فصلنامه علوم محیطی، دوره بیست و یکم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

۴۸-۲۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شیراز برای مصارف مختلف

امیر بهرامی[۱*]، فاطمه احدی[۲]، مهدی بهرامی[۳] و فاطمه آقامیر[۴]

[۱] گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۲] گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

[۳] گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران

[۴] گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۳۱

بهرامی، ا.، ف. احدی، م. بهرامی و ف. آقامیر. ۱۴۰۲. ارزیابی کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شیراز برای مصارف مختلف. فصلنامه علوم محیطی. ۲۱(۲): ۲۹-۴۸.

سابقه و هدف: امروزه پساب‌ها به طور گسترده در خاک‌های کشاورزی نزدیک به مناطق شهری کشورهای در حال توسعه برای رفع کمبود آب استفاده می‌شود. از طرف دیگر به دلیل افزایش آلودگی‌های ایجاد شده، منابع محدود موجود مورد تهدید قرار می‌گیرد. استفاده از آب‌های نامتعارف در صورت دارا بودن استاندارد لازم در بسیاری از کشورهای دنیا برای تولید محصولات کشاورزی کاربرد دارد و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری به دلیل قابلیت تحویل آب پایدار در تمام فصول سال منبع بسیار قابل اعتمادی می‌باشند. در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی در زمینه بررسی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و امکان استفاده از آنها در مصارف مختلف از جمله کشاورزی، در شهرهای مختلف ایران انجام شده است. با توجه به بحران آبی به وجود آمده به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک کشور، ضروری است امکان استفاده بیشتر از این منبع آبی نامتعارف مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. هرچند بازچرخانی فاضلاب می‌تواند پیامدهای بهداشتی و زیست محیطی مختلفی را به دنبال داشته باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش با استفاده از داده‌های روزانه تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شیراز طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ به بررسی کیفیت پساب خروجی برای مصارف مختلف مانند آبیاری محصولات کشاورزی، آبیاری فضای سبز، شرب دام و طیور، پرورش ماهی، تخلیه به آب‌های سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی بر اساس استانداردهای ملی و بین‌المللی پرداخته شد. در این راستا، ابتدا مقادیر پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی 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، شوینده‌ها، فسفات، فسفر کل، نیترات، نیتریت،

* Corresponding Author: *Email Address*. bahramisoil@gmail.com
http://dx.doi.org/10.48308/envs.2023.1151
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.2.11.9

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

آمونیاک، نیتروژن کل کجلدال، کلر آزاد و چربی- روغن- گریس در فاضلاب خام و پساب خروجی تعیین گردید. سپس ضمن 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 و بحث: نتایج نشان داد که راندمان حذف BOD_5، COD، TSS، NH_3، شوینده‌ها و چربی- روغن- گریس در این تصفیه‌خانه به ترتیب ۸۵، ۸۵، ۶۷، ۶۴، ۹۴ و ۶۸/۵ درصد است. 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. 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.

نتیجه‌گیری: مقدار پارامترهای کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه در محدوده استاندارد حفاظت محیط زیست ایران قرار دارد و می‌توان از آن به عنوان منبع آبی پایدار در بخش‌هایی استفاده نمود که ارتباط مستقیم با انسان ندارد. در استفاده از این منبع در مصارف مجاز باید کلیه موارد بهداشتی برای کارگران این بخش رعایت شود و پساب به طور مستمر گندزدایی گردد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه‌خانه؛ کیفیت آب کشاورزی؛ فاضلاب؛ شیراز.

مقدمه

امروزه با صنعتی شدن جوامع، رشد جمعیت شهری، توسعه شهرنشینی و کشاورزی و ارتقاء سطح بهداشت و آگاهی مردم، موجبات افزایش تقاضا برای آب و ایجاد فشار بیش از اندازه به منابع محدود آبی کشور فراهم گردیده است (Bahrami *et al*., 2020b; Bahrami and Aghamir, 2020). بنابراین مدیریت منابع آب در دسترس و بازچرخانی و استفاده مجدد به جای یافتن منابع جدید آب ضروری به نظر می‌رسد (Huertas *et al*., 2008). در سراسر جهان بخش کشاورزی به طور متوسط با مصرف حدود ۷۰ درصد از کل مصرف سالیانه آب بزرگترین مصرف کننده به شمار می‌رود (The world bank, 2020). کشور ایران با ۱/۱ درصد از مساحت دنیا تنها ۰/۳۴ درصد از کل آب‌های موجود در جهان را در اختیار دارد و به دلیل کمبود ریزش‌های جوی و بالا بودن مقدار تبخیر، جزو مناطق خشک و نیمه خشک طبقه بندی می‌شود. به طوری که نصف مساحت کل کشور را مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد. در سال‌های اخیر استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به عنوان یک منبع آب نامتعارف و تنها منبع پایدار آب برای آبیاری محصولات کشاورزی با اقبال بسیاری مواجه شده است. استفاده از پساب به عنوان یکی از راهکارهای کاهش پیامدهای ناشی از بروز بحران آب و همچنین کاهش پیامدهای نامطلوب زیست محیطی و بهداشتی ناشی از تخلیه فاضلاب‌ها به منابع آبی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، مورد توجه قرار گرفته است (Abedi-Koupai *et al*., 2006; Singh *et al*., 2012; Bahrami, 2014).

آب‌های نامتعارف به آن دسته از آب‌هایی اطلاق می‌شود که از آنها به صورت معمول نمی‌توان استفاده نمود و برای به کارگیری آنها به اعمال سیاست‌های مدیریتی و حفاظتی ویژه‌ای نیاز است (Bekhradipour *et al*., 2011). به طور کلی آب‌های نامتعارف را می‌توان به سه دسته کلی آب‌های شور، زه آب‌ها و فاضلاب‌ها تقسیم نمود (Foladvand, 2009). فاضلاب همان آب مصرفی

جامعه است که در نتیجه کاربردهای مختلف، آلوده شده و قابل استفاده برای مصرف مورد نظر نیست (Monzavi, 2004). فاضلاب‌ها از نظر منبع تولید به انواع شهری، صنعتی و زهاب‌های کشاورزی تقسیم بندی می‌شوند. فاضلاب شهری ترکیب زایدی است که به وسیله آب از مناطق مسکونی، اداری، تجاری و صنایع درون شهری حمل می‌شود و بر حسب شرایط ممکن است با آب‌های زیرزمینی، سطحی یا سیلاب‌ها آمیخته گردد (Bagheri Ardebilian *et al*., 2020). فاضلاب‌های شهری به دلیل خطرات بهداشتی و وجود برخی مواد و عناصر (یون‌های قابل تبادل، املاح و مواد جامد آلی) جزو آب‌های غیرمتعارف محسوب می‌شوند اما غیرمتعارف بودن آن دلیل بر غیرقابل مصرف بودن آن نیست (Alizadeh, 1997). فاضلاب تصفیه شده شهری یکی از در دسترس‌ترین منابع آبی جایگزین در نقاطی است که دارای منابع آب طبیعی محدودی هستند (Cirelli *et al*., 2012). امروزه اثر مستقیم کیفیت آب آبیاری بر خصوصیات خاک و محصولات کشاورزی به طور کامل مشخص گردیده است. به عنوان مثال یکی از مهم‌ترین معضلات ناشی از کاربرد منابع آب کم کیفیت در کشاورزی شورشدن خاک است، به گونه‌ای که سالانه ۱۰ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی در جهان به دلیل افزایش شوری به زمین‌های غیرقابل کشت تبدیل می‌شوند (Kwiatkowski *et al*., 1995).

استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کشاورزی، فضای سبز و صنعت مزایای متعددی از قبیل فراهم نمودن یک منبع آب ارزان و دائمی، کاهش هزینه‌های تصفیه، آزادسازی بخشی از منابع آب با کیفیت مناسب برای دیگر مصارف و کاهش پیامدهای زیست محیطی دفع پساب به منابع آبی را به دنبال دارد (Ghasemi, 2019). پساب را با توجه به کیفیت آن (درجه تصفیه) می‌توان در شهرها برای مصارف آبیاری فضای سبز، آبیاری زمین‌های بازی، آتش‌نشانی، فلاش تانک سرویس‌های بهداشتی همگانی، کنترل گرد و غبار، بتن-سازی، استخرها، آبنماها، لباسشویی‌ها، کارواش‌ها، شستشوی محوطه‌های شهری و پنجره‌ها، صنایع و فرآیندهای صنعتی آب‌بر، خنک‌کننده‌ها، مخازن آب گرم و دیگ‌های بخار، تأمین کامل نیاز آبیاری و یا ترکیب با دیگر منابع آب آبیاری، حفاظت محیط زیست، تفرجگاه‌ها، تالاب‌های طبیعی و مصنوعی، قایقرانی، ماهیگیری، شنا و تقویت جریان آب رودخانه، تغذیه منابع آب زیرزمینی و تقویت منابع آب شرب مورد استفاده قرار داد (USEPA, 2004; Amiri *et al*., 2019; Bahrami *et al*., 2020a). در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده، با توجه به نوع استفاده مجدد، نحوه کاربرد و احتمال تماس انسان با آن، کیفیت متفاوتی از فاضلاب تصفیه‌شده قابل قبول خواهد بود. البته هر یک از روش‌های استفاده مجدد دارای محدودیت‌هایی هستند که ابتدا باید این محدودیت‌ها را شناسایی نمود و سپس اقدام به مدیریت و تخصیص پساب نمود (Poordara *et al*., 2004). بنابراین در صورت نیاز به استفاده مجدد از پساب، باید مشخص شود که پساب تصفیه شده تا چه اندازه استانداردهای تعیین شده برای کاربرد مورد نظر را تامین می‌کند.

پژوهشگران تصفیه‌خانه فاضلاب کرمانشاه (لجن فعال متعارف) را به مدت یک سال ارزیابی و متوسط راندمان حذف پارامترهای TSS، BOD_5 و COD را به ترتیب ۸۳/۷، ۸۸/۹ و ۸۹/۳ درصد گزارش نمودند و مشکل این تصفیه خانه را عدم مدیریت مناسب روی لجن دفعی به منظور مصرف بهینه بیان کردند (Dindarlou *et al*., 2018). در پژوهشی تصفیه‌خانه فاضلاب سنندج (لجن فعال با هوادهی گسترده) با نمونه‌برداری مرکب در دو فصل پاییز و تابستان ارزیابی و متوسط راندمان حذف COD، BOD_5 و TSS به ترتیب ۹۰/۳، ۹۳/۹ و ۸۶/۴ درصد گزارش شده و استفاده از پساب تصفیه‌خانه برای کشاورزی، تخلیه به

آب‌های سطحی و تغذیه مصنوعی (چاه‌های جذبی) مطلوب تشخیص داده شد (Mohammadi *et al*., 2016). با ارزیابی تصفیه خانه فاضلاب شیراز به مدت سه ماه، متوسط مقدار شوینده‌ها در فاضلاب و پساب به ترتیب ۴/۸ و ۱/۱ میلی‌گرم در لیتر و متوسط راندمان حذف آن ۷۹ درصد گزارش شده است؛ در نتیجه تخلیه پساب به آب‌های سطحی مجاز ارزیابی شده ولی تخلیه به آب‌های زیرزمینی مجاز نبوده است (Dehghani *et al*., 2013b). همچنین در بررسی یک ماهه عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب شیراز، متوسط راندمان حذف TSS، COD و کدورت به ترتیب ۷۱/۴، ۸۵ و ۷۱ درصد و مقدار حذف SVI بیش از ۱۵۰ میلی‌لیتر بر گرم گزارش شده است (Dehghani *et al*. 2013a). با ارزیابی تصفیه خانه فاضلاب شیراز به مدت سه ماه، متوسط مقدار روغن- چربی- گریس در فاضلاب و پساب به ترتیب ۲۵/۵ و ۸/۱ میلی‌گرم در لیتر، متوسط راندمان حذف آن ۷۰ درصد و تخلیه پساب به آب‌های سطحی مجاز گزارش شده است (Dehghani *et al*., 2012).

هدف از پژوهش حاضر ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شیراز و بررسی کیفیت پساب خروجی آن برای مصارف مختلف از جمله آبیاری محصولات کشاورزی، آبیاری فضای سبز، شرب دام و طیور، پرورش ماهی، تخلیه به آب‌های سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی بر اساس استانداردهای ملی و بین‌المللی بود.

مواد و روش‌ها

مشخصات کلی تصفیه‌خانه فاضلاب شماره یک شیراز

تصفیه خانه فاضلاب شماره یک شیراز در زمینی به مساحت ۷۵ هکتار در شرق شیراز در طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ”۲۳ ’۳۸ °۵۲ شرقی و ”۴۳ ’۳۲ °۲۹ شمالی و ارتفاع ۱۴۷۵ متر از سطح آب آزاد دریا واقع شده است. بر اساس طرح اولیه مشاور، این تصفیه خانه شامل سه مدول ۳۰۰ هزار نفری است که در حال حاضر مدول اول آن در حال بهره برداری است. مساحت مدول اول آن حدود ۲۵ هکتار بوده و در سال ۱۳۸۵ با مشخصات ذکر شده در جدول (۱) به بهره برداری رسیده است. در مطالعات بازنگری که به وسیله بانک جهانی انجام گردید مدول اول تصفیه خانه قادر به پوشش جمعیت ۴۱۰ هزار نفر است. در فاز توسعه تنها یک مدول ۱۷۰ هزار نفری برای این منطقه کفایت می‌نماید و لذا جمعیت نهایی تحت پوشش این تصفیه خانه ۵۸۰ هزار نفر خواهد بود.

این پژوهش با استفاده از داده‌های روزانه مربوط به سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ آزمایشگاه تصفیه‌خانه فاضلاب شماره یک شیراز (تهیه شده به روش استاندارد) انجام شد. برای بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شیراز در آبیاری محصولات کشاورزی، آبیاری فضای سبز، شرب دام و طیور، پرورش ماهی، تخلیه به آب‌های سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی پارامترهای کیفی آن به صورت ماهانه در سال‌های مورد مطالعه محاسبه گردید. پارامترهای متفاوتی مانند اسیدیته (pH)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، کل جامدات محلول (TDS)، کل مواد جامد معلق (TSS)، کل جامدات فرار (TVS)، کل جامدات (TS)، اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD_5)، کدورت (Turbidity)، اکسیژن محلول (DO)، شوینده‌ها (Detergent)، فسفات (PO_4)، فسفر کل (TP)، نیترات (NO_3)، نیتریت (NO_2)، آمونیاک (NH_3)، نیتروژن کل کجلدال (TKN)، کلر آزاد (Free Chlorine) و چربی- روغن- گریس (FOG) تعیین و سپس مقادیر این پارامترها با استانداردهای مختلف ملی و جهانی مقایسه شد. ضمن مقایسه مقادیر خروجی پارامترها با محدوده مجاز آنها در قالب استانداردهای مختلف، راندمان حذف این پارامترها محاسبه شده و در نهایت کیفیت پساب خروجی برای

به کارگیری در بخش‌های گوناگون مورد بررسی گرفت. ارزیابی این تصفیه خانه به استناد ماده‌های ۳ و ۵ آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب انجام گردید که با همکاری وزارتخانه‌های بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، نیرو، صنایع و معادن و فلزات، کشور، کشاورزی و سازمان حفاظت محیط زیست تدوین و تهیه گردیده است.

