نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۷، بهمن - اسفند ۱۴۰۲، ص. ۱۰۵۲-۱۰۳۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 17, Feb.-Mar. 2024, p. 1035-1052

مقاله علمی-پژوهشی

امکان‌سنجی استفاده از پساب تصفیه شده در آبیاری با توجه به اثرات زیست‌محیطی آن (مطالعه موردی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب خانگی لوکال چهل‌بازه مشهد)

سیده محدثه طاهری [۱]، حسین بانژاد [۲*]، هادی کریمی میاندوآب [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۴

چکیده

استفاده از پساب تصفیه شده به عنوان یک راهکار جهت تأمین آب فضای سبز مطرح است. استفاده مجدد از پساب تصفیه شده شهری در آبیاری مزارع و فضای سبز می‌تواند نیاز به استخراج آب از منابع طبیعی و همچنین تخلیه پساب‌ها به محیط را کاهش دهد. در استفاده فاضلاب تصفیه شده بجای آب، کیفیت و واکنش آن با خاک، دارای اهمیت است و باید اثرات دراز مدت آن بر سیستم آبیاری، شوری خاک، بازده محصول وکیفیت آن و ویژگی‌های آب- خاک و اثرات محیطزیستی مورد توجه قرارگیرد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به علت استفاده کمتر از آب، تبخیر بالاتر و تصفیه پایین، غلظت مواد شیمیایی موجود در فاضلاب تصفیه شده بالاتر است. در مطالعه تحقیقاتی حاضر، ضمن بررسی کیفیت روزانه (از منظر میکروبی) پساب خروجی تصفیه‌خانه چهل‌بازه مشهد در بازه زمانی ۲۳ ماه، امکان استفاده از پساب شهری جهت آبیاری فضای سبز با روش تصفیه‌ایی لجن فعال مورد بررسی قرار گرفت. با تعیین متوسط میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیکیBOD ۶/۰۸ و اکسیژن‌خواهی شیمیاییCOD ۱۳/۷۰ و TSS میانگین ۳/۰۵، حذف کلیفرم و نماتد انگلی، میانگین نسبت COD به BOD تصفیه‌ای ۲/۲۹، وضعیت کیفی در محدوده مجاز جهت آبیاری فضای سبز از منظر فاکتورهای آزمایش شده استانداردسنجی گردید. با توجه به بررسی پارامترهای اندازه‌گیری شده روزانه فکال کلیفرم، تخم انگل، کدرورت، BOD، COD و TSS پساب خروجی این تصفیه‌خانه و قرارگیری در محدوده مجاز، استفاده از پساب از منظر فقدان خطر میکروبی مورد تائید جهت مصارف آبیاری فضای سبز تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: آب‌های نامتعارف، فاضلاب، لجن فعال، فضای‌سبز، کلیفرم، نماتد انگل،TSS، BOD، COD

مقدمه[۱]

تراکم جمعیت و منابع آب شیرین به طور یکسان در سراسر جهان توزیع نشده است. این امر کشاورزان را مجبور به استفاده از فاضلاب برای آبیاری محصولات غذایی کرده است. اگرچه فاضلاب منبع مهمی از مواد مغذی ضروری برای گیاهان است، اما بسیاری از خطرات زیست‌محیطی و بهداشتی نیز با استفاده از پساب برای آبیاری محصولات به دلیل وجود آلاینده‌ها و میکروب‌های سمی همراه است. آب منبعی حساس و محدود است که آسیب‌پذیری کیفی و محدودیت‌های کمی دارد. پیش‌بینی می‌شود ۶۰ درصد از کل جمعیت جهان تا سال ۲۰۲۵ با مشکل کمبود آب مواجه شوند (Rijsberman.,2006). ایران با دارا بودن ۱ درصد جمعیت جهان و در اختیار داشتن ۱/۲ درصد از وسعت خشکی‌های جهان تنها ۰/۳۶ درصد از منابع آب شیرین دنیا را در اختیار دارد طبق گزارشات سایت آبفا و به استناد مطالعات طرح جامع آب کشور در حال حاضر از ۱۳۰ میلیارد متر مکعب منابع آب تجدید شونده حدود ۸۳ میلیارد مترمکعب معادل ۹۳ درصد آن به بخش کشاورزی، ۵/۵ میلیارد مترمکعب معادل ۶ درصد به بخش خانگی و ۱/۵ میلیارد مترمکعب باقیمانده معادل ۱ درصد در بخش صنعت و مدن به مصرف می‌رسد (قنادزاده، ۱۳۹۴). میانگین حجم فاضلاب تولید شده روزانه توسط فعالیت‌های انسانی به

۱- دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳. رئیس اداره نظارت و مهندسی منابع آبی اداره کل بهبود محیطزیست شهرداری مشهد و دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی ،گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: banejad@um.ac.ir)

میزان در دسترس بودن مقدار آب در خانه، سطح فرهنگی، هزینه آب و شرایط اقتصادی بستگی دارد. تقاضای فاضلاب شهری معادل ۱۱ درصد از برداشت آب در سطح جهان است، حدود ۳ درصد از نیاز فاضلاب شهری مصرف می‌شود و ۸ درصد باقی‌مانده به عنوان فاضلاب تخلیه می‌شود. یعنی ۳۳۰ کیلومتر مکعب فاضلاب در سال که به طور بالقوه تقریباً ۴۰ میلیون هکتار یا ۱۵ درصد از کل اراضی آبی را آبیاری می‌کند (FAO, 2018).

شهر بلاگاوی روزانه حدود ۶۰/۵۶ میلیون لیتر در روز فاضلاب تولید می‌کند. بلری نالا (نالا به معنی نهر) از طریق زهکشی‌ها و خطوط فاضلاب مختلف به هم متصل می‌شود، در بخش‌های خاصی از مسیر نالا، کشاورزان به طور گسترده فاضلاب را از نهر برای آبیاری نیشکر، شلتوک، سبزیجات و غیره پمپاژ می‌کنند (Patil et al., 2023). فاضلاب حاوی عناصر بالقوه سمی مانند روی، کروم، مس، کادمیوم، نیکل، سرب، جیوه و کرم‌های انگلی است که می‌تواند خطرات شدیدی را برای سلامت انسان و محیط زیست ایجاد کند (Shakir et al., 2017). تاثیر استفاده از پساب بر خاک، محصول و آب و سلامت مرتبط در شهر حیدرآباد، جنوب هند بررسی گردید و تجزیه تحلیل فیزیکی (pH، Ec، کدورت، روغن گریس و TSS) و شیمیایی (روی، کروم، سرب، منگنز، مس و نیکل) و بیولوژیکی (BOD، COD و DO) پارامترها، نشان داد که آلودگی بیولوژیکی و وجود فلزات سنگین با افزایش شوری آب‌های زیرزمینی بارز بوده و خطر سرطان در محدوده کم تا متوسط برای افرادی که در طولانی مدت با آن در تماس هستند وجود دارد (Surinaidu et al., 2023).

استفاده از فاضلاب تصفیه نشده برای آبیاری محصولات نیز می‌تواند باعث سخت شدن خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی کم عمق شود. با این حال، مشکل اصلی آبیاری گیاهان با پساب، وجود عناصر بالقوه سمی است، تجمع عناصر بالقوه سمی در خاک و محصولات کشاورزی توسط آبیاری فاضلاب منجر به آلودگی خاک و کاهش ایمنی مواد غذایی می‌شود. عملکرد مراحل مختلف تصفیه در طول یک سال، تجزیه و تحلیل داده‌ها ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، شیمیایی، انگلی و باکتریولوژیکی (بیولوژیکی) فاضلاب تصفیه شده در طول فرآیند تصفیه آنها در مقایسه با استانداردهای استفاده مجدد در آبیاری و استانداردهای مراکشی برای تخلیه مستقیم مایعات به محیط طبیعی. نشان داد که راندمان سیستم ترکیبی به ترتیب به ۷۹ درصد، ۸۵ درصد و ۸۴ درصد مواد جامد معلق (ss)، نیاز شیمیایی به اکسیژن (COD)، نیاز بیوشیمیایی اکسیژن (BOD_5) رسید (Kajeiou et al., 2023). میزان مطابقت فرایند تصفیه با استانداردهای مجاز با توجه به اندازه جامعه تحت پوشش و روش دفع پساب به محیط زیست متفاوت می‌باشد. استفاده از پساب تصفیه شده جهت آبیاری از تخلیه فاضلاب غنی از عناصر به آب‌های سطحی اجتناب می‌کند از دیگر سو چنانچه تمهیدات لازمه اتخاذ نشود، خطراتی برای سلامت عمومی و محیط‌زیست در برخواهد داشت. همه فاضلاب‌های شهری تصفیه شده دارای کیفیتی نیستند که امکان استفاده نامحدود برای آبیاری را فراهم کند. برای بررسی افزایش کارایی تصفیه فاضلاب زهکشی از ترکیب شن و ماسه و کانی‌های خاک رس طبیعی زئولیت دیاتومیت و بنتونیت استفاده شد و آب تصفیه شده در ستون بنتونیت و دیاتویت جهت آبیاری توصیه گردید (ElSayed et al., 2021). مواد مغذی بالا، نمک، سدیم، یا سایر ترکیبات بیولوژیکی یا شیمیایی اغلب در غلظت‌هایی وجود دارند که می‌توانند بر سرعت ویا دفعات کاربرد تأثیر بگذارند یا نوع محصول را محدود کنند. در موارد خاص، فاضلاب شهری تصفیه شده حاوی سطوح نمک یا سدیم است که به دلیل اثرات مضری که برای زمین و محصولات مورد کشت ایجاد می‌کند، استفاده از آن برای آبیاری را کاملاً منتفی می‌کند. بنابراین، اهداف اولیه باید افزایش بلندمدت بهره‌وری کشاورزی سالم یا فضای سبز شهری با حداقل خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی می‌باشد. بنابراین، هنگام ارزیابی فاضلاب برای استفاده در آبیاری، مهم است موارد زیر مورد توجه قرار گیرد (Alberta, 2000).

