‌های سطحی است و از آنجا که دو یون نیترات و فسفات مسئول نیتریفیکاسیون آب‌های سطحی هستند و فسفات در درجه اول چنین پدیده‌ای قرار دارد [۱۶]، چنانچه برای این دو کاربرد برنامه‌ای وجود داشته باشد، بایستی کاهش بیشتر فسفات در طی تصفیه در دستور کار قرار گیرد. اگرچه از نظر کاربرد آن در کشاورزی محدودیتی وجود ندارد. چرا که بالا بودن این نوترینت‌ها در مصارف کشاورزی اساساً رشد گیاهی را تقویت می‌کند و از آنجا که به مصرف گیاهان می‌رسد و بر روی اکوسیستم خاک اثری نمی‌گذارد [۱۳]، چالشی ایجاد نمی‌کند. نوترینت‌های حاضر در فاضلاب به وسیله گیاهان استفاده شده و به صورت جزئی در ماتریکس خاک باقی می‌ماند و بر اکوسیستم خاک تاثیر منفی ندارد. خوشبختانه مقدار نیترات و نیتریت بسیار کمتر از حد مجاز است و اگرچه پیشتر عنوان کردیم که وجود این دو یون برای گیاهان مضر نیست، اما در صورت بالا بودن و ورود به منابع آبی خطرات مرتبط از جمله بالا رفتن سطح نیترات منابع آبی و در نتیجه افزایش خطر بیماری متهموگلوبینمیا را به همراه خواهند داشت [۱۷].

اکسیژن خواهی شیمیایی و بیولوژیکی

اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD) مبین اکسیژن محلول مورد نیاز میکروارگانیسم‌های موجود در محلول برای

شکستن مواد آلی نمونه در دما و مدت زمان مشخصی است. معمولاً از تست اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) برای سنجش غیر مستقیم مقدار مواد آلی در آب استفاده می‌شود. نسبت COD به BOD_5، قابلیت تجزیه بیولوژیکی فاضلاب را نشان می‌دهد. چنانچه این نسبت کمتر از ۳ باشد نشان دهنده آن است که فاضلاب به طور موفقیت آمیزی توسط روش‌های بیولوژیکی تجزیه می‌شود [۲]. در مطالعه حاضر COD تقریبا ۲/۵ برابر BOD_5 است. با توجه به شکل شماره ۲ مشاهده شد که راندمان حذف BOD در فصل تابستان بیش از فصول دیگر سال بود که می‌تواند به دلیل بالاتر بودن میانگین دمای فاضلاب در این ماه‌ها نسبت به فصول دیگر باشد. نتایج ارائه شده در جدول شماره ۳ نیز نشان می‌دهد که این اختلاف از نظر آماری معنی دار است. در این مطالعه مقدار BOD_5 در خروجی تصفیه خانه (۲۷/۲۵ mg/L) مبین آن است که پساب قابلیت کاربرد در هر سه گزینه ذکر شده در جدول شماره ۲ را دارد. اگرچه متوسط مقدار COD خروجی (۶۰/۹۲ mg/L) کمی بیشتر از استاندارد کاربرد پساب جهت تغذیه مجدد چاه‌ها و نیز تخلیه آن به آبهای سطحی است اما از نظر کاربرد در کشاورزی نگران کننده نمی‌باشد. نتایج ارائه شده در جدول شماره ۲ نشان دهنده معنی دار بودن نتایج آنالیز آماری برای این متغیرها جهت کاربرد پساب در کشاورزی است. همچنین کارایی تصفیه‌خانه مورد مطالعه نسبت به پساب خروجی از تصفیه‌خانه کرمان که با فرایند لجن فعال متعارف، پساب را تصفیه می‌کند [۱۴] در حد مطلوبی قرار دارد. مطالعه دیگری نیز در شهرک اکباتان نتایج مشابهی در حذف این متغیرها از فاضلاب نشان داد [۱۸]. لازم به ذکر است که می‌توان با اتخاذ تدابیری مقدار COD خروجی را به استانداردهای دو گزینه مذکور نیز رسانید. گزینه مهم دیگر در این راستا، غلظت TSS می‌باشد که پایین‌تر از مقادیر رهنمودی بوده (۲۶/۳۳ mg/L) و بنابراین از این نظر نیز کاربرد پساب در آب‌های سطحی یا در کشاورزی نگران‌کننده نمی‌باشد.

در چندین مطالعه گزارش شده در تصفیه‌خانه‌های ایران نیز نتایج مشابهی از نظر برآورده شدن استانداردهای پارامترهای مذکور گزارش شده است [۱۹،۱۳] در رابطه با درجنت باید گفت که با توجه به اینکه مقدار آن در پساب خروجی کمتر از استانداردهای ذکر شده است (۰/۲۱ mg/L)، کارایی تصفیه‌خانه مورد مطالعه نسبت به پساب خروجی از تصفیه‌خانه اردبیل که متوسط درجنت در پساب خروجی آن ۰/۵۱ mg/L گزارش شده [۲۰] در حد مطلوبی قرار دارد.

