تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۵/شماره ۹۴ /بهار ۱۴۰۳/صفحه ۹۶ - ۸۳

نوع مقاله: یادداشت تحقیقاتی

بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مطالعه موردی: بوئین زهرا

بهمن یارقلی[1]، فرشید تاران [2*]

[1و2*]استادیار، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ کرج؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰

چکیده

به دلیل کمبود منابع آب و افزایش روزافزون تقاضا برای آن، فاضلاب تصفیه شده در صورت تامین استانداردهای کشاورزی می‌تواند منبع جایگزین یا تکمیلی آب به‌منظور رسیدن به کشاورزی پایدار باشد. در این مطالعه، با توجه به مشکل کم‌آبی و وجود زمین‌های مستعد کشاورزی در استان قزوین، به‌ویژه در منطقه بوئین‌زهرا، امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهر قزوین در شبکهٔ آبیاری و زهکشی بوئین‌زهرا بررسی شد. در مرحلهٔ نخست، وضعیت محیط زیست منطقهٔ بوئین‌زهرا مطالعه و پس از آن به مدت یک سال (۱۳۹۹-۱۳۹۸) هر ماه از فاضلاب خام ورودی و پساب خروجی نمونه‌برداری شد. تحلیل‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی این نمونه‌ها برای ارزیابی کارایی تصفیه‌خانهٔ فاضلاب قزوین صورت گرفت و با بررسی الگوی کشت منطقه و نیازهای کیفی محصولات کشاورزی، برنامه‌ای برای توسعهٔ شبکه آبیاری و زهکشی بر اساس کمیت و کیفیت پساب تولیدی تدوین شد. بررسی‌ها شامل انتقال ثقلی، افت شدید آبخوان، ویژگی‌های خاک و الگوی کشت منطقه بود. با در نظر گرفتن این عوامل و مقبولیت اجتماعی طرح، توسعهٔ شبکه با استفاده از ۲۰/۸ میلیون متر مکعب پساب سالانه و پوشش ۲۰۰۰ هکتار از زمین‌های بوئین‌زهرا پیشنهاد و الگوی کشت و سیستم آبیاری مناسب تعیین شد. سرانجام با توجه به اهمیت مسائل بهداشتی و زیست‌محیطی، برنامه‌ای جامع برای پایش کیفی اجزای مختلف طرح شامل پساب، خاک، محصولات کشاورزی و کارگران شاغل در پروژه تهیه و ارائه شد تا از استفادهٔ پایدار و ایمن از این منبع اطمینان حاصل شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، فاضلاب، کشاورزی پایدار

مقدمه

در سال‌های اخیر، استفادهٔ مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده به عنوان راهکاری موثر برای مدیریت منابع آب مورد توجه قرار گرفته است. این راهکار می‌تواند منابع آب موجود برای آبیاری را افزایش دهد و برداشت از منابع آب زیرزمینی را که به کاهش کیفیت آن‌ها در بسیاری از مناطق کشاورزی می‌انجامد محدود کند. با توجه به افزایش تقاضای آب برای نیازهای مدنی، تولیدی و زیست‌محیطی، به ویژه در بخش کشاورزی که بیشترین مصرف آب را دارد، بازنگری در فرآیندهای تأمین آب ضروری است. کشاورزی، که بخش عمده‌ای از آب‌های سطحی و زیرزمینی با کیفیت بالا را مصرف می‌کند، ممکن است با تغییرات اقلیمی و دوره‌های طولانی کاهش بارندگی و افزایش دما، نیاز به مداخلات آبیاری تکمیلی داشته باشد (Saadi *et al.*, 2015). این موضوع می‌تواند منجر به افزایش برداشت از آبخوان‌ها در دوره‌های کم‌آبی و کاهش کیفیت آب زیرزمینی شود (FAO, 2020; IPCC, 2021). استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده می‌تواند دسترسی به آب‌های سطحی برای آبیاری را افزایش و نیاز به برداشت از آبخوان‌ها را کاهش دهد، بنابراین، منابع

نگارنده مسئول : Email: farshidtaran@gmail.com https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.366616.1585

آب زیرزمینی برای استفاده‌هایی با نیازهای کیفیت بالاتر حفظ می‌شوند. در مطالعات مختلف، چالش‌های کیفیت مرتبط با استفادهٔ مجدد از فاضلاب شهری برای آبیاری از نظر سلامت عمومی، محیط زیست و تأثیرات اجتماعی-اقتصادی بررسی شده است (Pedro *et al*., 2010; Topare Niraj *et al*., 2011). رشد سریع جمعیت و شهرنشینی، مصرف زیاد آب و تغییرات اقلیمی عواملی هستند که بحران منابع آب تازه را تشدید می‌کنند. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که مصرف آب در برخی مناطق جهان سریع‌تر از رشد جمعیت انسانی افزایش خواهد یافت (Islam and Karim, 2019). استفادهٔ مجدد از فاضلاب به دلیل کمبود آب فعلی، نیاز اساسی جهانی است. تحقیقات نشان می‌دهد که ۱/۶ تا ۶/۳ درصد فاضلاب تصفیه شده جهان برای آبیاری زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود (Ungureanu *et al*., 2018). این رویکرد می‌تواند به تغذیهٔ محصولات کشاورزی کمک و از آلودگی آب جلوگیری می‌کند و فشار بر منابع آب شیرین را کاهش می‌دهد.