- شناسایی اجزای فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی که ممکن است یک نگرانی بالقوه محیطی یا بهداشتی باشد.
- اطمینان حاصل شود که پساب‌هایی که برای کاربرد آبیاری در نظر گرفته شده‌اند، به طور مناسب آزمایش شده باشد.

سایر ملاحظات اقلیمی، اجتماعی، مدیریتی و زمینی که باید مورد ارزیابی قرار گیرند عبارتند از:

- تدوین پروتکل‌های مناسب برای تعیین مساحت‌های مناسب برای دریافت فاضلاب شهری برای آبیاری
- تعیین محدودیت‌های اقلیمی، محصول، کاربری زمین که ممکن است اعمال شود
- تعیین نرخ استفاده مناسب سالانه فاضلاب، مدت زمان و روش کاربرد، و همچنین دوره زمانی که چنین کاربردهایی ممکن است رخ دهد.
- در نظر گرفتن تمهیدات صحت‌سنجی جهت اطمینان و رفع نگرانی‌های ذینفعان

میزان فاضلاب تولید شده در سراسر جهان شاخصی برای احیای بالقوه آب شهری است. در سطح جهانی، حجم روزانه تولید فاضلاب از ۶۸۰ تا ۹۶۰ میلیون متر مکعب با حداکثر ظرفیت تصفیه فعلی ۳۲ میلیون متر مکعب که کمتر از ۵ درصد از مقدار تولید شده را نشان می‌دهد، متغیر است (Lautze et al., 2014). این بدان معناست که نیاز زیادی به افزایش ظرفیت جمع‌آوری و تصفیه و در نتیجه افزایش دسترسی به آب برای احیا وجود دارد. از جمله عوامل اصلی این شکاف می‌وان به، زیرساخت‌های بهداشتی منسوخ، نامناسب و یا مدیریت نادرست، عدم شمول در برنامه‌ریزی شهری، منابع مالی محدود و فقدان ظرفیت برای اجرای مقررات نمود. احیای آب یک

جایگزین مقرون به صرفه برای بسیاری از مناطق کم آب و یک منبع قابل اعتماد از یک منبع غذایی ثابت، در نظر گرفته می‌شود. در آستانه قرن بیست و یکم، تخمین زده شد که حدود ۱۰ درصد از جمعیت جهان از محصولات آبیاری شده با فاضلاب خام، نیمه تصفیه شده یا مخلوط (Smit et al., 1992) که از بیش از ۲۰ میلیون هکتار از زمین‌های قابل کشت استفاده می‌شود، مصرف می‌کنند (Malik et al., 2015). میزان آب بازیافتی پیش‌بینی شده برای اروپا تا سال ۲۰۲۵ از ۳ میلیون کیلومتر مکعب در سال فراتر خواهد رفت (Angelakis et al., 2014)در مناطقی که تصفیه فاضلاب به ندرت اجرا می‌شود، کشاورزان از فاضلاب تصفیه نشده یا رقیق شده برای آبیاری استفاده می‌کنند. چین، هند و مکزیک کشورهایی هستند که بیشترین مناطق آبیاری شده با فاضلاب تصفیه نشده یا رقیق شده را دارند. خاک‌هایی که به طور مداوم با فاضلاب تصفیه نشده یا نیمه تصفیه شده آبیاری می‌شوند، تغییرات کیفیت خاک را در نتیجه تخریب ساختار (به عنوان مثال، شور شدن خاک رس) و آلودگی معدنی، آلی و باکتریولوژیکی نشان می‌دهند (Jaramillo et al., 2017). به عنوان مثال، خاکی در محیط زائویت سوسه[1]، در تونس به مدت چهار سال با فاضلاب تصفیه شده آبیاری شد و نشان داد که آبیاری با فاضلاب با شوری بالا برای مدت طولانی بر خواص ژئوشیمیایی آن مانند شور شدن خاک و تجمع فلزات سنگین تأثیر می‌گذارد (Klay et al., 2010). خالک و همکاران، تاثیر آبیاری مکرر با آب شیرین کانال بحر مویس[2] و آب زهکشی کشاورزی زهکش بحر البقر[3]، را بر خواص خاک مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاکی از تغییرات خواص شیمیایی خاک (pH, ECe, SAR, CEC) مورد مطالعه بود (Khalik et al., 2021). جوانه‌زنی و ویژگی‌های فنولوژیکی محصولات در یک واحد هیدروپونیک تحت چهار رژیم آبیاری: آب لوله کشی به عنوان شاهد، مخلوط فاضلاب، فاضلاب تصفیه شده SGBP، و آب لوله‌کشی مخلوط با محلول غذایی به عنوان کنترل فوقانی، برای مدت ۴۵ روز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فاضلاب تصفیه شده SGBP هیچ تاثیر منفی بر جوانه‌زنی ندارد. ترکیبات مقاوم باقیمانده باعث توقف رشد اولیه در ریشه گیاه شدند و در نتیجه رشد رویشی و توسعه فنولوژیکی گیاه و همچنین تولید کلروفیل کاهش یافت (Egbuikwem et al., 2020). میزان کاهش ظرفیت خاک پس از دریافت فاضلاب برای مدت طولانی بسته به نفوذپذیری، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت جذب فسفر، ظرفیت نگهداری آب، بافت و ساختار خاک و نوع کانی رسی متفاوت است. دلایل عمده افزایش تمایل به استفاده از پساب عبارت است از:

* کاهش آلودگی ناشی از تخلیه فاضلاب به محیطزیست
* مدیریت کیفیت منابع آب و حفاظت محیطزیست
* راهکاری استراتژیک برای مدیریت خشکسالی
* قابلیت رقابت فاضلاب تصفیه شده با برخی از منابع آب
* کاهش تنش‌های آبی به ویژه در مواقع کمبود آب
* عدم نوسانات فصلی
* کاهش بار آلی رودخانه‌ها
* کاهش مصرف کودهای کشاورزی
* قیمت ارزان نسبت به سایر منابع آبی
* جلوگیری از افت بیش از حد آب‌های زیرزمینی و مخاطرات بعدی

وضعیت منابع آب در شهر مشهد:

اقلیم شهر مشهد با متوسط بارندگی دراز مدت ۲۵۵ میلیمتر در سال و درجه حرارت متوسط سالانه ۱۴ درجه سانتیگراد و میانگین ۱۴۰۰ میلیمتر تبخیر و تعرق بر اساس اقلیم نمای آمبرژه در منطقه خشک سرد قرار گرفته است. به دلیل واقع شدن این شهر در منطقه خشک و کم باران و عدم کفایت منابع آب سطحی و زیرزمینی اطراف مشهد، در سال‌های اخیر چندین هزار میلیارد ریال صرف پروژه‌های بزرگ تامین آب از قبیل سد دوستی و خط انتقال آن و همچنین پروژه جایگزینی پساب شده است و هنوز پروژه‌های دیگری بایستی اجرا شود تا نیاز آبی مشهد در دهه‌های آینده برطرف شود. شهر مشهد با ۳۳۵۹ هکتار فضای سبز تحت مدیریت یکی از مصرف کنندگان بزرگ آب در شهر می‌باشد. در حال حاضر بخش اعظم این آب توسط منابع آبی و الباقی توسط شبکه شرب شهری تامین می‌گردد. علیرغم تلاش‌های بسیار برای تامین آب فضای سبز، هنوز برای آبیاری فضاهای سبز موجود بیش از ۴۹۱ لیتر در ثانیه کمبود وجود دارد که با کم آبیاری مدیریتی تا حدودی قابل جبران بوده است. با توجه به سیستم‌های تصمیم‌گیری در خصوص میزان افزایش سرانه فضای سبز به ۱۵ مترمربع تا افق ۱۴۱۵ بنظر می‌رسد میزان نیاز آبی به بیش از ۵۰ میلیون مترمکعب خواهد رسید (قنادزاده، ۱۳۹۴). مصرف خانگی آب در شهر مشهد در سال حدود ۲۰۰ میلیون مترمکعب برآورد می‌گردد که با احتساب حدود ۷۰ درصد این مقدار به عنوان حجم پساب تولیدی، مشخص می‌شود که حجم قابل ملاحظه‌ای آب قابل تجدید وجود داشته که متأسفانه علی‌رغم محدودیت شدید منابع آب از آن استفاده مناسبی صورت نمی‌گیرد. مشهد با احتساب کمربندهای سبز اطراف شهر و فضاهای سبز خصوصی و باغات آستان قدس دارای ۶۱۶۸ هکتار فضای سبز می‌باشد تأمین آب برای این سطح از فضای سبز و رشد سالیانه مصرف در سال‌های اخیر تبدیل به یکی از مشکلات مدیریت و برنامه‌ریزی شهری شده است. به‌ویژه آنکه بنا به