جدول ۱- مشخصات فاضلاب ورودی و پساب خروجی در فاز طراحی

Table 1. Characteristics of raw and treated wastewater in the design phase

فاضلاب خام Raw wastewater			فاضلاب تصفیه شده Treated wastewater		
دبی Q ($m^3\ day^{-1}$)	اکسیژن خواهی بیوشیمیایی BOD_5 ($mg\ L^{-1}$)	کل مواد جامد معلق TSS ($mg\ L^{-1}$)	اکسیژن خواهی بیوشیمیایی BOD_5 ($mg\ L^{-1}$)	کل مواد جامد معلق TSS ($mg\ L^{-1}$)	کلیفرم مدفوعی Fecal coliform ($No\ (100\ cc)^{-1}$)
81216	240	315	30	40	400

مراحل تصفیه فاضلاب در تصفیه‌خانه شیراز

تصفیه فیزیکی

تصفیه فیزیکی شامل آشغال‌گیر دهانه درشت و دهانه ریز، حوضچه دانه‌گیر و چربی‌گیر و حوضچه ته‌نشینی اولیه است. در ابتدای تصفیه‌خانه و قبل از ایستگاه پمپاژ ورودی یک واحد آشغال‌گیر دهانه درشت (بازشو ۵۰ میلی‌متر) از نوع خودکار قرار دارد. ایستگاه پمپاژ ورودی شامل سه دستگاه پمپ حلزونی (اسکروپمپ) است که ظرفیت هر پمپ ۷۵۰ لیتر در ثانیه است. پس از ایستگاه پمپاژ ورودی، دو واحد آشغال‌گیر دهانه ریز خودکار (بازشو ۲۵ میلی‌متر) قرار دارد. پس از آن دانه‌ها و چربی‌ها به ترتیب در واحدهای دانه‌گیر و چربی‌گیر از فاضلاب جدا می‌گردد. آخرین مرحله از تصفیه فیزیکی شامل دو واحد ته‌نشینی اولیه از نوع مدور و تغذیه از مرکز است.

تصفیه بیولوژیکی

تصفیه بیولوژیکی شامل واحد انتخاب‌گر بیولوژیکی، هوادهی و حوضچه ته‌نشینی دوم است. پساب خروجی از حوضچه ته‌نشینی اولیه ابتدا وارد واحد سلکتور شده (کنترل بالکینگ رشته‌ای) و پس از ادغام با لجن برگشتی برای حذف مواد آلی کلوئیدی و محلول وارد حوضچه هوادهی می‌شود. فرآیند لجن فعال از نوع متعارف با لجن برگشتی و رژیم هیدرولیکی از نوع نهرگونه است. فاضلاب پس از خروج از حوضچه هوادهی وارد حوضچه‌های ته‌نشینی نهایی از نوع مدور و تغذیه از مرکز می‌شود. پساب خروجی از حوضچه ته‌نشینی دوم به منظور حذف عوامل بیماری‌زا به وسیله محلول پرکلرین ضدعفونی شده و برای کشاورزی و آبیاری فضای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

واحد تغلیظ، تثبیت و آبگیری لجن

واحد تغلیظ، تثبیت و آبگیری لجن شامل واحد تزریق مواد شیمیایی، تانک اختلاط، تانک تغلیظ، ایستگاه پمپاژ به هاضم‌ها، هاضم‌های بی‌هوازی، بسترها و سلول‌های خشک‌کن ثقلی و واحد آبگیری مکانیکی لجن است. لجن تولیدی در فرآیند، در واحد تغلیظ به روش انعقاد و لخته‌سازی آبگیری شده و برای عملیات تثبیت آماده می‌گردد. پس از تغلیظ، لجن برای تثبیت وارد هاضم‌های بی‌هوازی می‌گردد. روش تثبیت هضم بی‌هوازی در فاز دمایی مزوفیل و در دو مرحله هضم و لایه‌بندی لجن انجام می‌گردد. پس از عمل هضم به دو روش بسترهای ثقلی لجن خشک‌کن و یا دستگاه‌های آبگیر مکانیکی از نوع سانتریفوژ، آبگیری انجام شده و به محل دپوی لجن منتقل می‌گردد. در حال حاضر بیوگاز تولیدی در فلرها سوزانده می‌شود و لجن آبگیری شده برای انجام مراحل تکمیلی تثبیت دپو می‌گردد.

نتایج و بحث

مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین پارامترهای کمّی و کیفی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه شیراز و پساب خروجی آن

محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۲) ارایه شده است. همچنین در شکل (۱) مقادیر این پارامترها در جریان‌های ورودی و خروجی تصفیه‌خانه با استانداردهای موجود مقایسه شده است. در ترسیم شکل (۱)، مقادیر تمام پارامترها در فاضلاب خام و تصفیه شده بر مقدار استاندارد مربوطه تقسیم شده و مقدار واحد به عنوان استاندارد همه پارامترها مبنای مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بیشتر پارامترهای کیفی فاضلاب خام دارای مقادیر بیش از استانداردهای ملی و بین‌المللی آب آبیاری اشاره شده در جدول (۳) هستند. دامنه تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی (EC) پساب خروجی در مدت زمان مورد مطالعه بین ۱۶۱۲/۸ تا ۱۹۱۶/۶ (متوسط ۱۷۶۷/۸) میکروموس بر سانتی‌متر در حال نوسان است. این پساب با میانگین EC برابر با ۱/۸ ($ds\ m^{-1}$) از نظر هیچ یک از استانداردهای ملی و جهانی برای اهداف کشاورزی مجاز نیست. در پژوهشی مشابه مقادیر EC و SAR پساب خروجی از تصفیه‌خانه شهری زابل بیش از حد مجاز آب آبیاری تشخیص داده شده است (Kahkhamoghadam and Banejad, 2019).

غلظت TDS پساب بیش از حد استانداردهای سازمان بهداشت جهانی، سازمان خوار و بار و کشاورزی و نشریه ۵۳۵ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری است. مقدار جامدات معلق پساب ($mg\ L^{-1}$ ۶۵/۴) بیش از مقادیر استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا و نشریه ۵۳۵ بوده ولی از نظر استاندارد سازمان محیط زیست ایران ($۱۰۰\ mg\ L^{-1}$) قابلیت استفاده برای آبیاری را دارد. کم بودن مقادیر این پارامتر نشان از عملکرد مناسب حوضچه ته‌نشینی دوم دارد، به طوری که متوسط راندمان حذف TSS به وسیله این تصفیه‌خانه معادل ۶۷/۱ درصد است. استفاده از پساب با غلظت جامدات معلق بیش از حد مجاز می‌تواند موجب مسدود شدن خلل و فرج خاک شده و نفوذپذیری خاک را کاهش دهد (Yazdanee *et al.*, 2014). از راهکارهای مناسب برای کاهش اثر مواد معلق پساب بر نفوذپذیری لایه سطحی خاک می‌توان به کاهش مواد معلق در تصفیه‌خانه، ترکیب آب با کیفیت مناسب با پساب و یا آبیاری یک در میان با آب و پساب اشاره کرد.

میانگین کدورت پساب (۵/۷۵ NTU) از مقدار استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (۲ NTU) بیشتر است ولی در محدوده مجاز استاندارد سازمان محیط زیست ایران (۵۰ NTU) قرار دارد. غلظت اکسیژن محلول آن ($۳\ mg\ L^{-1}$) کمتر از حداقل مورد نیاز از نظر استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا ($۵۰۰-\ mg\ L^{-1}$ ۲۰۰۰) و بیشتر از استاندارد سازمان محیط زیست ایران ($۲\ mg\ L^{-1}$) می‌باشد. مقدار کلر آزاد نیز در پساب خروجی در تمام اندازه‌گیری‌ها در محدوده مجاز تمام استانداردهای مورد استفاده است.

جدول ۲- مقادیر آماری پارامترهای کمی و کیفی فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه و پساب خروجی

Table 2. Values of quantitative and qualitative parameters of raw and treated wastewater