در مورد استفاده از پساب‌ها و فاضلاب‌ها برای آبیاری در کشاورزی، تا کنون مطالعاتی در ایران و جهان صورت گرفته است. بهبهانی‌نیا و همکاران (Behbahaninia *et al*., 2010) با آزمایش‌هایی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی برای بررسی میزان جذب فلزات سنگین توسط محصولات کشاورزی آبیاری شده با پساب تصفیه‌خانه‌های جنوب تهران نشان دادند که مقدار کروم و کادمیم از محدوده مجاز بیشتر است. این محققان آبیاری با پساب را به دلیل خطر زیست‌محیطی توصیه نکردند. عسگری و الباجی (Asgari and Albaji, 2017) با بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرکرد برای مقاصد آبیاری، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میکروبی پساب را یک دوره شش ماهه در سال ۱۳۹۴ به صورت ماهانه اندازه‌گیری کردند و گزارش دادند طبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران، سازمان بهداشت جهانی و سازمان جهانی خواربار و کشاورزی، مقدار کلیفرم پساب خارج از محدوده استاندارد برای کشاورزی است. آنها می‌افزایند استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد برای آبیاری گیاهان علوفه‌ای و صنعتی مقاوم به بی‌کربنات امکان‌پذیر است. ذوالفقاران و همکاران (Zolfagharan *et al*., 2019) برای بررسی تاثیر پساب شهری بر کلزا و خصوصیات شیمیایی خاک سیلتی لوم، آزمایشی کردند با شش تیمار آبیاری (شامل آبیاری کامل با پساب یا ترکیب‌های مختلفی از پساب و آب چاه) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در اراضی تحقیقاتی آستان قدس رضوی در نزدیکی تصفیه خانه که نتایج آن حاکی از اختلاف عملکرد دانهٔ کلزا در تیمارهای مختلف بود. در تیمارهای با پساب بیشتر، به دلیل وجود مواد غذایی در آب آبیاری، عملکرد بیشتر بود. در این تیمارها میزان فلزات سنگین، شوری خاک، نیتروژن، فسفر قابل جذب و مواد آلی بیشتر ولی غیرمعنی‌دار بود. طاهری و همکاران (Taheri *et al*., 2024) به منظور بررسی امکان استفاده از پساب شهری برای آبیاری فضای سبز با روش تصفیهٔ لجن فعال، به ارزیابی کیفیت روزانه پساب تصفیه‌خانهٔ چهل‌بازه مشهد در یک دوره ۲۳ ماهه پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که پارامترهای کیفی پساب این تصفیه‌خانه در محدوده استاندارد برای آبیاری فضای سبز قرار دارد و از نظر خطر میکروبی تایید می‌شود. مانگانیلو و همکاران (Manganiello *et al*., 2024) در تحقیقی با بررسی شرایط آبیاری در یک منطقه کشاورزی مهم در جنوب ایتالیا به شناسایی مزارعی در ایتالیا پرداختند که فاضلاب تصفیه‌شده به آنها هدایت می‌شود تا به طور مؤثری استفاده از آب زیرزمینی را کاهش دهد. آنها گزارش دادند برخی از نواحی این منطقه با استفاده از شبکه‌های آبیاری پوشش داده می‌شوند، برخی به این شبکه‌ها متصل هستند اما تأمین آب کافی ندارند و از آبخوان‌های زیرزمینی نیز استفاده می‌کنند، و مناطق دیگر به شبکه دسترسی ندارند و آب زیرزمینی تنها منبع آبیاری موجود است. بررسی اقتصادی آنها نشان داد که در مزارعی که از هر دو منبع آب استفاده می‌کنند، رابطهٔ جایگزینی بین این دو منبع به نام فاضلاب تصفیه‌شده وجود

دارد. در استان قزوین، به‌ویژه در منطقهٔ بوئین‌زهرا، به‌رغم وجود زمین‌های مناسب برای کشاورزی، کمبود منابع آبی مسئله‌ای اساسی است. یکی از راه‌هایی که تا حدودی می‌تواند برای مقابله با این مشکل مطرح باشد، استفاده از پساب برای آبیاری در کشاورزی است. بر این اساس، در مطالعه حاضر امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهر قزوین در شبکه آبیاری و زهکشی بوئین‌زهرا بررسی شد. هدف کلی این تحقیق، تعیین و تبیین برنامهٔ مناسب استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شدهٔ خانگی در توسعه شبکهٔ آبیاری و زهکشی است. مواردی مانند تعیین مشخصات کمی و کیفی پساب، تعیین مصارف احتمالی مختلف از پساب و تعیین محدودیت‌های کیفی برای مصارف مربوطه، چگونگی استفاده از فاضلاب تصفیه شده در توسعه شبکه آبیاری و زهکشی، انتخاب الگوی کشت مناسب با کیفیت پساب موجود، دستورالعمل مناسب برای استفادهٔ ایمن و پایدار از فاضلاب تصفیه شده در شبکهٔ آبیاری و زهکشی، و طراحی و برنامهٔ پایش زیست‌محیطی و کمینه‌سازی اثرهای سوء زیست‌محیطی استفاده از این پساب در شبکه آبیاری و زهکشی مورد توجه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه، تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قزوین و شبکهٔ آبیاری و زهکشی شکل (۱) دشت بوئین‌زهرا است که بخشی از اراضی شهرستان بویین زهرا را تشکیل می‌دهد و در ۱۵ کیلومتری جنوب شهرستان قزوین واقع شده است. شهرستان بویین زهرا بین ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی با مساحت حدود ۶۰۰۰ کیلومتر مربع در جنوب دشت قزوین قرار گرفته است.

تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قزوین

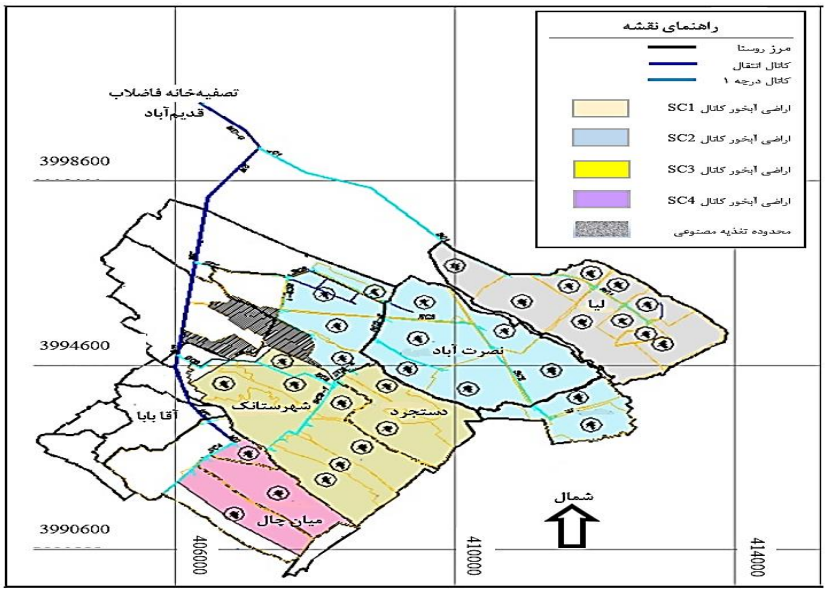
تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قزوین بر اساس تکنولوژی برکه‌های تثبیت طراحی شده و در زمینی به مساحت ۱۶۴ هکتار برای تصفیه فاضلاب خانگی این شهر احداث شده است. این تأسیسات در چهار مدول با ظرفیت متوسط روزانه ۱۵۵۷۹۵ مترمکعب طراحی شده است. اجزای این تصفیه‌خانه شامل ایستگاه پمپاژ فاضلاب، آشغال‌گیر، دستگاه اندازه‌گیری جریان‌های ورودی و خروجی، و واحد تصفیهٔ بیولوژیکی متشکل از برکه‌های هوازی و اختیاری است. اصول طراحی این تصفیه‌خانه به طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است (Qazvin Sewage Treatment Plant Study Report, 2010).

وضعیت آب در منطقه

منابع آب کشاورزی در منطقه شامل آب زیرزمینی است که از طریق پمپاژ از چاه‌ها تأمین می‌شود. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده، ۵۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق در محدودهٔ شبکه و اراضی روستاهای مجاور وجود دارد. از این تعداد، آب ۴۰ حلقه چاه به منظور مصارف کشاورزی و بقیهٔ چاه‌ها برای مصارف شرب استفاده می‌شود. عمق این چاه‌ها متغیر و بین ۵۰ تا ۱۵۰ متر است با آبدهی بین ۲۰ تا ۵۰ لیتر در ثانیه.

نمونه‌برداری از پساب

برای ارزیابی وضعیت و تغییرات کیفی پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب، در دوره‌ای یک‌ساله (۱۳۹۹-۱۳۹۸) با فواصل زمانی مختلف، از پساب نمونه‌برداری و نمونه‌ها آنالیز شد. فاکتورهای کیفی مورد بررسی و فاصله‌های زمانی نمونه‌برداری در جدول (۲) آورده شده‌اند. نمونه‌برداری و آزمایش‌ها بر اساس روش‌های استاندارد ارائه شده در کتاب روش‌های استاندارد (Baird *et al.*, 2017) صورت گرفت. پارامترهای اکسیژن محلول (DO)، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، کدورت و دما به دلیل تغییرات سریع و نیاز به اندازه‌گیری در محل، با استفاده از دستگاه‌های پرتابل در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند.



شکل ۱- پلان شبکه آبیاری

Fig. 1. The plan of the irrigation network

جدول ۱- اصول طراحی تصفیه خانهٔ فاضلاب شهر قزوین

Table 1- The criteria of Qazvin's sewage treatment plant design

مقدار Value	واحد Unit	شرح Description
۶۸۳۳۰۹	نفر People	جمعیت Population
۲۲۲	لیتر بر نفر در روز L/person/day	سرانه فاضلاب تولیدی و نشتاب Per capita wastewater production and leakage
۱۵۵۷۹۵	متر مکعب در روز m^3/day	متوسط مقدار فاضلاب روزانه Average daily wastewater volume
۲۳۸۵۳۰	متر مکعب در روز m^3/day	حداکثر مقدار فاضلاب روزانه Maximum daily wastewater volume
۱۸۰۰	لیتر در ثانیه L/s	متوسط جریان لحظه‌ای Average instantaneous flow
۵۲	گرم بر نفر در روز g/person/day	سرانه اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (BOD) Per capita Biological Oxygen Demand
۶۳	گرم بر نفر در روز g/person/day	سرانه مواد جامد معلق (SS) Per capita Suspended Solids
۳۵۵۳۲	کیلوگرم در روز Kg/day	کل مقدار BOD Total BOD
۲۳۳	میلی‌گرم در لیتر mg/L	غلظت BOD BOD concentration
۴۳۰۴۸	کیلوگرم در روز Kg/day	کل SS Total SS
۲۷۹	میلی‌گرم در لیتر mg/L	غلظت SS SS concentration