1- Zaouit Sousse
2- Bahr Mouise canal
3- Bahr El-Baqar drain

گزارش سازمان آب و فاضلاب شهری مشهد، ۱۸۰ هکتار فضای سبز از انشعابات آب و فاضلاب شهری آبیاری می‌شوند. در حال حاضر در مشهد سالانه ۲۲/۵ میلیون متر مکعب آب برای آبیاری فضای سبز مورد نیاز است (شوشتریان، ۱۳۸۹). به‌دلیل نیاز آبی بالای فضای سبز و قرار گرفتن این نیاز در شهرهایی که خود با بحران کم‌آبی مواجه هستند، کمبود آب به مهم‌ترین عامل محدودکننده ایجاد و توسعه فضای سبز مبدل شده‌است (جدول ۱). در چنین شرایطی استفاده مجدد از فاضلاب‌های تصفیه شده یکی از راه‌های نجات از مشکل کم‌آبی است با وجود محدودیت‌های متعدد مربوط به استفاده مجدد فاضلاب تصفیه شده یک منبع آب در دسترس بوده و چون میزان تولید فاضلاب کمتر تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد لذا حتی در سال‌های خشک فاضلاب تصفیه‌شده وجود دارد، بنابراین فاضلاب تصفیه‌شده یک منبع آب معین جهت تأمین نیازهای آبیاری فضای سبز خواهد بود. با توجه به کسری موجود آب مصارف فضای سبز شهر و از طرفی با افزایش این کسری در نتیجه طرح‌های توسعه‌ی متناسب با استانداردهای سرانه فضای سبز شهری، نیاز به تامین منابع آب جدید از طریق احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب محلی و ضرورت استفاده از پساب آنها در آبیاری فضای سبز ضرورت می‌یابد. این در حالی است که سالانه ۵ میلیون مترمکعب کمبود وجود دارد. از طرفی تولید حجم بالایی از فاضلاب شهری و صنعتی با توجه به دو عامل مهم ورود زائرین و جمعیت حاشیه‌نشین همیشه از مشکلات شهر مشهد جهت دفع آن بوده است.

جدول ۱- مساحت و نیاز آبی فضاهای سبز موجود مناطق مختلف شهرداری مشهد (گزارش شرکت سروآب مشهد، ۱۳۹۰)

منطقه شهرداری	مساحت(هکتار)	نیاز آبی (لیتر بر ثانیه)	منطقه شهرداری	مساحت(هکتار)	نیازآبی(لیتر بر ثانیه)
۱	۵۸/۱	۴۸	۸	۸۴/۵	۵۹/۵
۲	۱۱۵/۵	۸۶	۹	۲۲۹/۹	۱۴۱
۳	۶۳/۱	۵۷	۱۰	۱۴۳	۱۲۱
۴	۷۹/۲	۵۵	۱۱	۱۶۰	۱۲۲
۵	÷	۳۰/۱۲	۱۲	۱۶/۷	۱۴/۸
۶	۸۶/۲	۶۶/۴	ثامن	۴/۸	۴
۷	۴۵۱/۱	۲۲۶	جمع	۱۵۳۷/۴	۱۰۳۰/۸۲

در بررسی نحوه دفع پساب خانگی در محدوده کل شهر با درصد حاشیه‌نشینی بالا گزارش کردند که میزان بالای آلودگی فاضلاب محدوده خیلی بیشتر از استانداردهای زیست محیطی بوده و بیش از ۸۰ درصد فاضلاب ساکنین محدوده به طور مستقیم در سطح معابر عمومی تخلیه می‌گردد. این امر علاوه بر افزایش بار آلودگی، مخاطرات بهداشتی و زیست‌محیطی، هزینه‌های بسیار گزافی را در بخش خدمات شهری به شهرداری تحمیل می‌کند (شوشتریان، ۱۳۸۹). اصولاً پساب‌ها به‌ویژه در بخش خانگی دارای ۹۹/۹ درصد آب به همراه ۰/۱ درصد مواد جامد آلی و معدنی مانند چربی‌ها و پروتئین‌ها نمک‌های محلول حاوی عناصر غذایی نیتروژن پتاسیم و فسفر بر عوامل بیماری‌زا و گاهی مواد سمی می‌باشند. پساب‌های بخش صنعتی که عمدتاً حاصل از فعالیت کارخانه‌ها و کارگاه‌ها بوده دارای ترکیبات شیمیایی مانند روغن‌ها و در برخی موارد فلزات سنگین مانند سرب و روی جیوه و کادمیوم می‌باشد براساس گزارش‌های بین‌المللی هر فرد در روز به طور متوسط ۲۰۰ – ۳۵ لیتر (۷۰ – ۱۲ متر مکعب در سال) پساب تولید می‌نماید که البته با توجه به دسترسی به آب، شرایط اقلیمی و فرهنگی مقدار متفاوت است (سلگی، ۱۳۸۹). در جدول ۲، میزان کسری نیاز آبی تا افق ۱۴۱۵ با توجه به گزارش بازنگری شبکه جداسازی آب شرب از خام فضای سبز شهرداری مشهد در سال ۱۴۰۱ شرکت هیدروتک توس پیش‌بینی گردیده است. با توجه به کسری نیاز آبی پیشه‌رو و نیاز فزاینده فضای سبز شهری، تامین منابع آبی جایگزین از طریق استفاده از پساب تصفیه شده، جهت آبیاری و زیباسازی شهری ضرورت می‌یابد.

جدول۲- کسری نیاز آبی تا افق ۱٤۱۵ در مشهد (گزارش بازنگری جداسازی آب شرب شرکت هیدروتک توس)

سال	جمعیت (میلیون نفر)	سرانه هدف (مترمربع به ازای هر نفر)	مساحت فضای سبز (هکتار)	کل نیاز آبی (میلیون متر مکعب)	منابع آبی موجود (میلیون متر مکعب)		کسری نیاز آبی در سال ۹۰ (میلیون متر مکعب)
					انشعاب	چاه‌ها	
۱۳۹۵	۳/۰۹	۱۵	۴۶۳۰	۳۶/۸	۲/۱	۱۰/۴	۲۴/۳
۱۴۰۰	۳/۴۲	۱۵	۵۱۳۰	۴۰/۸	۲/۱	۱۰/۴	۲۸/۳
۱۴۰۵	۳/۷۸	۱۵	۵۶۷۰	۴۵/۱	۲/۱	۱۰/۴	۳۲/۶
۱۴۱۰	۴/۱۵	۱۵	۶۲۲۰	۴۹/۵	۲/۱	۱۰/۴	۳۷
۱۴۰۵	۴/۵	۱۵	۶۵۷۰	۵۲/۲	۲/۱	۱۰/۴	۳۹/۷

پساب تولید شده در شهری با جمعیت یک میلیون نفر که در یک منطقه نیمه‌خشک واقع شده می‌تواند سالانه ۳۵۰۰ – ۱۵۰۰ هکتار زمین کشاورزی را آبیاری نماید. در ایران نیز هرساله بیش از ۲۰میلیون تن فاضلاب‌های شهری صنعتی و شیمیایی تصفیه نشده به داخل آب‌های سطحی و زیرزمینی دریای خزر و خلیج فارس وارد می‌شود که ظرفیت تصفیه‌خانه‌های کل کشور تنها ۳۸/۸۷ درصد فاضلاب‌های شهری می‌باشد (سلگی، ۱۳۸۹). هدف کلی از استفاده مجدد از فاضلاب، بهینه‌سازی و حفظ موجودیت منابع آب از طریق برگشت دادن جریان‌های فاضلاب به زمین و استفاده‌ی منطقی از منابع آب شیرین است. از جمله موارد مصرف پساب‌ها شامل مصارف کشاورزی، فضای سبز، تفرجگاه‌ها، تغذیه آبخوان، مصارف صنعت، شیلات و محیط‌زیست و غیره می‌باشد. بخش کشاورزی با توجه به مصرف بالای آب دارای بزرگ‌ترین پتانسیل برای استفاده مجدد پساب تصفیه شده‌است از فاضلاب شهری با جمعیت یک میلیون نفر می‌توان بر آبیاری ۱۵۰۰ تا ۳۵۰۰ هکتار زمین استفاده نمود (انبیر، ۱۳۹۷). در جدول ۳ به کاربردهای مختلف استفاده از پساب و محدودیت‌های مصرف اشاره شده است.