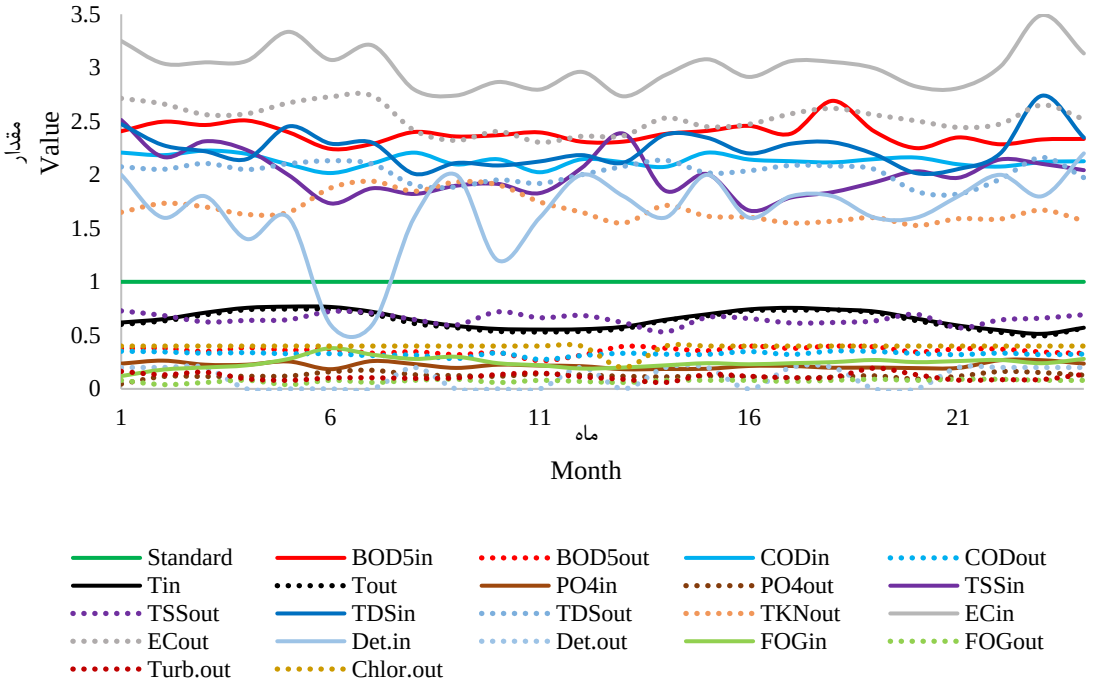
پارامتر Parameter		کمینه Min	میانگین Avg.	بیشینه Max	پارامتر Parameter		کمینه Min	میانگین Avg.	بیشینه Max
دبی Q ($m^3\ day^{-1}$)	in	69775	76112	78430	TVS ($mg\ L^{-1}$)	Out	96.80	113.09	139.30
	Out	68640	70539	74398		in	1086	1211	1425
اکسیژن خواهی بیوشیمیایی BOD_5 ($mg\ L^{-1}$)	in	224.20	238.43	269.10	TS ($mg\ L^{-1}$)	Out	876	976	1039
	Out	26.40	35.87	39.90		R%		19.22	
	R%		84.95		NO_3 ($mg\ L^{-1}$)	in	3.00	7.95	3.00

ادامه جدول ۲- مقادیر آماری پارامترهای کمی و کیفی فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه و پساب خروجی
Table 2. Values of quantitative and qualitative parameters of raw and treated wastewater

پارامتر Parameter		کمینه Min	میانگین Avg.	بیشینه Max	پارامتر Parameter		کمینه Min	میانگین Avg.	بیشینه Max
اکسیژن خواهی شیمیایی COD (mg L^{-1})	in	403.30	426.37	445.20	NO_3 (mg L^{-1})	Out	8.00	15.50	19.00
	Out	55.20	65.37	70.70		R%		-198.03	
	R%		84.67		NO_2 (mg L^{-1})	in	0.10	0.24	0.70
اسیدیته pH	in	7.00	7.56	7.80		Out	0.00	0.46	2.70
	Out	6.90	7.35	7.60		R%		-35.22	
	R%		2.75			in	32.70	11.39	52.20
دما T (°C)	in	18.00	22.85	26.90	NH_3 (mg L^{-1})	Out	7.70	13.99	22.20
	Out	17.30	22.23	26.10		R%		63.87	
	R%		2.77		TKN (mg L^{-1})	Out	45.80	50.50	58.20
فسفات PO_4 (mg L^{-1})	in	9.20	11.00	13.40		in	1913	2107	2444
	Out	2.30	6.13	8.70	EC (µmho cm^{-1})	Out	1613	1768	1917
	R%		43.74			R%		15.97	
فسفر کل TP (mg L^{-1})	in	4.30	13.03	18.00		in	0.30	0.83	1.10
	Out	0.80	7.35	11.50	Detergent (mg L^{-1})	Out	0.00	0.05	0.10
	R%		45.64			R%		94.08	
کل مواد جامد معلق TSS (mg L^{-1})	in	166.70	200.47	251.20		in	1.20	2.45	3.80
	Out	53.30	65.37	72.90		Out	0.40	0.74	0.90
	R%		67.09		FOG (mg L^{-1})	R%		68.46	
کل جامدات محلول TDS (mg L^{-1})	in	904.10	1009.70	1232.50	Turbidity (NTU)	Out	3.00	5.75	9.70
	Out	819.20	909.91	972.70	Free Chlorine (mg L^{-1})	Out	0.10	0.20	0.20
	R%		9.65		DO (mg L^{-1})	Out	1.80	2.91	5.10

تغییر مقادیر فسفات (PO_4)، فسفر کل (TP)، نیترات (NO_3)، نیتریت (NO_2)، آمونیاک (NH_3) و نیتروژن کل کجلدال (TKN) در پساب خروجی نشان داد که میانگین این پارامترها در طی مدت زمان مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۶/۱، ۷/۴، ۱۵/۵، ۰/۵، ۱۴/۰ و ۵۰/۵ میلی‌گرم در لیتر است. با توجه به نتایج جدول (۲)، راندمان حذف فسفات، فسفر کل، نیترات، نیتریت و آمونیاک به وسیله فرایندهای تصفیه در ایستگاه به ترتیب معادل ۴۳/۷، ۴۵/۶، ۱۹۸-، ۳۵/۲- و ۶۳/۹ درصد است. مقادیر منفی راندمان حذف نیترات و نیتریت و یا به عبارت دیگر، افزایش غلظت این آنیون‌ها در فاضلاب تصفیه شده به این دلیل است که در طی فرایند تصفیه، آمونیاک ورودی به نیتریت و نیترات تبدیل می‌شود. با توجه به نیاز خاک به کودهای فسفاته و نیتراته برای تولید محصولات کشاورزی، در اکثر استانداردها حد مجازی برای این عناصر در نظر گرفته نشده است. بنابراین پساب خروجی این تصفیه‌خانه از نظر مقادیر نیترات و فسفات برای کاربری کشاورزی قابل استفاده است، هر چند مقدار نیترات آن بر اساس استانداردهای WHO و FAO بیش از حد مجاز است. از طرف دیگر، آبیاری با پساب افزایش نیترات در خاک را سبب می‌شود (Yazdanee *et al.*, 2014) که امکان شستشو و انتقال آن به منابع آب سطحی و زیرزمینی وجود خواهد داشت.

آلودگی حرارتی سبب از بین رفتن میکروارگانیسم‌ها و دیگر موجودات زنده در محیط‌های پذیرنده خاک و آب می‌شود. با توجه به آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب، درجه حرارت پساب باید به اندازه‌ای باشد که در شعاع ۲۰۰ متری محل ورود آن، درجه حرارت منبع پذیرنده آبی را بیش از ۳ درجه سلسیوس افزایش یا کاهش ندهد. مقادیر کمینه، میانگین و بیشینه درجه حرارت فاضلاب تصفیه شده به ترتیب معادل ۱۷/۳، ۲۲/۲ و ۲۶/۱ درجه سلسیوس است. هر چند اکثر استانداردهای مورد بررسی برای درجه حرارت منبع آب در کاربری کشاورزی محدوده‌ای تعریف نکرده است اما از آنجایی که عملیات تصفیه فاضلاب در محیط باز صورت می‌گیرد، تغییرات زیادی بین درجه حرارت منبع پذیرنده آبی و پساب خروجی تصفیه‌خانه متصور نیست.



شکل ۱- مقایسه مقادیر پارامترهای کیفی در فاضلاب خام و پساب خروجی با مقدار استاندارد

Fig. 1- Comparison of the parameters' values in raw and treated wastewater with the standard value

مقدار میانگین اکسیژن خواهی بیوشیمیایی فاضلاب تصفیه شده ($36\ mg\ L^{-1}$) کمتر از بیشینه مقدار مجاز استاندارد سازمان محیط زیست ایران برای استفاده در آبیاری ($100\ mg\ L^{-1}$) است. در حالی‌که این مقدار در محدوده مجاز استانداردهای نشریه ۵۳۵ ($31\ mg\ L^{-1}$) و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا ($30\ mg\ L^{-1}$) می‌باشد. غلظت TKN و نیترات پساب نیز بیش از حد مجاز استانداردهای موجود است. پایش تغییرات اکسیژن خواهی شیمیایی فاضلاب تصفیه شده در مدت زمان مورد مطالعه نشان داد مقدار COD خروجی با متوسط ۶۵ میلی‌گرم در لیتر (متوسط راندمان حذف ۸۴/۷ درصد) با بیشینه مقدار مجاز استانداردهای مختلف برای کاربری کشاورزی بسیار فاصله دارد. در پژوهشی مشابه، راندمان حذف BOD_5 و COD در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری اکباتان به ترتیب ۹۷ و ۹۵ درصد گزارش شد و در نتیجه کیفیت پساب خروجی این تصفیه‌خانه برای مصارف کشاورزی مناسب تشخیص داده شد (Anbir and Noori, 2018). همچنین مقادیر متوسط BOD_5 و COD در پساب خروجی تصفیه‌خانه جهان‌آباد میبد بیش از محدوده استاندارد و حد مجاز برای مصارف کشاورزی و آبیاری گزارش شد که ممکن است استفاده از این پساب عملکرد زیست محیطی نامطلوب این دو پارامتر را در پی داشته باشد (Dehghani Firoozabady *et al.*, 2017).