جدول ۲- فاصله‌های زمانی نمونه‌برداری از پساب

Table 2. The time intervals for sampling the effluent

فاکتور Factor	تواتر نمونه‌برداری Sampling frequency	فاکتور Factor	تواتر نمونه‌برداری Sampling frequency	فاکتور Factor	تواتر نمونه‌برداری Sampling frequency
pH	روزانه Daily	سدیم Sodium	فصلی Seasonal	BOD صاف شده Filtered BOD	۱۵ روز یک‌بار 15 times a day
دبی Flow rate	روزانه Daily	منیزیم Magnesium	فصلی Seasonal	BOD صاف نشده Unfiltered BOD	۱۵ روز یک‌بار 15 times a day
DO	سه بار در روز Three times a day	کلسیم Calcium	فصلی Seasonal	COD (اکسیژن‌خواهی شیمیایی) صاف شده Filtered chemical oxygen demand	هفتگی Weekly
دما Temperature	ماهانه Monthly	نیترات Nitrate	فصلی Seasonal	COD صاف نشده Unfiltered chemical oxygen demand	هفتگی Weekly
کدورت Turbidity	روزانه Daily	نیتریت Nitrite	فصلی Seasonal	تخم انگل Parasite eggs	فصلی Seasonal
TS (مواد جامد) و TSS (مواد جامد معلق) Total solids and Total suspended solids	هفتگی Weekly	نیتروژن آمونیاکی Ammonium nitrogen	فصلی Seasonal	فیکال کلیفرم Fecal Coliform	ماهانه Monthly
EC	فصلی Seasonal	TKN (آمونیاک+نیتروژن آلی) Ammonia + Organic Nitrogen	فصلی Seasonal	کلیفرم کل Total Coliform	ماهانه Monthly
کلراید Chloride	فصلی Seasonal	فسفر Phosphorus	فصلی Seasonal	فلزات سنگین Heavy metals	ماهانه Monthly

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد و ارائه راهکارهای بهبود کیفی تصفیه‌خانهٔ فاضلاب قزوین

پارامترهای کیفی پساب خروجی از تصفیه‌خانهٔ فاضلاب همراه با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (World Health Organization, 2006) در جدول شماره ۳ آمده است. بررسی‌ها نشان داد دلیل اصلی بالاتر بودن برخی پارامترها نسبت به استانداردهای محیط زیست نداشتن واحد گندزدایی، استفاده از خط کنارگذر و تخلیه بخشی از فاضلاب خام بدون گذراندن مراحل تصفیه، مشکلات بهره‌برداری و

رعایت‌نکردن کامل دستورالعمل‌های بهره‌برداری است مانند: کدورت بالای پساب خروجی و تولید بو، تطابق‌نداشتن کامل ابعاد و ضوابط طراحی مدول اول با دبی فاضلاب ورودی و در نتیجه نداشتن راندمان مطلوب، نقص در کیفیت ساخت سازه‌ها مانند نشت فاضلاب و ترک‌خوردگی بتن دیواره‌ها و نداشتن آزمایشگاه برای پایش مستمر عملکرد واحدهای مختلف تصفیه‌خانه. بهرامی و همکاران (Bahrami, *et al.*, 2023) نیز در تحقیق خود به بالا بودن مقادیر پارامترهای کیفی پساب خروجی از تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهر شیراز، در مقایسه با استانداردهای ملی و بین‌المللی، اشاره کرده‌اند.

برای بهبود کیفیت پساب تصفیه‌خانه و دستیابی به استانداردهای مورد نظر، ضروری است واحدهای گندزدایی، به ویژه کلرزنی گازی (Urban Sewage Treatment Plants Design Criteria, Revision of Criterion No. 129-3, 2024) و همچنین یک آزمایشگاه برای پایش مداوم عملکرد تصفیه‌خانه ایجاد شود. بازنگری در مبانی طراحی واحدهای تصفیه‌خانه نیز لازم است تا بهره‌برداری از آن‌ها با دبی ورودی و تغییرات آن هماهنگ شود. باید زمان ماند فاضلاب در برکه‌ها و شرایط خروجی آن‌ها به گونه‌ای مدیریت شود که از خروج مواد شناور و چربی جلوگیری شود. به‌علاوه، بهبود بهره‌برداری از تصفیه‌خانه می‌تواند شامل اقداماتی مانند تمیزکاری منظم آشغالگیرها، تخلیهٔ به‌موقع لجن از برکه‌ها، تعمیر سازه‌های آسیب‌دیده و رفع ترک‌های دیواره‌ها باشد. نصب پارشال فلوم در خروجی و کنترل دقیق دبی ورودی و خروجی نیز اهمیت دارد. از تخلیهٔ فاضلاب خام از طریق کنارگذر در شرایط عادی باید پرهیز شود و در شرایط اضطراری، فاضلاب قبل از استفادهٔ مجدد باید گندزدایی شود. برای دستیابی به بهره‌برداری پایدار، توصیه می‌شود که سیستم تصفیهٔ موجود با روش‌های پیشرفته‌تر مانند لجن فعال به‌روزرسانی شود و یک واحد صافی شنی نیز به سیستم اضافه گردد. این اقدامات می‌توانند به طور قابل توجهی کیفیت پساب خروجی را بهبود بخشند