خطر شوری (TDS و EC)

نمک‌های محلول از مهمترین پارامترهای تشخیص کیفیت آب کشاورزی است. نمک‌های محلول در آب با شوری خاک در ارتباط هستند و بر این اساس؛ رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات از کل نمک‌های محلول در آب اثر می‌پذیرد[۲۱] مطمئن‌ترین شاخص تعیین میزان تاثیر آب آبیاری بر افزایش سدیم تبادلی خاک، پارامتر نسبت جذب سدیم یا SAR است [۲۱]. از جدول ۳ قابل مشاهده است که غلظت SAR در پساب خروجی تصفیه‌خانه ۳/۸۹ می‌باشد که با توجه به رهنمودهای FAO از این نقطه نظر، پساب مربوطه دارای کیفیت عالی برای کاربرد در کشاورزی است. هرچند که هدایت الکتریکی بالای این پساب، آن را به حد قابل قبول برای چنین کاربردی تنزل داده است. به دلیل تاثیر سدیم بر روی خاک، این عنصر یکی از مهمترین کاتیون هاست. سدیم تبادلی، باعث کاهش سرعت نفوذ آب و هوا در خاک می شود [۲۱]. کاتیون‌های دو ظرفیتی باعث بهبود ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها می‌شود. ولی کاتیون‌های یک ظرفیتی باعث پراکندگی ذرات خاک و از بین رفتن ساختمان آن می‌شود. اگر حداقل ۱۰ درصد کاتیون‌های جذب شده سدیم باشد، خاک ساختمان خود را از دست داده و نفوذ بر اثر پراکندگی ذرات خاک کاهش می‌یابد [۲۱]. آثار مخرب سدیم شامل کاهش نفوذ، مشکل در جوانه زنی، تهویه ناکافی خاک و شیوع بیماری‌های ریشه و گیاه است [۲۱]. بر این اساس محتوای سدیم فاکتور مهمی در برآورد کیفیت یک آب جهت استفاده در آبیاری می‌باشد. مقدار بیش از حد سدیم منجر به توسعه شرایط قلیایی در خاک شده و می‌تواند مشکلات فیزیکی را در آن ایجاد نموده و نفوذپذیری خاک را کاهش دهد. همچنین آبیاری با آب دارای مقدار زیادی از سدیم نگرانی زیادی را ایجاد می‌کند چرا که سدیم جذب شده توسط ریشه گیاه به برگ‌ها انتقال یافته و در آنجا تجمع می‌یابد و به بافت گیاه آسیب می‌زند. خطر سدیم با نسبت جذب سدیم بیان می‌شود [۱۳]. با توجه به جدول ۵ مشخص است که خطر سدیم برای خاک در صورت کاربرد پساب تصفیه‌خانه مورد مطالعه اندک می‌باشد.

کلراید

نکته مهم دیگر در جدول ۴ آنست که با توجه به غلظت نسبتاً بالای کلراید در پساب (۲۲۱ mg/L)، همه نوع محصولات کشاورزی را نمی‌توان با چنین آبی آبیاری نمود چرا که این یون ممکن است در برخی از گیاهان حساس ایجاد سمیت نماید [۲۰]. گیاهانی با تحمل شوری متوسط و زیاد مانند گندم، ذرت، انگور، انجیر، زیتون ، انار، نخل رما، پنبه و جو می‌تواند با این پساب آبیاری شود. مهمترین یون‌های سمی عبارتست از سدیم، کلر و بور. غلظت بالای این عناصر باعث اختلال در عملکرد، کاهش عملکرد محصول، تغییر شکل

ظاهری گیاه و حتی مرگ گیاه می‌شود [۲۱]. جدول ۶، طبقه‌بندی آب جهت آبیاری از نظر وجود کلراید را نشان می‌دهد. همانطور که از این جدول مشخص است، این غلظت از کلراید حتی ممکن است سبب آسیب به گیاهانی با تحمل متوسط گردد.

جدول ۵: مقایسه مقدار SAR پساب تصفیه‌خانه بجنورد با مقادیر استاندارد [۲]

خطر سدیم برای خاک	مقادیر SAR
کم	۱۰-۰
متوسط	۱۸-۱۰
زیاد	۲۶-۱۸
بسیار زیاد	>۲۶
پساب تصفیه‌خانه بجنورد	۳/۸۹

جدول ۶: طبقه بندی آب جهت آبیاری از نظر غلظت کلراید آن [۲]