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای پساب خروجی با استانداردهای ملی و جهانی کیفیت آب‌های بازیافتی جهت کشاورزی

Table 3. Comparison of treated wastewater parameters with national and international quality standards of recycled water for agriculture

پارامتر Parameter	واحد Unit	میانگین Mean value	سازمان بهداشت جهانی WHO	سازمان خوار و بار کشاورزی FAO	آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا USEPA	سازمان محیط زیست ایران DOE	نشریه ۵۳۵ Pub. 535	عربستان سعودی Saudi Arabia	
								سبزیجات Vegetables	تمام خاک‌ها All soils
اسیدیته pH	-	7.35	6-8.5	6.5-8	6.5-8.4	6-8.5	6.5-8.4	5.5-8.5	5.5-8.5
قابلیت هدایت الکتریکی EC	$ds\ m^{-1}$	1.8	0.7	0.7	0.7	-	0.7	-	-
کل جامدات TS	$mg\ L^{-1}$	976	-	-	-	-	-	-	-
کل جامدات محلول TDS	$mg\ L^{-1}$	910	450	450	-	-	450	1000-2000	-
کل جامدات معلق TSS	$mg\ L^{-1}$	65.4	-	-	30	100	40	100	10
کل جامدات فرار TVS	$mg\ L^{-1}$	113	-	-	-	-	-	-	-
کدورت Turb.	NTU	5.75	-	-	2	50	-	-	-
کمینه اکسیژن محلول DO (at least)	$mg\ L^{-1}$	3	-	-	500-2000	2	-	-	-
دما T	ºC	22	-	-	-	-	-	35	-
شوینده Detergent	$mg\ L^{-1}$	0.05	-	-	-	0.5	-	-	-
چربی-روغن-گریس FOG	$mg\ L^{-1}$	0.74	-	-	-	10	-	-	-
اکسیژن خواهی بیوشیمیایی BOD_5	$mg\ L^{-1}$	36	-	-	30	100	31	80	10
اکسیژن خواهی شیمیایی COD	$mg\ L^{-1}$	65	-	-	120	200	-	150	-
فسفر کل TP	$mg\ L^{-1}$	7.35	-	-	-	-	-	-	-
فسفات PO_4	$mg\ L^{-1}$	6.13	-	-	10	-	50	-	-
نیتروژن کل کجلدال TKN	$mg\ L^{-1}$	50.5	-	-	30	-	-	30	-
آمونیاک NH_3	$mg\ L^{-1}$	14	-	-	-	-	-	-	-
نیتریت NO_2	$mg\ L^{-1}$	0.5	-	-	-	-	-	-	-
نیترات NO_3	$mg\ L^{-1}$	15.5	5	5	-	-	-	-	-
کلر آزاد Free Chlorine	$mg\ L^{-1}$	0.2	-	-	0.28	0.5	0.2	-	-

بر اساس مقادیر مجاز پارامترهای COD، BOD_5، TDS، pH و کدورت در جدول (۴)، استفاده از پساب خروجی تصفیه‌خانه شیراز برای آبیاری درختان میوه زینتی و محصولات علوفه‌ای از نظر استاندارد WHO مجاز است. همچنین بر اساس استاندارد اردن می‌توان برای آبیاری درختان و فضای سبز کنار جاده‌های خارج از شهر و نیز محصولات زراعی، صنعتی و جنگلی از این پساب استفاده کرد. در حالی که این پساب بر اساس استاندارد عربستان سعودی تنها برای آبیاری مناطق با دسترسی محدود مجاز است.

جدول ۴- درجه تصفیه و استانداردهای کیفی مورد نیاز جهت کاربرد در آبیاری (Bahrami *et al.*, 2020a)

Table 4. The required degree of treatment and quality standards for application in irrigation (Bahrami *et al.*, 2020a)

مورد کاربرد Application	توصیه شده توسط Recommended by	حدود مجاز Permitted limits					
		اکسیژن خواهی شیمیایی COD	اکسیژن خواهی بیوشیمیایی BOD_5	کل جامدات محلول TDS	اسیدیته pH	کدورت Turbidity	کلیفرم‌ها Coliforms
آبیاری محدود Restricted irrigation	استانداردهای ایران Iranian standards	150	30	< 1000	6.5-8.5	-	1000
آبیاری نامحدود Unrestricted irrigation	استانداردهای ایران Iranian standards	30	10	450	6.5-8.5	10	400
آبیاری درختان میوه زینتی و محصولات علوفه ای Irrigation of ornamental fruit trees and fodder crops	سازمان بهداشت جهانی WHO	-	240	-	-	-	1000
آبیاری سبزیجاتی که احتمالاً به صورت نپخته مصرف می شوند Irrigation of vegetables likely to be eaten uncooked	سازمان بهداشت جهانی WHO	-	20	-	-	-	200
آبیاری اماکن عمومی و محصولات خوراکی که به صورت تجاری فرآوری نخواهند شد و خام مصرف نمی‌شوند. Irrigation for public areas and food crops that will not be commercially processed and any crop eaten raw	آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا USEPA	-	10	-	6-9	2	0
آبیاری مناطق ممنوعه و محصولات خوراکی که به صورت تجاری فرآوری می‌شوند، محصولات غیر خوراکی و مراتع Irrigation of restricted areas and food crops that will be commercially processed Non-food crops and pastures	آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا USEPA	-	30	-	6-9	-	100
الف: سبزیجات پخته‌شده، پارکینگ، زمین‌های بازی، و کنار جاده‌های داخل شهرها ب: درختان فراوان و نواحی سبز، کنار جاده‌های خارج شهرها ج: محصولات زراعی، محصولات صنعتی و جنگلی a: Cooked vegetables, parking areas, playgrounds, and side of roads inside cities b: Plenteous trees and green areas, side of roads outside cities c: Field crops, industrial crops, and forestry	استاندارد اردن Jordanian standard	100[a] and 500[b,c]	30[a], 200[b] and 300[c]	1500	6-9	10	100[a] and 1000[b]

ادامه جدول ۴- درجه تصفیه و استانداردهای کیفی مورد نیاز جهت کاربرد در آبیاری (Bahrami *et al.*, 2020a)

Table 4. Cont. The required degree of treatment and quality standards for application in irrigation (Bahrami *et al.*, 2020a)

مورد کاربرد Application	توصیه شده توسط Recommended by	حدود مجاز Permitted limits					
		اکسیژن خواهی شیمیایی COD	اکسیژن خواهی بیوشیمیایی BOD_5	کل جامدات محلول TDS	اسیدیته pH	کدورت Turbidity	کلیفرم‌ها Coliforms
آبیاری نواحی محدود Irrigation of restricted areas	استانداردهای تونس Tunisian standards	90	30	-	6.5-8.5	-	-
آبیاری نواحی نامحدود Irrigation of restricted areas	استانداردهای عربستان سعودی Saudi Arabia standards	-	40	2000	6-8.5	-	-

بر اساس استاندارد سازمان محیط زیست ایران، کیفیت این پساب برای مصارف آبیاری فضای سبز، تخلیه به آب‌های سطحی، تخلیه به چاه‌های جاذب، شرب دام و طیور و پرورش ماهی نیز بررسی گردید که نتایج آن در جدول (۵) ارایه شده است. مقایسه پارامترهای اندازه‌گیری شده با مقادیر استاندارد نشان می‌دهد این پساب برای آبیاری فضای سبز، پرورش ماهی و تخلیه به آب‌های سطحی و زیرزمینی مناسب نیست. یکی از محدودیت‌های کاربرد آن در تغذیه آب زیرزمینی، مقدار بیش از حد مجاز نیترات در پساب است که می‌تواند منجر به آلودگی منابع آب زیرزمینی گردد. برای استفاده از این پساب در پرورش ماهی می‌توان با هوادهی پساب مقدار اکسیژن محلول آن را به حد استاندارد رساند و نیز باید غلظت آمونیاک را با بالاتر بردن بازده تصفیه بیولوژیکی سیستم کاهش داد. در پژوهشی مشابه، از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری بهارستان برای اصلاح اراضی شور و سدیمی دشت مرق اصفهان به‌طور موفقیت‌آمیزی استفاده شد (Honarjoo and Mardiha, 2019).