الگوی کشت

در انتخاب الگوی کشت، علاوه بر رعایت ضوابط بهداشتی و محیط‌زیستی، تلاش شد محصولاتی انتخاب شوند که در الگوی کشت معمول منطقه نیز رایج هستند. با توجه به محدودیت‌های کیفی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب قزوین و ملاحظات بهداشتی و محیط‌زیستی، برخی محصولات مانند سبزی و صیفی به دلیل تماس مستقیم با پساب و مصرف خام انسانی، و همچنین سیب‌زمینی و چغندر قند به دلیل تماس مستقیم غده‌ها با پساب، از نظر بهداشتی و محیط‌زیستی مناسب نیستند. با توجه به نوسان‌های احتمالی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه، باید محصولاتی انتخاب شوند که حتی در شرایط نوسان کیفیت آب، مقاومت کافی داشته باشند. ترجیحاً محصولاتی انتخاب شوند که تماس کمتری با پساب دارند و در صورت امکان به حالت فرآوری‌شده یا پخته مصرف شوند. علاوه بر این، محصولاتی که مستقیماً به مصرف انسانی نمی‌رسند و ریشه عمیق ندارند نیز مناسب‌ترند، تا در صورت نیاز به آبشویی خاک، عمق کمتری مورد نظر باشد. محصولات پیشنهادی برای استفاده از پساب تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهر قزوین در جدول شماره ۴ آمده است. در انتخاب این الگوی کشت، علاوه بر ضوابط بهداشتی و محیط‌زیستی، به نیازهای منطقه‌ای، تجربه کشاورزان، اهمیت استراتژیک محصولات، همخوانی با سیاست‌های منطقه‌ای و سایر پارامترهای مهم نیز توجه شده است. ولی و همکاران (Vali *et al.*, 2016) در بررسی استفاده از پساب تصفیه‌خانه سبزوار برای احیای اراضی بیابانی، الگوی کشت متناسب با کیفیت این پساب را پس از مقایسه با استانداردهای کیفی تعیین کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که در سبزی‌های پخته‌شده، محصولات علوفه‌ای، درختان جنگلی و محصولات صنعتی، فقط پارامترهای کلیفرم کل و اکسیژن محلول به عنوان عوامل محدود کننده عمل می‌کنند.

جدول ۳- مقادیر پارامترهای کیفی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب قزوین

Table 3. The values of qualitative parameters for the effluent from Qazvin's sewage treatment plant

پارامتر Parameter	واحد Unit	حداقل Minimum	میانگین Average	حداکثر Maximum	انحراف معیار Standard deviation	میانه Median	ضریب تغییرات Coefficient of variation	مقدار استاندارد WHO WHO Standard Value
pH	-	۷/۱۸	۸/۱۳	۸/۶۴	۰/۵۷	۸/۳۰	۰/۰۷	۶/۸-۸/۴
کدورت Turbidity	NTU	۵۳	۶۲/۲۶	۷۹	۱۰/۲۳	۶۲/۰۰	۰/۱۶	<۵
EC	µmohs/cm	۱۱۰۷	۱۱۲۴/۲	۱۱۷۰	۲۶/۴۴	۱۱۱۰/۰۰	۰/۰۲	<۷۵۰
باقیمانده خشک Dry residue	mg/L	۶۵۲	۸۶۰/۶	۱۰۶۶	۱۴۶/۴۹	۸۶۱/۰۰	۰/۱۷	<۵۰۰
TSS	mg/L	۶۶	۸۷	۱۴۴	۳۲/۹۴	۷۰/۰۰	۰/۳۸	<۱۰
TDS	mg/L	۷۱۰	۸۰۷/۶	۱۰۰۰	۱۱۶/۴۹	۸۰۰/۰۰	۰/۱۴	<۴۵۰
سختی کل Total hardness	mg/L	۱۳۳	۱۳۵	۱۴۰	۲/۹۲	۱۳۴/۰۰	۰/۰۲	<۳۰۰
قلیاییت کل Total alkalinity	mg/L	۱۳۳	۳۳۱/۲	۵۰۵	۱۳۳/۴۱	۳۳۱/۰۰	۰/۴۰	<۲۰۰
DO	mg/L	۱/۸	۶/۵۸	۹/۶	۳/۲۹	۸/۰۰	۰/۵۰	>۲
BOD	mg/L	۹۰	۱۰۳/۷۶	۱۲۰	۱۰/۸۳	۱۰۳/۸۰	۰/۱۰	<۱۰
COD	mg/L	۱۲۷	۱۸۱/۵	۲۵۴	۴۵/۸۱	۱۷۴/۰۰	۰/۲۵	<۴۰
کربن آلی کل Total Organic Carbon	mg/L	۵۸	۶۲/۵	۶۷	۳/۲۰	۶۲/۵۰	۰/۰۵	<۱۵
دی‌اکسید کربن Carbon dioxide	mg/L	۲/۳	۱۸/۲۲	۶۵	۲۷/۰۱	۳/۱۰	۱/۴۸	<۱۰
کلر آزاد باقیمانده Free residual chlorine	mg/L	۰	۰	۰	۰	۰	۰	<۰/۵
دیترجنت‌ها Detergents	mg/L	۱/۴	۳/۶	۹/۷	۳/۵۲	۱/۷۰	۰/۹۸	<۰/۵
چربی و روغن Fats and oils	mg/L	۱۴	۱۸/۲	۲۲	۳/۵۲	۱۸/۳	۰/۹۸	<۱۰

فلوراید Fluoride	mg/L	۰/۶۱	۰/۸۸۲	۱/۳۶	۰/۲۹	۰/۸۱	۰/۳۳	<۱/۵
کلراید Chloride	mg/L	۸۹	۹۹	۱۱۰	۷/۸۴	۹۹/۰۰	۰/۰۸	<۲۵۰
بروماید Bromide	mg/L	۰/۰۳۹	۰/۰۶۶۲	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۶۶	<۰/۰۵
سولفات Sulfate	mg/L	۲۱	۷۴/۹	۱۱۳	۳۹/۷۲	۷۵/۰۰	۰/۵۳	<۲۵۰
نیترات Nitrate	mg/L	۲۵	۳۰	۳۵	۴/۰۸	۳۰/۰۰	۰/۱۴	<۱۰
نیتریت Nitrite	mg/L	۳/۱	۱۸/۰۲	۳۱	۱۲/۶۰	۱۸/۰۰	۰/۷۰	<۱
کربنات Carbonate	mg/L	۰	۱۱۹/۲۶	۲۴۰	۸۹/۷۹	۱۱۹/۳۰	۰/۷۵	<۱۰
فسفر کل Total phosphorous	mg/L	۲/۵	۳/۱	۳/۵	۲/۵	۳/۰	۰/۱۵	<۲
فسفات Phosphate	mg/L	۱/۶۵	۱/۹	۱/۴۵	۱/۶۵	۱/۷	۰/۵۴	<۰/۵
کلسیم Calcium	mg/L	۷۲	۹۵/۷	۱۱۲	۱۴/۸۴	۹۶	۰/۲۴	<۷۵
منیزیم Magnesium	mg/L	۱۰	۳۴	۶۱	۱۸/۵۱	۳۴	۰/۵۴	<۳۰
سدیم Sodium	mg/L	۶۵	۹۷	۱۲۱	۲۲/۸۱	۹۷	۰/۲۴	<۷۰
پتاسیم Potassium	mg/L	۱/۳	۱۰/۹	۱۵	۵/۶۴	۱۲/۷	۰/۵۱	<۲۰
آمونیاک Ammonia	mg/L	۲۹/۲	۲۴/۲	۲۵/۱	۰/۸۹	۲۴/۲	۰/۴	<۱
سرب Lead	mg/L	<۰/۰۲	-	۰/۰۵	-	-	-	<۰/۰۱
روی Zinc	mg/L	<۰/۰۲	-	۰/۰۲۷	-	-	-	<۲
منگنز Manganese	mg/L	<۰/۰۲	-	۰/۰۸	-	-	-	<۰/۱