کلراید (mg/L)	اثر بر محصولات کشاورزی
۷۰ >	معمولاً برای انواع گیاهان ایمن است.
۱۴۰-۷۰	به گیاهان حساس آسیب می‌زند.
۳۵۰-۱۴۱	به گیاهان نیمه حساس آسیب می‌زند.
۳۵۰ >	می‌تواند سبب مشکلات جدی شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه مشخص گردید که سیستم تصفیه فاضلاب بجنورد از نقطه نظر راندمان حذف BOD، COD و TSS راندمان مناسبی دارد که در بیشتر موارد غلظت آلاینده‌ها در پساب خروجی مطابق با استانداردهای مربوط به کاربرد آن در کشاورزی می‌باشد. نتایج مقادیر SAR و EC نیز با توجه به استانداردها کم بودن خطر سدیم برای خاک (در مصرف کشاورزی) را تایید می‌کند اما بالا بودن غلظت یون‌هایی مثل کلراید در پساب، کاربرد عمومی آن (برای انواع گیاهان) را دچار محدودیت نموده است. برخی پارامترهای مهم موجود در این پساب حتی استانداردهای مربوط به تخلیه آن در چاه‌های تزریق یا آب‌های سطحی را برآورده می‌کند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از حمایت‌های شرکت آب و فاضلاب شهرستان بجنورد که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند تقدیر و تشکر می‌گردد.

تضاد منافع

این مطالعه برای نویسنده هیچ‌گونه تضاد منافعی نداشته است.

REFERENCES

1. Hammer MJ. Water and wastewater technology. 1986.
2. Moghadam FM, Mahdavi M, Ebrahimi A, Tashauoei HR, Mahvi AH. Feasibility study of wastewater reuse for irrigation in Isfahan, Iran. Middle East J Sci Res. 2015;23:2366-73.
3. Bagheri Ardebilian P, Sadeghi H, Nabaii A, Bagheri Ardebilian M. Assessment of Wastewater Treatment Plant Efficiency: a Case Study in Zanjan. Journal of Health. 2010;1(3):67-75.
4. Nasseri S, Sadeghi T, Vaezi F, Naddafi K. Evaluation Of The Possible Options For Reuse Of Ardebil Wastewater Treatment Plant Effluent. 2008.
5. Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1998;56:97-156.
6. Huertas E, Salgot M, Hollender J, Weber S, Dott W, Khan S, et al. Key objectives for water reuse concepts. Desalination. 2008;218(1-3):120-31. doi: 10.1016/j.desal.2006.09.032
7. Cirelli G, Consoli S, Licciardello F, Aiello R, Giuffrida F, Leonardi C. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. Agricultural Water Management. 2012;104:163-70. doi: 10.1016/j.agwat.2011.12.011
8. Nasseri S, Sadeghi T, Vaezi F, Naddafi K. Quality of Ardabil wastewater treatment plant effluent for reuse in agriculture. 2012.
9. http://www.thesustainabilitycouncil.org/resources/the-koppen-climate-classification-system/
10. Federation WE, Association A. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA. 2005.
11. Pedrero F, Kalavrouziotis I, Alarcón JJ, Koukoulakis P, Asano T. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece. Agricultural Water Management. 2010;97(9):1233-41. doi: 10.1016/j.agwat.2010.03.003
12. Agrafioti E, Diamadopoulos E. A strategic plan for reuse of treated municipal wastewater for crop irrigation on the Island of Crete. Agricultural Water Management. 2012;105:57-64. Doi: 10.1016/j.agwat.2012.01.002
13. Mariolakos I. Water resources management in the framework of sustainable development. Desalination. 2007;213(1-3):147-51. doi: 10.1016/j.desal.2006. 05.062
14. Safa F, Malakutian M, kord mostafa pour f. Feasibility of using Kerman wastewater treatment plant in agriculture. Water Research in Agriculture. 2014;28(1).
15. Vega E, Lesikar B, Pillai SD. Transport and survival of bacterial and viral tracers through submerged-flow constructed wetland and sand-filter system. Bioresource technology. 2003;89(1):49-56. doi: 10.1016/S0960-8524(03)00029-4
16. Chen Z, Ngo HH, Guo W, Lim R, Wang XC, O'Halloran K, et al. A comprehensive framework for the assessment of new end uses in recycled water schemes. Science of the Total Environment. 2014;470:44-52. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.09.061
17. Prazeres AR, Rivas J, Almeida MA, Patanita M, Dôres J, Carvalho F. Agricultural reuse of cheese whey wastewater treated by NaOH precipitation for tomato production under several saline conditions and sludge management. Agricultural Water Management. 2016;167:62-74. doi: 10.1016/j.agwat.2015.12.025
18. Torabian A, Motalebi M. Management plan for reuse of refined effluent (case study: Ekbatan Town). Ecology. 2003;29(32).

19. Kalavrouziotis IK, Apostolopoulos CA. An integrated environmental plan for the reuse of treated wastewater effluents from WWTP in urban areas. Building and Environment. 2007;42(4):1862-8. doi: 10.1016/j.buildenv.2006.07.016
20. Mehravaran B, Ansary H, Beheshti A, Esmaili K. Investigate the Feasibility of Using Wastewater Purication in Irrigation Due to Its Environmental Impacts (The effluent treatment plants parkandabad Mashhad). iranian journal of irrigation and drainage. 2015;3:440-7.
21. Rutkowski T, Raschid-Sally L, Buechler S. Wastewater irrigation in the developing world—two case studies from the Kathmandu Valley in Nepal. Agricultural Water Management. 2007;88(1):83-91. doi: 10.1016/j.agwat.2006.08.012