در مورد عوارض بهداشتی استفاده از پساب‌ها و آب‌های برگشتی برای آبزی‌پروری در مقایسه با استفاده از پساب‌ها در کشاورزی مطالعات کمتری انجام شده و به همان مقدار اطلاعات کمتری نیز در دسترس است. مدارک و شواهدی که در مورد ماهی‌ها و گیاهان پرورش یافته در فاضلاب وجود دارد، نشان می‌دهد که انتقال آلودگی از طریق سطوح خارجی گیاهان و بدن ماهی‌ها به افرادی که در معرض و تماس با آنها هستند، انجام گرفته و سبب آلودگی می‌شود. نتایج و تجربیات نشان می‌دهد که علیرغم امکان انتقال آلودگی از طریق محصولات تولیدی از آب‌های بازیافتی (ماهی‌ها و گیاهان) به ویژه از راه سطوح خارجی بدن ماهی‌ها و گیاهان با افراد در معرض تماس، امکان انتقال از راه بافت‌های داخلی آنها به افراد محدود و اندک است (Publication No. 535, 2010).

به طور کلی از نظر آلودگی بافت‌های خوراکی که از طریق فرایند غیر بهداشتی (پرورش در آب آلوده) شکل می‌گیرد تفاوت زیادی با شرایط طبیعی وجود ندارد. اگر از ماهی یا گیاه پرورش یافته در پساب آلوده به ترماتودها به طور خام و یا کم‌پخته‌شده استفاده شود، در این صورت انتقال آلودگی به انسان اتفاق خواهد افتاد (شاخص کیفی میکروبی مربوط به حوضچه‌های پرورش ماهی وجود و نبود تخم زنده ترماتودها در پساب مورد استفاده می‌باشد). البته پژوهش‌ها نشان می‌دهد کارگرانی که در تماس بلندمدت با گیاهان آبزی پرورش یافته در برکه-های آلوده به فاضلاب یا پساب‌های صنعتی هستند، به طور معمول در معرض بروز بیماری‌های پوستی (مانند سوزش و التهاب پوستی) بیشتری هستند.

جدول ۵- استانداردهای کیفی مورد نیاز جهت کاربرد پساب برای دیگر هدف‌ها

Table 5. The required quality standards for treated wastewater application for other uses

پارامتر Parameter	واحد Unit	میانگین Mean value	فضای سبز Green space	تخلیه به جریان‌های سطحی Discharge to streams	تخلیه به چاه جذبی Discharge to absorbent well	شرب دام و طیور Livestock and poultry drinking	پرورش ماهی Fish farming
اسیدیته pH	-	7.35	6.5-8.4	6.5-8.5	5-9	-	6.5-8.5
قابلیت هدایت الکتریکی EC	$dS\ m^{-1}$	1.8	0.7	-	-	-	-
کل جامدات TS	$mg\ L^{-1}$	976	-	-	-	-	-
کل جامدات محلول TDS	$mg\ L^{-1}$	910	450	*	*	-	<1000
کل جامدات معلق TSS	$mg\ L^{-1}$	65.4	40	40	-	-	-
کل جامدات فرار TVS	$mg\ L^{-1}$	113	-	-	-	-	-
کدورت Turb.	NTU	5.75	-	50	-	-	-
کمینه اکسیژن محلول DO (at least)	$mg\ L^{-1}$	3	-	2	-	-	>5
دما T	^oC	22	-	**	-	-	-
شوینده Detergent	$mg\ L^{-1}$	0.05	-	1.5	0.5	-	<0.2
چربی-روغن- گریس FOG	$mg\ L^{-1}$	0.74	-	10	10	-	-
اکسیژن خواهی بیوشیمیایی BOD_5	$mg\ L^{-1}$	36	31	30	30	100	-
اکسیژن خواهی شیمیایی COD	$mg\ L^{-1}$	65	-	60	60	200	-
فسفر کل TP	$mg\ L^{-1}$	7.35	-	-	-	-	-
فسفات PO_4	$mg\ L^{-1}$	6.13	50	6	6	-	-
نیتروژن کل کجلدال TKN	$mg\ L^{-1}$	50.5	-	-	-	-	-
آمونیاک NH_3	$mg\ L^{-1}$	14	5	-	-	-	<1
نیتریت NO_2	$mg\ L^{-1}$	0.5	-	10	10	5	-

ادامه جدول ۵- استانداردهای کیفی مورد نیاز جهت کاربرد پساب برای دیگر هدف‌ها

Table 5. Cont. The required quality standards for treated wastewater application for other uses

پارامتر Parameter	واحد Unit	میانگین Mean value	فضای سبز Green space	تخلیه به جریان‌های سطحی Discharge to streams	تخلیه به چاه جذبی Discharge to absorbent well	شرب دام و طیور Livestock and poultry drinking	پرورش ماهی Fish farming
نیترات NO_3	$mg\ L^{-1}$	15.5	-	50	10	-	-
کلر آزاد Free Chlorine	$mg\ L^{-1}$	0.2	-	1	1	-	-

*تخلیه با غلظت بالاتر از مقدار مشخص شده در جدول در صورتی مجاز خواهد بود که پساب در شعاع ۲۰۰ متری غلظت کلراید، سولفات و جامدات محلول منبع پذیرنده را بیش از ۱۰ درصد افزایش ندهد.

* Discharge with a concentration higher than the amount specified in the table will be allowed if the effluent does not increase the concentrations of chloride, sulfate, and dissolved solids of the receiving source by more than 10% within a radius of 200 meters.

**دما باید به گونه‌ای باشد که دمای منبع پذیرنده تا شعاع ۲۰۰ متری محل ورود پساب بیش از ۳ درجه سانتیگراد افزایش یا کاهش نداشته باشد.

** The temperature should be such that the temperature of the receiving source does not increase or decrease by more than 3 degrees Celsius up to a radius of 200 meters from where the effluent enters.

پارامترهای کیفی مورد بررسی محدودیتی را از نظر شرب دام و طیور ایجاد نمی‌کند. همان طور که در جدول (۶) نشان داده شده، کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه شیراز از دیدگاه شوری برای شرب دام و طیور بسیار مناسب است. پساب در این کلاس برای همه دام‌ها مناسب است ولی دام‌هایی که به آن عادت ندارند احتمالاً به اسهال دچار می‌شوند. غلظت‌های بالای این محدوده باعث آبکی شدن فضولات طیور نیز می‌شود. در پژوهشی مشابه، کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه شهری زابل برای کاربری‌های تفریحی در درجه عالی، کاربری دام و طیور در کلاس خوب و برای آبیاری در شرایط مطلوب قرار گرفته اما برای شرب و آبزی‌پروری مناسب نبوده است (Einollahipeer *et al.*, 2020).