مس Copper	mg/L	<۰/۰۲	-	۰/۱۴	-	-	-	<۰/۲
آهن Iron	mg/L	۰/۰۳	۰/۰۵	۰۸	۰/۱۷	۰/۰۳۱	۰/۳۶	<۰/۳
جیوه Mercury	mg/L		غیرقابل مشاهده Undetectable		-	-	-	<۰/۰۰۱
کادمیم Cadmium	mg/L	<۰/۰۱	-	-	-	-	-	<۰/۰۱
کروم Chrome	mg/L		غیرقابل مشاهده Undetectable		-	-	-	<۰/۰۵
آرسنیک Arsenic	mg/L	<۰/۰۱	-	-	-	-	-	<۰/۰۱
مالاتیون Malathion	mg/L			<۰/۰۰۱				<۰/۱
پاراتیون Parathion	mg/L			<۰/۰۰۱				<۰/۱
کلیفرم کل در 100 mL Total Coliforms in 100 mL				>۱۱۰۰				<۱۰۰۰
فیکال کلیفرم در 100 mL Fecal Coliforms in 100 mL				>۱۱۰۰				<۲۰۰
شمار باکتری‌های هتروتروفیک بر mL Count of Heterotrophic Bacteria per mL				غیرقابل شمارش Uncountable				<۵۰۰
نماتد Nematodes		۰	۱/۵	۳	۱/۲۹	۱/۵	۰/۸۶	عدم حضور Absence

ولی و همکاران (Vali *et al.*, 2016) در بررسی استفاده از پساب تصفیه‌خانه سبزوار برای احیای اراضی بیابانی، الگوی کشت متناسب با کیفیت این پساب را پس از مقایسه با استانداردهای کیفی تعیین کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در سبزی‌های پخته‌شده، محصولات علوفه‌ای، درختان جنگلی و محصولات صنعتی، فقط پارامترهای کلیفرم کل و اکسیژن محلول به عنوان عوامل محدود کننده عمل می‌کنند. در مورد چمنزارها و فضای سبز شهری، علاوه بر این دو پارامتر، پارامترهای کل مواد جامد معلق، اکسیژن‌خواهی شیمیایی و بیوشیمیایی نیز به عنوان عوامل محدود کننده مطرح شدند. این محققان پیشنهاد دادند که پس از چند سال از آغاز طرح آبیاری با پساب، گیاهانی در الگوی کشت قرار گیرند که توانایی بیشتری در بقا داشته باشند.

جدول ٤- الگوی کشت پیشنهادی برای استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قزوین

Table 4-The proposed cropping pattern for the use of the effluent from Qazvin's sewage treatment plant

الگوی کشت **Cropping pattern**	وسعت پیشنهادی (هکتار) **Proposed area (hectares)**	درصد مساحت **Percentage of area**
پنبه Cotton	۳۹۰	۱۹/۹
گندم Wheat	۱۹۰	۹/۷
جو Barley	۳۰۰	۱۵/۳
یونجه Alfalfa	۴۰۰	۲۰/۴
ذرت علوفه‌ای Forage corn	۴۸۰	۲۴/۵
ذرت دانه‌ای Grain corn	۲۰۰	۱۰/۲
کل Total	۱۹۶۰	۱۰۰

انتخاب روش آبیاری

با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی، اجتماعی و فرهنگی منطقه، کیفیت پساب موجود و الگوی کشت انتخابی، آبیاری سطحی روش پیشنهادی آبیاری است. با توجه به الگوی کشت پیشنهادی که شامل ذرت، یونجه، گندم و جو است، روش آبیاری شیاری برای ذرت و روش آبیاری نواری برای گندم، یونجه و جو توصیه می‌شود.

شبکهٔ آبیاری و زهکشی

پساب خروجی از تصفیه‌خانهٔ فاضلاب قزوین تنها منبع تأمین آب برای شبکه آبیاری ۱۹۶۰ هکتاری بویین زهرا (شبکه آبیاری مورد پیشنهاد) خواهد بود (مطابق شکل ۱). پساب از تصفیه‌خانه از طریق یک کانال به طول ۱۲۸۲ متر با ظرفیت ۱/۸ متر مکعب در ثانیه منتقل می‌شود. این کانال از محل خروجی تصفیه‌خانه آغاز می‌شود و تا کانال اصلی درجه ۱ ادامه دارد که طول آن ۶۹۰۰ متر است. پساب پس از ورود به این کانال اصلی، به محدودهٔ شبکه آبیاری هدایت و از آنجا توسط کانال‌های درجه ۲ (SC1، SC2، SC3 و SC4 در شکل ۱) در سراسر زمین‌های شبکه توزیع می‌شود. این شبکهٔ آبیاری، زمین‌های زراعی روستاهای لیا، نصرت آباد، دستجرد، میان چال، آقابابا و شهرستانک را پوشش می‌دهد که مجموعاً ۱۹۶۰ هکتار وسعت دارند.