جدول۳- طبقه‌بندی کاربردهای مختلف استفاده از پساب و محدودیت‌های بالقوه آن (سلیمی، ۱۳۸۷)

نوع کاربرد	موارد استفاده	محدودیت‌های بالقوه
آبیاری زمین‌های کشاورزی و باغات	آبیاری انواع مختلف گیاهان زراعی، مراکز تولید نهال تجاری، باغات، مراتع و چراگاه‌ها و بیابان‌زدایی و احیای جنگل‌ها	آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی در صورت عدم کنترل مناسب، کاهش قابلیت فروش محصولات زراعی و پذیرش عمومی، اثر کیفیت به ویژه شوری بر خاک‌ها و محصولات زراعی، مسائل بهداشت سلامت عمومی از لحاظ عوامل بیماری‌زا (باکتری‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها)
بازگردش صنعتی و کاربرد مجدد	خنک کننده، دیگ بخار، آب فرآیندها، آبیاری فضای سبز صنعتی	مسائل بهداشت عمومی به‌ویژه انتقال آئروسل و باکتری‌های بیماری‌زا در آب خنک کننده، رسوبگذاری در داخل کانال‌ها و لوله‌های ارتباطی، فرسایش و خوردگی تاسیسات صنعتی.
تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی	ترمیم آب زیرزمینی، کنترل تداخل آب شور و شیرین، کنترل نشست خاک	امکان آلودگی منابع آب زیرزمینی، مواد شیمیایی آلی در منابع بهسازی شده و آثار سم شناختی آنها، تاثیرات نامطلوب ناشی از جامدات محلول، نیترات‌ها و باکتری‌های بیماری‌زا در منابع آبی بهسازی شده
مصارف زیست‌محیطی و تفریحی	حوضچه‌ها و دریاچه‌های تفریحی، توسعه مرداب‌ها، تنظیم جریان رودخانه، ماهیگیری و برف‌سازی	مسائل بهداشتی مربوط به باکتری‌ها و ویروس‌ها، ایجاد پدیده پرغذایی و در نتیجه مسمومیت حیات آبی
مصارف غیر شرب شهری	آتش نشانی، تهویه مطبوع، شستشوی سرویس‌ها، آبیاری فضای سبز شهری و خانگی، پارک‌ها، حیاط مدرسه زمین گلف، گورستان، کمربند سبز اطراف بزرگراه‌ها	مسائل بهداشت عمومی در ارتباط با باکتری‌های بیماری‌زایی که توسط آئروسل‌ها منتقل می‌شود. اثر کیفیت آب بر رسوب‌گذاری، فرسایش و رشد بیولوژیکی، عبور از محل شبکه آب شهری

شاخص‌های بیماری‌زایی فاضلاب :

علاوه بر مواد شیمیایی، انتقال عوامل بیماریزایی همچون باکتری‌ها، و انگل‌ها (پروتوزوآها و کرم‌ها) و ویروس‌ها از مهم‌ترین موضوعاتی است که در استفاده از پساب فاضلاب باید در نظر گرفته شود به همین جهت همواره ریسک مواجه شدن با مشکلات بهداشتی وجود دارد، بخصوص برای زارعین و آبیاری‌هایی که مستقیماً در تماس با پساب می‌باشند و یا کسانی که به نحوی در مزرعه رفت و آمد داشته و یا در نزدیکی نواحی تحت آبیاری با پساب فاضلاب زندگی می‌کنند (جدول ۴). حسن‌اقلی (۱۳۸۷) راهنمای سازمان بهداشت جهانی برای مصرف مجدد فاضلاب در کشاورزی با توجه به نوع مصرف و افراد در معرض گزار ش نموده است (جدول ۵). در کل تعداد و گونه‌های مختلف میکروارگانیسم یافت شده در فاضلاب بسیار متنوع بوده و به‌شدت تحت تأثیر عواملی همچون شرایط اقلیمی فصل عادت بهداشتی جامعه و وقوع بیماری‌ها قرار دارد. توان زنده ماندن عوامل بیماری‌زا در فاضلاب، خاک و گیاه از موارد بسیار مهم می‌باشد. عوامل عمر ریز جانداران در فاضلاب‌های شهری بستگی به ماه‌های سال، مکان و سطح زندگی و بهداشت مردم دارد. مدت زمان بقای ریز موجودات بیماری‌زا در خاک بسته به وضعیت عوامل محیطی از قبیل رطوبت، درجه حرارت، مقدار مواد آلی، pH، فصل از سال و تابش خورشید ممکن است از چند ساعت تا چندین ماه در نوسان باشد. در جدول ۶ طول دوره زنده ماندن جانداران بیماری‌زا در خاک، بر روی محصولات کشاورزی و در درون فاضلاب آمده است (حسن‌اقلی، ۱۳۸۷).

جدول٤- توصیه‌های بهداشتی فاضلاب مورد استفاده در کشاورزی از سوی WHO(۱۹۸۹) (مشهدی‌پور، ۱۳۸۷)

شرایط استفاده مجدد	گروه‌های در معرض خطر	نماتدهای روده‌ای * میانگین حسابی تعداد تخم نماتدها در لیتر	کلیفرم‌های مدفوعی میانگین هندسی تعداد FC در ۱۰۰ میلی‌لیتر پساب
آبیاری غیر محدود (محصولاتی که به صورت خام مصرف می‌شوند، زمین‌های ورزشی، پارک‌های عمومی و مناطق تفریحی)	کارگران و عموم مردم	=< ۱	** ۱۰۰۰
آبیاری محدود (محصولات کشاورزی که به صورت پخته به مصرف می‌رسند، گیاهان صنعتی، علوفه، چراگاه‌ها و درختان)***	کارگران	=< ۱	هیچ استانداردی توصیه نشده است

* کرم‌های قلاب‌دار انسانی، Trichuris Trichiura, Ascaris Lumbricoides ، ** در مکان‌های عمومی مانند زمین‌های چمن که مردم تماس مستقیم با آنها دارند باید از استانداردهای بالاتری بهره گرفت (FC / ۱۰۰ ml < ۲۰۰) ، *** در مورد درختان میوه باید دو هفته قبل از برداشت محصول، آبیاری را قطع نمود.

جدول ٥- راهنمای سازمان بهداشت جهانی برای مصرف مجدد فاضلاب در کشاورزی (a) (حسن‌اقلی، ۱۳۸۷)

نوع مصرف	افراد در معرض	حداکثر تخم انگل (b)	کلیفرم مدفوعی (c)	حداقل تصفیه
آبیاری محصولاتی که خام مصرف می‌شوند، زمین‌های بازی و پارک‌های عمومی	کشاورزان مصرف کنندگان	(C) < 1/lit	(d) >1000/100ml	یک سری برکه‌های تثبیت یا تصفیه‌ای معادل آن
آبیاری فضای سبز اماکن اقامتی نظیر هتل‌ها	مردم عادی	< 1/ lit	< 200/100 ml	تصفیه ثانویه به همراه گندزدایی
آبیاری محصولات علوفه‌ای، صنعتی و درختان میوه (c)	کشاورزان	< 1/lit	-	یک سری برکه تثبیت با حداقل ۱۰ -۸ روز ماند
آبیاری در مناطقی که تماس با انسان اتفاق نمی‌افتد	هیچکس	-	-	پیش تصفیه بسته به نوع آبیاری

(a) با توجه به شرایط اقتصادی- اجتماعی- فرهنگی و اپیدیولوژی تعیین می‌شود.

(b) شامل آسکاریس، تریکوریس، کرم قلاب‌دار

(c) در طی دوره آبیاری (d) برای برکه‌های تفریحی استاندارد، شرایط مشکل‌تر مطمئن‌تر است (MPN<200)

سینگ در سال ۲۰۲۱، ضمن بررسی اثرات زیست محیطی استفاده از فاضلاب بر روی خاک و گیاه و تاثیر آن بر سلامت انسان در نتیجه‌ی عوامل بیماری‌زا (باکتری‌ها، تک یاخته‌ها، ویروس‌ها) و آلاینده‌های نوظهور (داروها، آفت‌کش‌ها) و بیماری‌های ناقل مرتبط با آب (تب دنگی، زیکا، مالاریا، تب زرد) و ارتباط بین آبیاری فاضلاب و آب و هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای (دی اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن) ، بیان داشت که فاضلاب با تصفیه ضعیف منجر به رسوب فلزات سنگین و سایر عناصر سمی در خاک و گیاهان و همچنین افزایش سطح پاتوژن‌ها و افزایش تهدیدات میکروبی برای سلامتی انسان و حیوانات می‌شود (Singh., 2021). ایزات (۲۰۲۰) در روستای الراهاوی در استان جیزه مصر از مدل ارزیابی کمی ریسک میکروبی[1] برای تخمین احتمال خطر سالانه عفونت سالمونلا در پی مصرف محصولات زراعی که با فاضلاب خام آبیاری، وجود کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی، استرپتوکوک مدفوع و سالمونلا در محصولات کاهو و اسفناج را در سه مورد گزارش نمود (Ezzat., 2020). نتایج بررسی خطرات زیست محیطی و بهداشتی آبیاری با فاضلاب تصفیه شده تولیدی کارخانه الرستمیا[2] ، بیانگر شاخص[3] جامع آلودگی ۰/۶۹ و شاخص آلودگی آلی[4] بین ۱/۲۹ تا ۱/۶ بود (Shakir et al., 2017). آب آبیاری آلوده ممکن است منبع پاتوژن‌های غذایی[5] در میوه‌ها و سبزیجات باشد. بررسی‌های اپیدمیولوژیک، شیوع مسمومیت غذایی و آلودگی E. coli O157:H7 را در کاهو نشان داد (Ibekwe et al., 2018).