جدول ۶- راهنمای کیفی پیشنهادی برای استفاده از پساب‌ها جهت شرب دام و طیور

Table 6. A suggested qualitative guide for using wastewater for livestock and poultry drinking

قابلیت هدایت الکتریکی EC ($\mu mho\ cm^{-1}$)	رتبه Ranking	مورد استفاده Applicaion
<1500	عالی Excellent	برای همه انواع دام و طیور عالی است. It is excellent for all kinds of livestock and poultry.
1500-5000	بسیار مناسب Very suitable	برای همه دام‌ها مناسب است، اما آنهایی که به آن عادت ندارند احتمالاً دچار اسهال می‌شوند. غلظت زیاد در این محدوده باعث فضله آبکی طیور می‌شود. It is suitable for all livestock, but those not used to it are likely to suffer from diarrhea. High concentrations in this range may cause watery poultry droppings.
5000-8000	مناسب برای دام و نامناسب برای طیور Suitable for livestock and unsuitable for poultry	برای دام‌ها مناسب است، اما آنهایی که به آن عادت ندارند ممکن است از نوشیدن آن امتناع کنند. اگر نمک‌های سولفات غالب باشد، احتمال اسهال وجود دارد. این آب‌ها برای طیور نامناسب بوده و باعث اسهال، افزایش تلفات و کاهش رشد به‌خصوص در بوقلمون می‌شود. It is suitable for livestock, but those not used to it may refuse to drink it. If sulfate salts predominate, there is a possibility of diarrhea. These waters are unsuitable for poultry and cause diarrhea and increased losses, and reduced growth, especially in turkeys.

ادامه جدول ۶- راهنمای کیفی پیشنهادی برای استفاده از پساب‌ها جهت شرب دام و طیور

Table 6. Cont. A suggested qualitative guide for using wastewater for livestock and poultry drinking

قابلیت هدایت الکتریکی EC (µmho cm^{-1})	رتبه Ranking	مورد استفاده Uses
8000-11000	مصرف محدود برای دام و نامناسب برای طیور Limited consumption for livestock And unsuitable for poultry	این آب برای دام‌هایی که باردار و شیرده نیستند قابل استفاده است. دام‌هایی که به آن عادت ندارند ممکن است از نوشیدن خودداری کنند. این آب‌ها برای طیور نامناسب هستند. This water can be used for livestock that is not pregnant or lactating. Livestock not used to it may refuse to drink. These waters are unsuitable for poultry.
11000-16000	مصرف بسیار محدود Very limited consumption	مصرف آن برای گاوهای شیرده و آبستن، اسب، گوسفند و همه حیوانات جوان خطرناک است. ممکن است برای نشخوارکنندگان و اسب‌های مسن استفاده شود. نامناسب برای طیور و احتمالاً خوک. Their consumption is dangerous for lactating and pregnant cows, horses, sheep, and all young animals. May be used for ruminants and old horses. Unsuitable for poultry and possibly pigs.
>16000	برای مصرف توصیه نمی‌شود Not recommended for consumption	برای هیچ دام و طیوری توصیه نمی‌شود. Not recommended for any livestock or poultry.

نتیجه بررسی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب ناحیه صنعتی الوند قزوین نشان داده که اگرچه کیفیت پساب با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران مطابقت داشته اما به دلیل آلودگی میکروبی پساب و همچنین خاصیت تجمعی برخی عناصر، انتخاب محصول و نوع مصرف پساب برای کشاورزی باید منطبق بر اصول بهداشتی باشد (Emamjomeh *et al*., 2017). استفاده از پساب تصفیه‌خانه شمال شهر اصفهان برای مصارف صنعتی و احیای بیابان‌ها نسبت به مصارف کشاورزی و آبیاری فضای سبز کم خطرتر ارزیابی شده است (Vaseghi *et al*., 2021). همچنین نتایج مشابهی به وسیله دیگر پژوهشگران در راستای ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری سنندج، شیراز و تربیت حیدریه برای استفاده در کشاورزی به دست آمده است (Zareei *et al*., 2018; Latifi *et al*., 2019; Choopan and Emami, 2020). به طور کلی کاربرد پساب در صنایع آب‌بر و کاشت گیاهان غیرمثمر، افزایش دسترسی کشاورزان به منابع آبی با کیفیت بهتر و افزایش سلامت انسان و محیط زیست را به همراه خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

استفاده مجدد از پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به عنوان یک منبع آبی نامتعارف مطمئن که تحت تأثیر شرایط خشکسالی قرار نمی‌گیرد، می‌تواند پیامدهای ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آبی متعارف به ویژه آبخوان‌ها را کاهش دهد و با استفاده در بخش کشاورزی، تضمین امنیت غذایی را سبب گردد. در این پژوهش با بررسی مقادیر پارامترهای کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شیراز و مقایسه با استانداردهای ملی و جهانی، قابلیت استفاده از آن برای مصارف مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد کیفیت پساب خروجی بر اساس 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 و محصولات زراعی، صنعتی و جنگلی 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. برخی از این

محدودیت‌ها را می‌توان با ارتقاء کارکرد تصفیه‌خانه رفع نموده و پساب را برای این اهداف نیز استفاده کرد. کیفیت این پساب برای شرب دام و طیور محدودیت خاصی ندارد و از دیدگاه شوری در کلاس بسیار مناسب برای این کاربرد قرار می‌گیرد. ضمن این که استفاده از فاضلاب تصفیه شده در عملیات کشاورزی و دامپروری باید با رعایت کلیه موارد بهداشتی برای کارگران این بخش و توجه مستمر به امر گندزدایی کامل پساب انجام گیرد.

منابع

Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, B., Afyuni, M. and Bagheri, M.R., 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. Plant, Soil and Environment. 52(8), 335-344.

Alizadeh, A., 1997. Use of treated wastewater in irrigation. Ministry of Energy, Water and Wastewater Engineering Company.

Amiri, M.J., Bahrami, M., Badkouby, M. and Kalavrouziotis, I.K., 2019. Greywater Treatment Using Single and Combined Adsorbents for Landscape Irrigation. Environmental Processes. 6, 43-63.

Anbir, L. and Noori, Z., 2018. Investigation of effluent quality of Ekbatan wastewater treatment plant for farm and green space irrigation. *Land Management Journal*. 6.1(1), 95-102. (In Persian with English abstract).

Bagheri Ardebilian, P., Sadeghi, H., Nabaii, A. and Bagheri Ardebilian M., 2020. Assessment of wastewater treatment plant efficiency: a case study in Zanjan. *Journal of Health and Hygiene.* 1(3), 67-75. (In Persian with English abstract).

Bahrami, A., 2014. Studying the effect of soils specific surface area on hydraulic functions. Ph.D. Thesis. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Bahrami, A. and Aghamir, F., 2020. Simulation of vadose zone flow processes using inverse modeling of modified multistep outflow for fine-grained soils. Soil Science Society of America Journal. 84, 1592-1605.

Bahrami, M., Amiri, M.J. and Badkubi, M., 2020a. Application of horizontal series filtration in greywater treatment: a semi-industrial study. Australasian Journal of Water Resources. 24(2), 236-247.

Bahrami, M., Khaksar, E. and Khaksar, E., 2020b. Spatial variation assessment of groundwater quality using multivariate statistical analysis (case study: Fasa Plain, Iran). Journal of Groundwater Science and Engineering. 8(3), 230-243.

Bekhradipour, K. and Ghasemiye, H., 2011. Use of unconventional water in water crisis management: case study of Kashan plain, In Proceedings 1st Conference on Water Crisis in Kashan Plain, 20 Dec. 2011, Kashan, Iran. p 141-148.

Choopan, Y. and Emami, S., 2020. Investigation the possibility of using Torbat-Heydarieh urban wastewater for irrigation of agricultural products. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering.* 5(1), 39-45.

Cirelli, G., Consoli, S., Licciardello, F., Aiello, R., Giuffrida, F. and Leonardi, C., 2012. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. Agricultural Water Management. 104,163-70.

Dehghani, F., Karimi Jashni, A. and Minosepehr, M., 2013a. Evaluation of efficiency of Shiraz wastewater treatment plant. 1st National Conference on Water and Wastewater Engineering Sciences, 26 Feb. 2013. Kerman, Iran. p 56-64.

Dehghani, M., Behmiyari, M., Ekhlasi, J. and

Malekniya, H., 2013b. Investigating the efficiency of Shiraz municipal wastewater treatment plant in detergent removal. In Peroceedings 1st National and Specialized Conference on Environmental Research in Iran, 31th Oct, Hamedan, Iran. p. 111-121.

Dehghani, M., Saadatjou, H. and Zamaniyan, Z., 2012. Evaluation of efficiency of Shiraz municipal wastewater treatment plant in removing fat, oil and grease. In Peroceedings 15th National Conference on Environmental Health, 30th Oct.-1st Nov, Rasht, Iran. p. 35-44.