برنامه پایش کیفی و مدیریت زیست‌محیطی پیشنهادی

به منظور استفادهٔ پایدار از پساب تصفیه شده و جلوگیری از بروز مشکلات زیست‌محیطی در منطقه، پایش کیفی خاک اراضی شبکه، پایش بهداشتی محصولات تولیدی شبکه، پایش بهداشتی کارگران و کارکنان، پایش منابع آب زیرزمینی، ارائهٔ برنامه‌های آموزشی و ارزیابی برنامه‌های ارتقای آموزش پیشنهاد می‌گردد (Environmental Criteria of Treated Waste Water and Return Flow Reuse, Criterion No. 535, 2014).

محصولاتی مانند گندم، جو، یونجه و ذرت علوفه‌ای که در الگوی کشت پیشنهادی شبکه فعلی گنجانده شده‌اند یا به صورت پخته مصرف می‌شوند یا جزء محصولات علوفه‌ای هستند. برای مثال، گندم پس از فرآوری مصرف می‌شود و علوفه نیز به عنوان خوراک دام‌های مقاوم در برابر باکتری‌ها و انگل‌ها استفاده می‌شود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که برای این محصولات، نظارت بر میزان فلزات سنگین (کروم، کادمیم، جیوه و سرب) برقرارشود. برای محصولات علوفه‌ای، این آزمایش‌ها باید هر شش ماه یک بار (حداقل یک بار در هر دورهٔ کشت) تکرار شود و برای دیگر محصولات الگوی کشت، نظارت فصلی ضروری است. عالی‌نژادیان و همکاران (Alinezhadian, *et al*., 2015) در بررسی استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد برای آبیاری ذرت علوفه‌ای، به وجود برخی فلزات سنگین در خاک و اندام گیاه پی بردند. سینگ و همکاران (Singh, *et al*., 2010) در مطالعات خود به تجمع فلزات سنگینی مانند کروم، کادمیم و به‌ویژه روی در خاک و وجود آنها در سبزی‌های آبیاری شده با پساب در شهر واراناسی هند اشاره کرده‌اند. تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه در اثر آبیاری با پساب به عواملی مانند غلظت اولیهٔ این فلزات در پساب و مدت زمان آبیاری بستگی دارد (Ibekwe, 1995; EPA, 2012). از این رو، روش آبیاری نیز می‌تواند در تعیین میزان فلزات سنگین در خاک و اندام محصول نقش مهمی داشته باشد.

نتیجه‌گیری

یافته‌های اصلی تحقیق حاضر به همراه پیشنهادها به شرح زیر خلاصه می‌شود:

عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب قزوین نشان می‌دهد که برخی پارامترهای کیفی پساب خروجی بالاتر از استانداردهای محیط زیست است. دلایل اصلی این موضوع نبود واحد گندزدایی، استفاده از خط کنارگذر، مشکلات بهره‌برداری و طراحی نامناسب مدول‌های تصفیه‌خانه، نشت و ترک‌خوردگی سازه‌ها، و نبود آزمایشگاه برای پایش مداوم عملکرد واحدهای مختلف تصفیه‌خانه است. برای دستیابی به استانداردهای مورد نظر، پیشنهادهایی مانند ایجاد واحد گندزدایی (به‌ویژه کلرزنی گازی)، راه‌اندازی آزمایشگاه برای پایش مداوم، بازنگری در طراحی واحدهای تصفیه‌خانه و بهبود روش‌های بهره‌برداری مانند تعمیر و نگهداری منظم و نصب تجهیزات دقیق‌تر برای کنترل دبی ورودی و خروجی ارائه می‌شود. محصولات کشاورزی باید با توجه به کیفیت پساب و موضوع‌های بهداشتی و محیط‌زیستی انتخاب شوند. محصولاتی که تماس کمتری با پساب دارند یا به صورت فرآوری‌شده و پخته مصرف می‌شوند، مانند گندم، جو، یونجه، و ذرت علوفه‌ای، به‌عنوان گزینه‌های مناسب پیشنهاد می‌شوند. با توجه به الگوی کشت پیشنهادی و شرایط منطقه، روش‌های آبیاری سطحی از جمله آبیاری شیاری برای ذرت و آبیاری نواری برای گندم، یونجه و جو به‌عنوان روش‌های مناسب شناسایی شدند. پیشنهاد می‌شود برای ارتقای عملکرد تصفیه‌خانهٔ فاضلاب قزوین از روش‌های پیشرفته‌تر تصفیه و پایش کیفی مداوم به‌منظور رعایت استانداردهای زیست‌محیطی و بهداشتی بهره‌گیری شود. ارتقای دانش و آگاهی کشاورزان و کارگران از طریق برنامه‌های آموزشی و تأمین منابع مالی لازم برای توسعهٔ شبکه‌های آبیاری و بهبود مدیریت بهره‌برداری از پساب تصفیه‌شده ضروری است.

مراجع

Alinezhadian, A., Mohammadi, J., Karimi, A. & Nikookhah, F. (2015). Effect of municipal effluent irrigation on accumulation of indicator bacteria and some of heavy metal in soil and plant. Molecular and Cellular Researches (Iranian Journal of Biology), 26 (4): 508-523. (In Farsi)

Asgari, A. & Albaji, M. (2017). Investigation of the possibility of using wastewater for agriculture (Case study: Shahrekord municipal sewage treatment plant). Journal of Water & Soil Conservation, 24 (2): 303-308. (In Farsi)

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

Baird, R.B., Eaton, A.D. & Rice, E.W. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition. American Water Works Association, 1796 pages.