رشد و تولید گیاه جوجوبا تحت کوددهی با N، P و K و آبیاری با فاضلاب صنعتی بررسی گردید، فاکتور بیوغلظت Bio concentration factor (BCF) برای فلزات سنگین در برگ و دانه درختچه جوجوبا به ترتیب زیر؛ Fe < Zn < Mn < pb < Cu تعیین گردید (Hegab., 2021).

1- Zaouit quantitative microbial risk assessment (QMRA)

2- Al-Rustamia

3- comprehensive pollution index (CPI)

4- organic pollution index (OPI)

5- foodborne pathogens

چندین دستورالعمل در سراسر جهان برای تنظیم احیای آب برای مصارف کشاورزی وجود دارد. همچنین آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده، دستورالعمل‌هایی را به منظور اطمینان از استفاده ایمن از آب بازیافتی در کشاورزی آبی ایجاد کرد (Angelakis et al., 2014). با وجودی که برخی از کشورهای جنوب اروپا احیای آب را از طریق ایجاد مقررات خاص تشویق کرده‌اند (Angelakis et al., 2008)، کشورهای دیگر مانند ایتالیا مقررات سخت‌گیرانه‌تری برای احیای آب وضع کرده‌اند که اساساً از اجرای آن جلوگیری می‌کنند (Angelakis et al., 2014). با توجه به استاندارد ضوابط زیست‌محیطی نشریه ۵۳۵ و اندازه‌گیری پارامترهای کیفی فاضلاب، امکان تعیین نوع مصرف آب برگشتی قابل بررسی خواهد بود (جدول ۷).

جدول ٦- طول عمر عوامل بیماری‌زای دفع شده در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد (حسن‌اقلی، ۱۳۸۷)

نوع میکروارگانیسم	مدت زندگی (روز)			
	در فضولات، کود انسانی و لجن	در آب تازه و فاضلاب	در خاک	بر روی محصولات
۱- ویروس‌ها ویروس‌های روده‌ای	<۱۰۰ (<۲۰)	<۱۲۰ (<۵۰)	<۱۰۰ (<۲۰)	<۶۰ (<۱۵)
۲- باکتری‌ها				)
کلیفرم مدفوعی	<۹۰ (<۵۰)	<۶۰ (<۳۰)	<۷۰ (<۲۰)	<۳۰ (<۱۵
گونه‌های سالمونلا	<۶۰ (<۳۰)	<۶۰ (<۳۰)	<۷۰ (<۲۰)	<۳۰ (<۱۵)
گونه‌های شیگلا	<۳۰ (<۱۰)	<۳۰ (<۱۰)	-	<۱۰ (<۵)
ویبروکلورا	<۳۰ (<۵)	<۳۰ (<۱۰)	<۲۰ (<۱۰)	<۵ (<۲)
۳- پروتوزوا کیست آنتامیبا هیتولیتیکا	<۳۰ (<۱۵)	<۳۰ (<۱۵)	<۲۰ (<۱۰)	<۱۰ (<۲)
۴- کرم‌ها تخم‌های آسکاریس	چندین ماه	چندین ماه	چندین ماه	<۶۰ (<۳۰)

توجه: اعداد داخل پرانتز، طول عمر معمول را نشان می‌دهد.

جدول۷- برخی از پارامترهای استاندارد استفاده از آب‌های برگشتی (ضوابط زیست محیطی ۵۳۵ استفاده پساب)

نوع مصرف	تصفیه	کیفیت فاضلاب تصفیه شده				
		pH	اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی BOD (میلی‌گرم بر لیتر)	کل مواد جامد معلق TSS (میلی‌گرم بر لیتر)	کل مواد محلول TDS (میلی‌گرم بر لیتر)	کلیفرم مدفوعی MPN/100ml
آبیاری فضای سبز	ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	۸/۴ – ۶/۵	۳۱	۴۰	۴۵۰	۱۰۰۰
تغذیه آب‌های زیرزمینی	اولیه برای پخش ثانویه برای تزریق	۹ – ۵	۳۰	-	-	۴۰۰
صنعتی	ثانویه گندزدایی	۹ – ۶	-	۵۰ > الف* ۱۰۰ < ب >۱۰۰	۵۰۰ > الف ۱۰۰۰ < ب > ۱۰۰۰	-
تفریحی	ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	۹ – ۶	۱۰ >	-	-	-
شهری	ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	۹ – ۶/۵	۵ =<	-	۷۵۰	۴۰۰

آبیاری محدود شامل استفاده از پساب تصفیه شده برای آبیاری محصولات صنعتی، علوفه دام، درختان و محصولاتی است که به صورت خام مصرف نمی‌شوند، در حالی که آبیاری نامحدود شامل همه محصولات می‌شود. با توجه به تعریف سازمان استاندارد ملی ایران مبنی بر استفاده از پساب برای مصارف مختلف (سند ۱۵۶۳۳)، مصارف شهری محدود، مربوط به استفاده از پساب در شرایط عدم دسترسی عموم مردم و وجود علائم هشدار دهنده در محدوده مورد مصرف می‌باشد. از جمله مصارف پساب شهری محدود، می‌توان به استفاده جهت کاهش انتشار ریزگردهای ناشی از عملیات ساختمانی ساخت بتن، آب مورد نیاز برای محلول‌سازی آفت‌کش‌ها و کودها، مصارف زیباشناختی مثل آب‌نماها و حوضچه‌ها با دسترسی محدود شست‌وشو و آزمون شبکه‌های انتقال فاضلاب و روان‌آب‌های سطحی اشاره نمود (جدول ۸).

جدول ۸- ویژگی استفاده از پساب شهری برای مصارف شهری محدود (سند ۱۵۶۳۳ استاندارد ملی)

شرح و طبقه‌بندی مصارف	حداقل تصفیه مورد نیاز	کیفیت پساب	تواتر پایش پساب	توضیحات
محدود		$pH: 6-9$	pH هفتگی	-فاصله محل مصرف پساب تا چاه‌های تامین آب شرب حداقل ۹۰ متر و تا مناطقی که قابلیت دسترسی برای عموم را دارند (در صورت آبیاری پاششی) حداقل ۳۰ متر تعیین می‌شود.
		$BOD_5 \leq 30\ mg/l$	BOD هفتگی	-برای مصرف پساب در فعالیت‌های ساختمانی پارامترهایی از قبیل تراکم خاک، میزان گرد و خاک، شستشوی شن و ماسه و مدت زمان تماس کارگر با پساب باید به حداقل رسیده
	ثانویه	$TSS \leq 30\ mg/l$	TSS روزانه	و در مواقعی که تماس مکرر
	فیلتراسیون	کلیفرم گرماپای در نمونه ۱۰۰ میلی‌لیتر کمتر یا مساوی ۲۰۰ باشد	کلیفرم گرماپای: روزانه	کارگران با پساب محتمل باشد، سطح بالاتری از گندزدایی (به عنوان مثال تعداد کلیفرم مدفوعی کمتر از ۱۴ عدد در
	گندزدایی	کلر آزاد باقی‌مانده = 1 mg/l	کلر آزاد باقیمانده: پیوسته	۱۰۰ میلی‌لیتر) منظور شود.

جدول ۹- ویژگی استفاده از پساب شهری برای مصارف شهری نامحدود (سند ۱۵۶۳۳ استاندارد ملی)

شرح و طبقه‌بندی مصارف	حداقل تصفیه مورد نیاز	کیفیت پساب	تواتر پایش پساب	توضیحات
نامحدود		$pH: 6-9$	pH هفتگی	-فاصله محل مصرف پساب تا چاه‌ها تامین آب شرب حداقل ۱۵ متر و در صورت جنس خاک خیلی نفوذپذیر، حداقل فاصله ۳۰ متر باشد.
		$BOD_5 \leq 10\ mg/l$	BOD هفتگی	-برای دستیابی به کیفیت آب پیشنهادی، ممکن است افزایش مواد شیمیایی (منعقد کننده و پلیمر) قبل از فیلتراسیون لازم باشد.
	ثانویه	کدورت $\leq 2NTU$	کدورت: پیوسته	-پساب نباید حاوی میزان پاتوژن قابل اندازه‌گیری باشد
	فیلتراسیون	کلیفرم گرماپای در نمونه ۱۰۰ میلی‌لیتر قابل تشخیص نباشد	کلیفرم گرماپای: روزانه	-پساب باید شفاف و بدون بو باشد - برای اطمینان از غیرفعال شدن یا از بین رفتن ویروس‌ها و انگل‌ها باید کلر آزاد باقی‌مانده زیادتر شده یا زمان تماس با آن طولانی‌تر باشد.
	گندزدایی	کلر آزاد باقی‌مانده = 1 mg/l	کلر آزاد باقی‌مانده: پیوسته	-برای کاهش بو، تولید لجن و رشد مجدد باکتریایی پیشنهاد می‌شود کلر آزاد باقی‌مانده سیستم توزیع بیش از نیم میلی گرم در لیتر باشد.