Dehghani firoozabady, A., Zarei MahmoodAbady, H. and Ehrampush. M.H., 2017. Investigation on industrial waste waters reuse of industrial towns for agricultural and irrigation uses (case study: treatment plant of Jahan Abad Meybod industrial town). Journal Tolooebehdasht Science. 16 (3), 34-45.

Dindarlou, A. and Dastourani, M., 2018. Investigation of the efficiency of sewage treatment using activated sludge method to supply water for reuse in agricultural irrigation (case study: Kermanshah treatment plant). Journal of Water and Sustainable Development. 4(2), 31-40.

Einollahipeer, F., Ghaffari, M. and Dahmardeh Behrooz, R., 2020. Evaluation of urban wastewater with CWQI model for agriculture and aquaculture reuse (case study in Zabol, Sistan and Baloochestan, Iran). *Journal of Animal Environment*. 12(4), 581-592.

Emamjomeh, M.M., Tari, K., Jamali, H.A., Karyab, H. and Hosseinkhani, M., 2017. Quality assessment of wastewater treatment plant effluents for discharge into the environment and reuse. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 26 (145), 283-292.

Foladvand, H.R., 2009. Irrigation Principal, Shiraz Navid Press. Shiraz, Iran.

Ghasemi, A., 2019. Evaluation of effluent quality from wastewater treatment plants for use in agriculture. Master thesis. University of Ferdowsi, Mashhad, Iran.

Honarjoo, N. and Mardiha, A., 2019. Possibility of applying municipal wastewater of Baharestan city to remediate saline and sodic soils of Margh plain of Isfahan. Journal of Geography and Environmental Planning. 30(2), 1-16.

Huertas, E., Salgot, M., Hollender, J., Weber, S., Dott, W., Khan, S., Schaefer, A., Messalem, R., Bis, B., Aharoni, A. and Chikurel, H., 2008. Key objectives for water reuse concepts. Desalination. 218 (1-3), 120-31.

Kahkhamoghadam, P. and Banejad, H., 2019, Evaluation of effluent quality of Zabol municipal wastewater treatment plant for use in agricultural lands. 4th International Conference on the New Horizons in the Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment, 31 May, Tehran, Iran. p. 348-356.

Kwiatkowski, J., Marciak, L.C., Wentz, D. and King, C.R., 1995. Salinity mapping for resource management within the County of Wheatland. Conservation and Development Branch, Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton, 22.

Latifi, H., Noshadi, M. and pourmansour, S., 2019. Evaluating the efficiency of wastewater treatment plant (case study: Shiraz treatment plant number one). In Peroceedings 4th International Congress of Developing Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran. 14th-16th August, Tabriz, Iran. p. 11347-11359.

Mohammadi, P., Khashij, M., Takhtshahi, A. and Mousavi, S.A., 2016. Performance evaluation and

biokinetic coefficients determination of activated sludge process of Sanandaj wastewater treatment plant. Journal of Safety Promotion and Injury Prevention. 4(2), 109-16.

Monzavi, M.T., 2004. Wastewater Collection, University of Tehran Press. Tehran, Iran.

Poordara, H., Zeini, M. and Falah, J., 2004. Using hospital wastewater effluent for irrigation of green fields. Water and Wastewater; Ab va Fazilab. 15 (1), 43-49. (In Persian with English abstract).

Publication No. 535, 2010. Environmental Criteria of Treated Waste Water and Return Flow Reuse. Office of Deputy for Strategic Supervision, 535.

Singh, P.K., Deshbhratar, P.B. and Ramteke, D.S., 2012. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. Agricultural Water Management. 103, 100-104.

The world bank, 2020. Water in agriculture. Available online at: https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture, Accessed May 08, 2020.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2004. Guidelines for Water Reuse. Washington, DC, EPA/625/R-04/108 (NTIS PB2005 106542).

Vaseghi, E., Zare Mehrjerdi, M.R., Nikouei, A. and Mehrabi Boshrabadi, H., 2021. Risk assessment of using output effluent of urban wastewater treatment plants (case study: northern Isfahan wastewater treatment plant). Environmental Sciences. 19(2), 57-70.

Yazdanee, V., Ghahreman, B., Davudee, K. and Fazeli, E., 2014. The effect of waste water on physical and chemical features of soil. *Journal of Environmental Science and Technology*. 16(1), 543-558.

Zareei, S., Ghahramani, E., Dehestani Athar, S., Noori, B. and Zarei, A., 2018. Survey possibility on reuse of Sanandaj waste water treatment plan effluent in agriculture. *Water Engineering*. 6(2), 83-90.

Environmental Sciences Vol.21 / No.2 / Summer 2023

29-48

Original Article

Qualitative assessment of Shiraz wastewater treatment plant effluent for different purposes

Amir Bahrami,[1*] Fatemeh Ahadi, [2] Mehdi Bahrami[3] and Fateme Aghamir[4]

[1] Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[2] Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
[3] Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran
[4] Department of Agroecology, Research Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2022.01.26 Accepted: 2023.05.21

Bahrami, A., Ahadi, F., Bahrami, M. and Aghamir, F., 2023. Qualitative assessment of Shiraz wastewater treatment plant effluent for different purposes. Environmental Sciences. 21(2): 29-48.

Introduction: Today, treated wastewater is widely used on agricultural soils adjacent to urban areas in developing countries to meet water shortages. On the other hand, this practice poses a threat to limited available resources due to the increase in pollution. Many countries around the world utilize unconventional water, including municipal wastewater treatment plants, as a reliable source to produce crops, provided that it meets the necessary standards. In recent years, several studies have been conducted in the field of the effluent quality of municipal wastewater treatment plants and the possibility of using them in various applications, including agriculture, in different regions of Iran. Due to the water crisis that has arisen, especially in arid and semi-arid regions of the country, it is necessary to study and analyze the possibility of further use of this unconventional water resource. However, wastewater recycling can have various health and environmental effects.

Material and methods: In this study, the effluent quality of the Shiraz municipal wastewater treatment plant was investigated using the daily data during 2018 and 2019 for use in various purposes such as irrigation of crops, irrigation of green spaces, drinking of livestock and poultry, fish farming, discharge into streams, artificial recharge of groundwater based on national and international standards. In this regard, at first, the

* Corresponding Author: *Email Address*. bahramisoil@gmail.com
http://dx.doi.org/10. 48308/envs.2023.1151
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.2.11.9

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

values of various physical and chemical parameters such as acidity, electrical conductivity, total dissolved solids, total suspended solids, total volatile solids, total solids, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, turbidity, dissolved oxygen, detergents, phosphate, total phosphorus, nitrate, nitrite, ammonia, Kjeldahl total nitrogen, free chlorine, and fat-oil-grease were determined in raw and treated wastewater. Then, while comparing the values of these parameters with the standard of the Environmental Protection Organization of Iran, the removal efficiencies of these parameters were calculated and finally, the quality of the effluent was investigated for use in various sectors.

Results and discussion: The results showed that the removal efficiency of BOD5, COD, TSS, NH3, detergents, and fat-oil-grease in this treatment plant was 85, 85, 67, 64, 94, and 68.5%, respectively. The quality of the effluent was only suitable for agricultural purposes based on the standard of the Environmental Organization of Iran, and according to other standards, it is not capable of such use. This effluent can be used to irrigate ornamental fruit trees, fodder crops, plenteous trees and green spaces side of the roads outside the city, field crops, industrial crops, and forestry, as well as drinking livestock and poultry. However, there are limitations for urban green space irrigation, fish farming, discharge to surface waters (such as Maharloo Lake in the vicinity of the wastewater plant), and groundwater recharge, although some of these limitations can be improved by upgrading the function of the treatment plant. By irrigating unfruitful plants and forest parks around Shiraz and even part of urban green space, the pressure on water resources can be reduced to a great extent. On the other hand, the continuation of irrigation with this effluent, which contains organic and nutritious substances in a large proportion, has caused an increase in soil nitrate, and it will be possible to leach and transfer it to surface and underground water sources.

Conclusion: The amount of quality parameters of the treatment plant effluent is within the standard of Iranian Environmental Protection and can be used as a sustainable water source in areas that are not directly related to humans. In using this sustainable water source for permitted uses, all health issues for the workers of each sector must be observed, and the effluent must be continuously disinfected.

Keywords: Treatment plant, Agricultural water quality, Wastewater, Shiraz.