Behbahaninia, A., Azadi, Amin. & Sadeghian, S. (2010). Effect of irrigation with wastewater treatment plan on heavy metals content of some vegetables in Roudehen region. Journal of Crop Production Research, 2 (2): 165-174. (In Farsi)

Environmental Criteria of Treated Waste Water and Return Flow Reuse, Criterion No. 535. (2014). Iran's Plan and Budget Organization. (In Farsi)

FAO. (2020). The State of Food and Agriculture. Overcoming Water Challenges in Agriculture, Rome.

Guidelines for Water Reuse. 2012. United States Environmental Protection Agency.

Ibekwe, A.M., Angle, J.S., Chaney, R.L. & van Berkum, P. (1995). Sewage sludge and heavy metal effects on nodulation and nitrogen fixation of legumes. Journal of Environmental Quality, 24 (6): 1199-1204.

IPCC. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. In: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Pean, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekci, O., Yu, R. & Zhou, B. (Eds.), Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Islam, S.M.F. & Karim, Z. (2019). 'World's demand for food and water: The consequences of climate change', *Desalination-challenges and opportunities*, IntechOpen, 1-27.

Manganiello, V., Zucaro, R. & Dono, G. (2024). The use of purified wastewater for irrigation: Possible strategies in the Capitanata area (Apulia, Italy). Agricultural Water Management, 291: 108614.

Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcon, J.J., Koukoulakis, P. & Asano, T. (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—review of some practices in Spain and Greece. Agricultural Water Management, 97 (9): 1233-1241.

Qazvin Sewage Treatment Plant Study Report. (2010). Water and Sewage Office of Qazvin Province, Iran. (In Farsi)

Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L.S., Pizzigalli, C. & Lionello, P. (2015). Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. Agricultural Water Management, 147: 103-115.

Singh, A., Sharma, R.K., Agrawal, M. & Marshall, F.M. (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. Tropical Ecology, 51 (2S): 375-387.

Taheri, S.M., Banejad, H. & Karimi Miandoab, H. (2024). Investigating the possibility of using treated wastewater in irrigation with regard to its environmental effects (A case study of the effluent from the Chehelbaze local water treatment plant). Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 6 (17): 1035-1052. (In Farsi)

Topare, N.S., Attar, S.J. & Manfe M.M. (2011). Sewage/wastewater treatment technologies: a review. Scientific Reviews and Chemical Communications, 1 (1): 18-24.

Ungureanu, N., Vladuț, V., Dinca, M. & Zabava, B.S. (2018). Reuse of wastewater for irrigation, a sustainable practice in arid and semi-arid regions. In: Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD). Drobeta-Turnu Severin, Romania, pp. 379-384.

Urban Sewage Treatment Plants Design Criteria. Revision of Criterion No. 129-3. (2024). Plan and Budget Organization, Islamic Republic of Iran. (In Farsi)

Vali, A. & Barabadi, H. (2016). Determining the cultivation pattern and evaluating the cultivated species with treated urban wastewater for the restoration of desert lands (Case study: Sabzevar sewage treatment plant). Arid Regions Geographic Studies, 7 (25): 37-47. (In Farsi)

World Health Organization. (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Volume 2: Wastewater Use in Agriculture. WHO Press, Geneva, Switzerland.

Zolfagharan, A., Haghayeghi, A. & Hamidi, H. (2019). Irrigation with treated domestic wastewater: Challenges and opportunities. Water Management in Agriculture, 6 (1): 37-46. (In Farsi).

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.25/No.94/ spring 2024/P :83-96

Technichal note

Investigating the Potential of Using Effluent of Sewage Treatment Plant in Irrigation and Drainage Networks; A Case Study of Buin Zahra

B.Yargholi, F. Taran*

***Corresponding Author**: Agricultural Engineering Research Institute (AERI); Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO); Karaj; Iran
Received: 4 August 2024**, Accepted**: 1 October 2024
Email: farshidtaran@gmail.com
https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2024.366616.1585

Abstract

Due to the scarcity of water resources and ever-increasing demand for it, treated wastewater, if meeting agricultural standards, can serve as an alternative or supplementary water source for achieving sustainable agriculture. In this study, considering the water shortage problem and the presence of arable lands in the province of Qazvin, especially in the Buin Zahra region, the potential of using the effluent of Qazvin's sewage treatment plant in Buin Zahra's irrigation and drainage network was investigated. In the first phase, the environmental status of the Buin Zahra region was studied, and subsequently, for one year (2019-2020), monthly samples were taken from the raw wastewater inflow and the treated effluent. Physical, chemical, and microbial analyses of these samples were conducted to evaluate the efficiency of the Qazvin sewage treatment plant. Based on the area's cropping pattern and the quality requirements of agricultural products, a plan for the development of the irrigation and drainage network was devised, considering the quantity and quality of the produced effluent. The evaluations included gravitational transfer, significant aquifer depletion, soil characteristics, and the area's cropping pattern. Taking these factors and the social acceptance of the plan into account, the network development was proposed using 20.8 million m^3 of effluent annually, covering 2000 ha of Buin Zahra's lands, and the appropriate cropping pattern and irrigation system were determined. Finally, given the importance of health and environmental issues, a comprehensive program for monitoring the quality of various components of the plan, including effluent, soil, agricultural products, and project workers, was prepared and presented to ensure the sustainable and safe use of this resource.

Keywords: Irrigation, Sewage, Sustainable agriculture