جدول ۱۰- ویژگی استفاده از پساب شهری در دریاچه‌های مصنوعی با مصارف محدود (سند ۱۵۶۳۳ استاندارد ملی)

شرح و طبقه‌بندی مصارف	حداقل تصفیه مورد نیاز	کیفیت پساب	تواتر پایش پساب	توضیحات
محدود			pH هفتگی	-فاصله محل مصرف پساب تا چاه‌های تامین
	ثانویه	$BOD_5 \leq 30\ mg/l$	TSS روزانه	آب شرب در صورت آب‌بند نبودن کف باید حداقل ۱۵۰ متر باشد.
	گندزدایی	$TSS \leq 30\ mg/l$		-برای جلوگیری از رشد جلبک در آبگیرها، ممکن است از حذف مواد مغذی لازم باشد.
		کلیفرم گرماپای در نمونه ۱۰۰ میلی لیتر کمتر یا مساوی ۲۰۰ باشد	کلیفرم گرماپای: روزانه	-برای حفظ گونه‌های گیاهی و جانوری، ممکن است کلرزدایی لازم باشد.
		کلر آزاد باقی‌مانده = 1 mg/l	کلر آزاد باقیمانده: پیوسته	-برای دستیابی به کیفیت آب پیشنهادی، ممکن است افزایش مواد شیمیای (منعقدکننده و پلیمر) قبل از فیلتراسیون لازم باشد.

جدول ۱۱- ویژگی استفاده از پساب شهری دریاچه‌های مصنوعی با مصارف نا محدود (سند ۱۵۶۳۳ استاندارد ملی)

شرح و طبقه‌بندی مصارف	حداقل تصفیه مورد نیاز	کیفیت پساب	تواتر پایش پساب	توضیحات
نامحدود	ثانویه	$pH: 6-9$ $BOD_5 \leq 10\ mg/l$ کدورت $\leq 2NTU$	pH هفتگی BOD هفتگی کدورت: پیوسته	–فاصله محل مصرف پساب تا چاه‌های تامین آب شرب در صورت آب بند نبودن کف باید حاقل ۱۵۰ متر باشد – برای حفظ گونه‌های گیاهی و جانوری ممکن است کلرزدایی لازم باشد. – پساب نباید ایجاد خارش پوست و سوزش چشم نماید. – پساب باید شفاف و بی‌بو باشد.
	فیلتراسیون	کلیفرم گرماپای در نمونه ۱۰۰ میلی‌لیتر قابل تشخیص نباشد	کلیفرم گرماپای: روزانه	– برای جلوگیری از رشد جلبک در آبگیرها، حذف مواد مغذی (فرآیند حذف ازت و فسفر) ممکن است لازم باشد. – برای دستیابی به کیفیت آب پیشنهادی، ممکن است افزایش مواد شیمیایی (منعقد کننده و پلیمر) قبل از فیلتر کردن لازم باشد.
	گندزدایی	کلر آزاد باقی‌مانده = 1 mg/l	کلر آزاد باقیمانده: پیوسته	– پساب نباید حاوی پاتوژن‌های قابل اندازه‌گیری باشد. – برای اطمینان از غیر فعال شدن یا از بین رفتن ویروس‌ها و انگل‌ها باید کلر آزاد باقی‌مانده زیادتر شده یا زمان تماس با آن طولانی‌تر باشد. – ماهی‌های صید شده از داخل آبگیر می‌توانند مصرف شوند.

مصارف شهری نامحدود عبارت است از، استفاده از پساب در مصرف شهری که دسترسی عموم مردم بدون وجود محدودیت و محل مصرف پساب امکان‌پذیر باشد. این مصارف شامل شستشوی خیابان‌ها و تأسیسات شهری مرتبط، آتش‌نشانی، کارواش‌ها، شست‌وشوی پنجره، فلش‌تانک ساختمان‌ها و دسترسی نامحدود مصارف زیبا شناختی مثل آب‌نماها و حوضچه‌ها با دسترسی نامحدود هستند (جدول ۹). به منظور استفاده از پساب‌های شهری در دریاچه‌های مصنوعی (تفریحی)، ویژگی‌های مربوطه شامل شرح و طبقه‌بندی مصارف، حداقل تصفیه مورد نیاز، حدود مجاز کیفیت پساب، تواتر پایش پساب و همچنین توضیحات ضروری در جدول ۱۰ و ۱۱ آمده است.

با توجه به اندازه‌گیری پارامترهای BOD، PH و پارامترهای میکروبی پساب خروجی و طبقه‌بندی نوع مصارف مشخص شده در جداول ۸ تا ۱۱، نوع استفاده از پساب خروجی تصفیه‌خانه چهل‌بازه از نظر مصارف غیر شرب شهری و تامین آب دریاچه‌های مصنوعی به صورت مصارف محدود یا نامحدود مورد ارزیابی قرار گرفته شد.

مواد و روش‌ها

تصفیه‌خانه فاضلاب چهل‌بازه با موقعیت ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۹ درجه و ۳۰ دقیقه طول جغرافیایی، به عنوان یکی از بزرگترین تصفیه‌خانه‌های غشائی کشور با ظرفیت ۴۳۲۰ مترمکعب در روز و به روش بیوراکتورهای غشائی (MBR) در حاشیه کال چهل‌بازه شهر مشهد احداث شده است. هدف اصلی احداث این تصفیه‌خانه ایجاد منابع آبی پایدار برای توسعه فضای سبز شهری است و از ویژگی‌های مهم آن می‌توان به امکان تولید کیفیت بالای پساب اشاره نمود. از پارامترهای کیفی پساب خروجی این تصفیه‌خانه، شاخص کدورت به میزان کمتر از ۲ واحد نفلومتری و میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی (BOD) کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که مطابق استانداردهای داخلی و بین‌المللی در کاربردهای مصارف شهری است. بخش‌های فرآیندی این تصفیه‌خانه شامل ایستگاه پمپاژ فاضلاب ورودی (برداشت فاضلاب از خطوط فاضلاب‌رو ثقلی سطح شهر)، دو آشغالگیر درشت با سایز منافذ ۵/۲ و یک سانتی‌متری، آشغالگیر ریز ۳ میلیمتری، دانه‌گیری ورتکس و چربی‌گیری (به صورت پیش ساخته)، آشغالگیر ریز ۵/۱ میلیمتری، مرحله هوادهی بیولوژیک و مرحله فیلتراسیون (UF) در دو خط جریان، واحد تأسیسات مکش پساب و سیستم بکواش و شستشوی شیمیائی و در نهایت گندزدایی می‌باشد. این تصفیه‌خانه توسط سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهری شهرداری مشهد در قالب قرارداد BOT در حال بهره‌برداری است. جهت امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب لوکال چهل‌بازه به منظور تامین نیاز آبی فضای سبز شهری نمونه‌برداری از پساب خروجی تصفیه‌خانه صورت پذیرفت. در نمونه‌های اخذ شده از ابتدای اردیبهشت ماه ۱۴۰۰ تا پایان سال ۱۴۰۱ به صورت نمونه‌برداری روزانه، کلیه پارامترهای متعارف فاضلاب خروجی نظیر pH ، TSS کل مواد جامد معلق، BOD اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی کل، COD اکسیژن مورد نیاز شیمیایی کل، کلر، کدورت، کلیفرم مدفوعی، نماتد تخم انگل اندازه‌گیری گردید.

شکل۱- موقعیت تصفیه‌خانه چهل بازه

شکل ۲- تصفیه فاضلاب به شیوه لجن فعال در تصفیه‌خانه چهل بازه

فرآیند تصفیه فاضلاب MBR نوعی از فرآیند لجن فعال است، با این تفاوت که مواد و ذرات با کمک ته‌نشینی و جدا شدن لجن در حوضچه‌های ته‌نشینی جدا نمی‌گردد و تمام این مراحل با استفاده از غشا و فیلتراسیون فاضلاب جایگزین می‌گردد. در این روش از ممبران‌ها در نقش واحد ته‌نشینی، فیلتراسیون و حتی گندزدایی، استفاده گردید. تصفیه فاضلاب به روش MBR برای بسیاری از فاضلاب‌ها که بر اساس فرآیند لجن فعال رشد معلق کار می‌کنند، کاربرد دارند. لجن فعال، باعث می‌شود باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌ها

از مـواد آلـی موجـود در فاضـلاب تغذیـه نمـوده و منجـر بـه حـذف بیولوزیکی مواد آلی مضر از فاضلاب گردند. باکتری‌های هوازی برای رشد و تکثیر به غذا، آب و اکسیژن نیاز دارند که مواد آلـی موجـود در فاضلاب به عنوان غذا عمل نموده و بـا تزریـق هـوا بـه پسـاب‌هـای موجود در تصفیه خانه اکسیژن مورد نیاز برای آنها تامین می‌گردد. بـه عبارت دیگر، با فراهم کردن بستری از میکروارگانیسـم‌هـا و لجـن در تصفیه خانه‌ها و تزریق هوا به داخـل فاضـلاب شـرایط بـرای ایجـاد فرآیندهای بیولوژیکی بین باکتری‌ها و مواد آلی فـراهم مـی‌شـود. بـا تغذیه مواد آلی توسط باکتری‌ها، تا حد زیادی عمل تصـفیه فاضـلاب انجام می‌شود.

نتایج و بحث

اکسیژن مورد نیاز جهت اکسیداسیون فاضلاب، پساب و آب آلوده، معیار مناسبی برای آگاهی از حدود مقدار مواد آلوده‌کننده‌ی موجـود در این آب‌ها است. دو روش جهت تعیین میزان آلـودگی وجـود دارد کـه تحـت عنـاوین (BOD) و (COD) شـناخته شـده‌انـد. BOD مقـدار میلی‌گرم اکسیژن که لازم است تا ۵ روز نخست باکتری‌های هـوازی، مـواد آلـی موجـود در یـک لیتـر فاضـلاب را در دمـای ۲۰ درجـه‌ی سانتی‌گـراد اکسـید نمایـد. در حقیقـت BOD تعیـین‌کننـده‌ی مقـدار اکسیژن مورد نیاز برای ثبات بیولوژیکی مواد آلی نمونه‌ی مـورد نظـر خواهد بود. COD یک فاضلاب و پساب و یا آب آلوده عبارت است از میزان اکسیژن مورد نیاز برای اکسیداسیون مـواد قابـل اکسیداسـیون موجود در آن. عموماً COD فاضلاب از BOD آن بیشتر اسـت، زیـرا مقدار ترکیباتی که می‌توانند به‌صورت شیمیایی اکسیده شـوند از نظـر ترکیباتی که به‌صورت بیولوژیکی اکسید می‌شوند بیشتر اسـت. اولـین قدم در تشخیص آلودگی پساب و فاضلاب، شناخت و بررسـی BOD می‌باشد. با این عمل میزان مـواد آلـی موجـود در فاضـلاب و پسـاب مشخص می‌گردد. مصرف سرانه آب و درجه حرارت از جمله عـواملی هستند که به تعیین COD و BOD تأثیر می‌گذارد و هر چـه نسـبت COD به BOD کمتر باشد تصفیه‌ی فاضلاب بهتر صورت می‌گیـرد. چنانچه این نسبت ۱/۵ تا ۲ باشد تمام موارد آلی قابل‌تجزیه بوده است و هر چه این نسبت افزایش یابد قدرت تصـفیه بیولـوژیکی فاضـلاب کاهش خواهد یافت. اگر این نسبت بیشتر از ۴ باشد دلیل بر این است که تصفیه بیولوژیکی فاضلاب‌ها کافی نبود فقط ۲۰ درصد از فاضلاب تصفیه‌شده است (فریـدونی ۱۳۸۹). پـارامتر BOD بعنـوان شاخصـی جهت اندازه‌گیری ناخالص مواد آلی استفاده می‌شود. مقدار توصیه شده آن به منظور آبیاری فضای سبز و یا محصولات غیرخـوراکی کمتـر از ۳۰ میلیگرم بر لیتر می‌باشد. هرچند مواد آلـی بـر حاصـلخیزی خـاک اثرات مفیدی خواهند داشت، اما از طریق این ترکیبات و تاثیر آنها بـر رطوبت خاک و حفظ مواد مغذی، درنهایـت مـی‌تواننـد موجـب بقـای پاتوژن و هدایت آن و سایر آلاینده‌ها به سمت لایه‌های زیرین خـاک گردنـد همچنـین نسـبت پـارامتر BOD بـه COD (BOD/COD) نشان‌دهنده مطلوبیت تصفیه بیولوژیک در واحدهای فرآیندی می‌باشد (شوشتری، ۱۳۹۴). میزان ماکزیمم COD پساب ۱۶/۶۵ میلی گرم بر لیتر بود که مربوط به اردیبهشت ۱۴۰۰ و ابتدای راه‌اندازی تصفیه‌خانه بود. سایر ماکزیمم مقادیر COD مربوط به مـاه‌هـای بهمـن و اسـفند ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ بود که کاهش درجه حرارت موثر بوده است. کمتـرین مقدار COD نیز به اردیبهشت ماه ۱۴۰۱ با مقدار ۷/۶۱ میلی گرم بـر لیتر مربوط می‌شود. ماکزیمم و مینمم مقدار BOD به ترتیب در بهمن و اردیبهشت ۱۴۰۱ با مقادیر ۷/۶۷ و ۳/۵۲ تعیین گردید (شکل ۳). در طی دو سال بهره‌برداری تصفیه‌خانه، متوسط میزان اکسـیژن خـواهی بیولوژیکی BOD، ۶/۱۶ و میانگین اکسیژن خواهی شـیمیایی COD، ۱۳/۷۶ و میـانگین مـواد جامـد معلـق در آب TSS، ۳/۰۵ مشـخص گردید. فراینـد تصـفیه‌ایـی بیوراکتورهـای غشـائی (MBR) ، حـذف کلیفرم‌های مدفوعی و نماتد انگلی در پساب را در برداشت و متوسـط نسبت COD به BOD، برابر ۲/۲۷ تعیین گردید (جدول ۱۲).

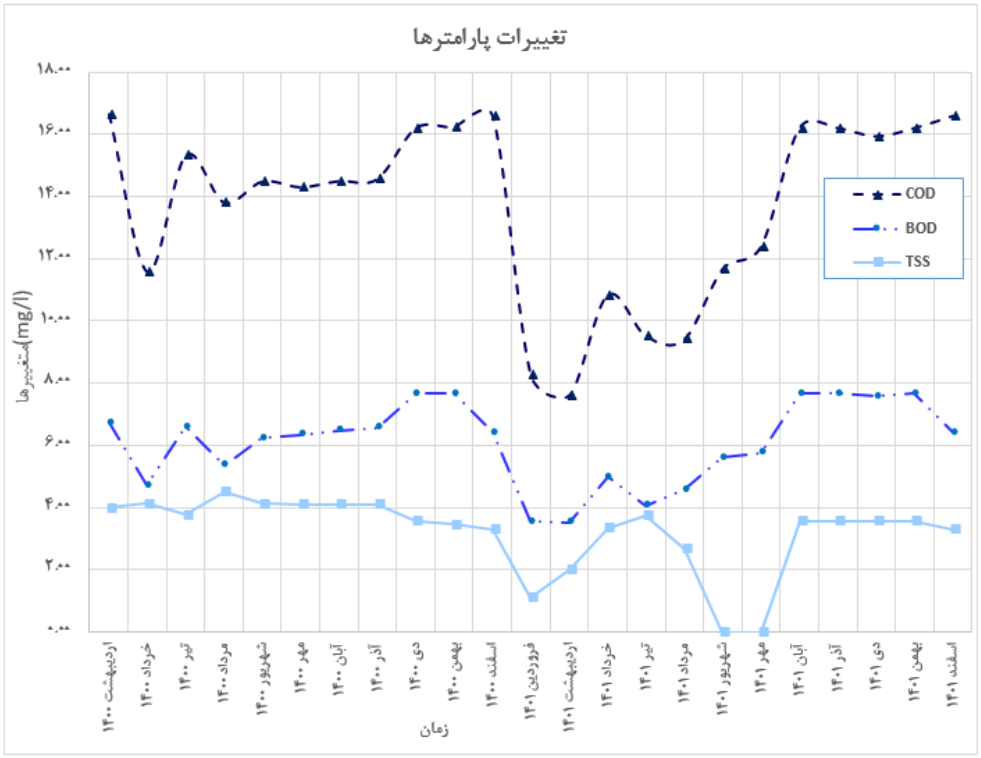
میانگین نسـبت COD بـه BOD در کـل در دوره بهـره‌بـرداری برابر، ۲/۲۹ مشخص شد. ماکزیمم رقم این نسبت به ماه‌هـای اسـفند ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ با مقدار ۲/۶۹ و ۲/۵۹ و کمترین رقم ایـن نسـبت بـه شهریور ماه ۱۴۰۱ و مقدار ۲/۰۸ مربوط می‌شـد و بـا وجـود نوسـانات ناچیز در مقدار نسبت COD به BOD ، در حالت کلـی رنـج متوسـط داده‌ها در محدوده بهینه ۲ و حذف تمام مواد آلی مضر فاضـلاب قـرار داشت (شکل ۴).

میانگین غلظت COD فاضلاب اولیه در طی دوره نمونـه‌بـرداری برابر ۷۸۲/۰۶ میلی‌گرم بر لیتر مشخص گردیـد کـه پـس از عملیـات تصفیه میزان میانگین COD پساب به ۱۳/۶۹ میلی‌گرم بر لیتر تقلیل یافت (شکل ۵). به منظور فراهم ساختن شرایط ایده‌آل بـرای رشـد و تکثیر میکروارگانیسم‌های فاضلاب، لازم است به پارامترهای مختلفی توجه شود که از مهم‌ترین آنها، pH و قدرت اسـیدی و قلیـایی بـودن پساب‌ها می‌باشد. افزایش یـا کـاهش پـارامتر pH در فاضـلاب‌هـای بهداشتی و صنعتی در نهایت منجر به تغییر در رونـد و سـرعت رشـد باکتری‌ها خواهد شد. بهترین pH برای اینکـه میکروارگانیسـم‌هـا بـه خوبی در آن رشد و تکثیر پیـدا کننـد، در بـازه خنثـی یعنـی حـدود ۷ می‌باشد. افزایش یا کاهش مقدار pH حتی اگر به اندازه یـک واحـد از حد نرمال و خنثی باشد نیز می‌تواند در رشد برخی از باکتری‌ها تاثیرات منفی متعددی ایجاد کند. به همین جهت رونـد تغییـرات PH روزانـه فاضلاب و پساب در نمونه‌های مورد مطالعه برداشت شـد و میـانگین pH فاضلاب و پساب در طی دوره نمونه‌برداری به ترتیب برابـر ۷/۴۹ و ۷/۳۹ (شکل ۶) و میـزان متوسـط غلظـت کلـر بـاقی‌مانـده پسـاب خروجی در طی دوره برابر ۰/۴۸ میلی‌گرم بر لیتر ثبت گردید.

جهت بررسی وضعیت آلایندگی میکروبی پسـاب خروجـی، آنـالیز

فکال کلیفرم و تعداد تخم انگل نماتد نیز انجام شد که در کلیه نمونه‌ها در طول دو سال عمر شبکه این رقم صفر ثبت گردیده شد. تست آنالیز میزان کدورت نمونه پساب‌های خروجی نیز صفر اندازه‌گیری شد و شفافیت ظاهری نمونه‌های خروجی رضایت‌مندی لازم را در بر داشت (شکل۷). به منظور بررسی وضعیت کیفی شبکه در طی دو سال عمر بهره‌برداری تصفیه‌خانه، نسبت COD به BOD نمونه‌های پساب در سال ۱۴۰۰ با سال ۱۴۰۱ مورد مقایسه قرار داده شد. میانگین این نسبت در سال اول برابر ۲/۳۴ و در سال دوم برابر ۲/۱۹ مشخص گردید که نشان از بهبود وضعیت کیفی شبکه و کارایی بهتر لجن‌های فعال تکثیر یافته در حذف آلایندگی از فاضلاب بود (شکل ۸).

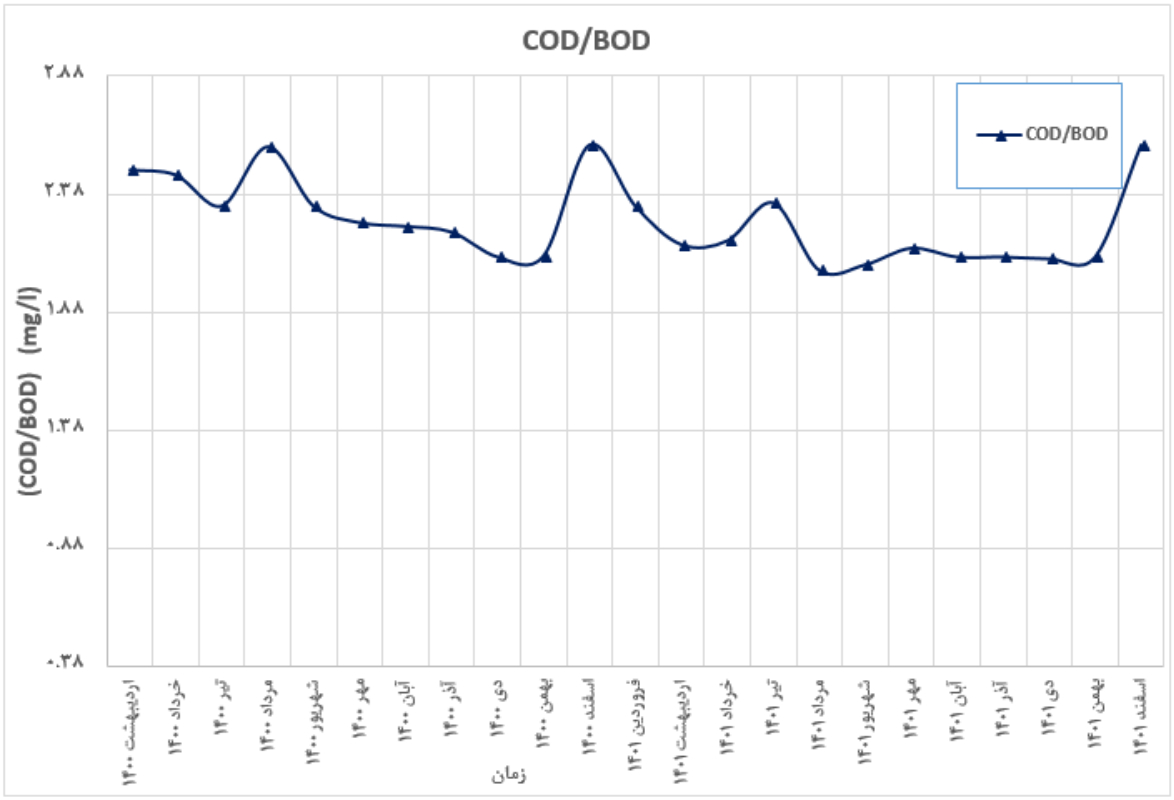
در نتیجه بررسی مقادیر میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی و pH . سایر پارمترهای میکروبی با توجه به استانداردهای ارائه شده در جداول ۸ و ۹، امکان استفاده از پساب خروجی جهت مصارف نامحدود شهری از قبیل مصارف زیباشناختی مثل آب‌نماها و حوضچه‌ها، شستشوی شهری و آتش‌نشانی تائید گردید. همچنین با توجه به ویژگی استفاده از پساب شهری طبقه‌بندی شده در جداول ۱۰ و ۱۱، امکان استفاده از پساب جهت تامین آب دریاچه‌های مصنوعی با مصارف نامحدود صحت‌سنجی گردید. همچنین با توجه به اندازه‌گیری پارامترهای تشخیص میکروبی و مقادیر اکسیژن خواهی شیمیایی و بیولوژیکی، امکان‌سنجی استفاده از پساب جهت آبیار ی فضای سبز از منظر احتمال خطر میکروبی بررسی گردید.



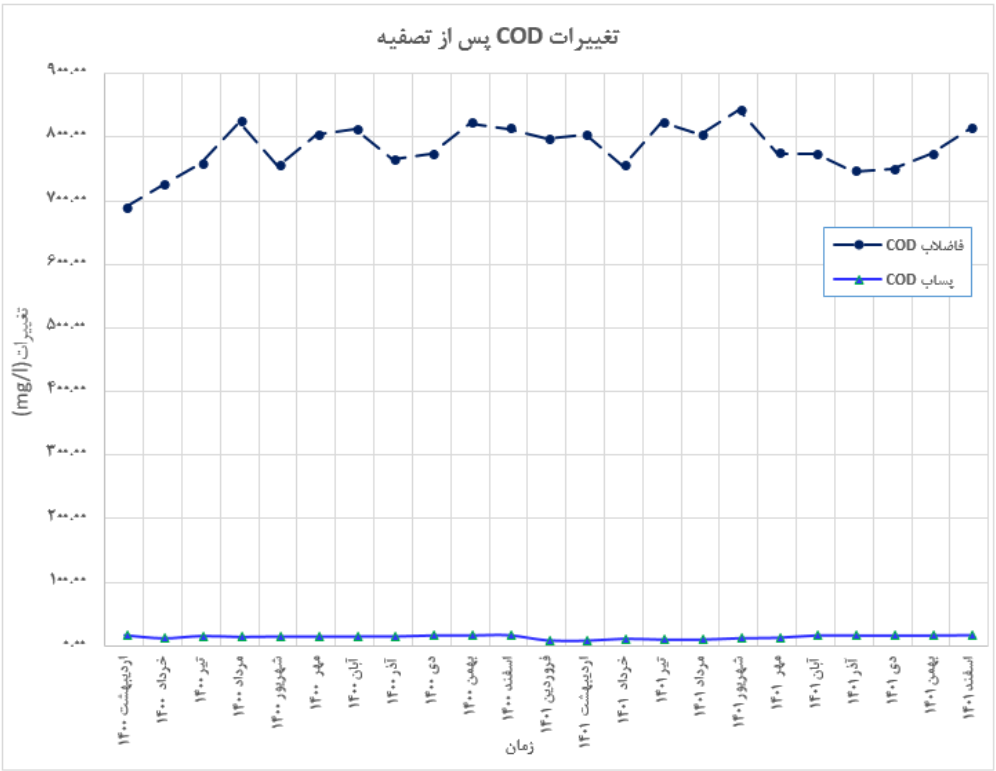
شکل ۳- تغییرات پارامترهای COD و BOD و TSS

جدول ۱۲- مقادیر پارامترهای کمی و کیفی بازه زمانی ۲۳ ماه

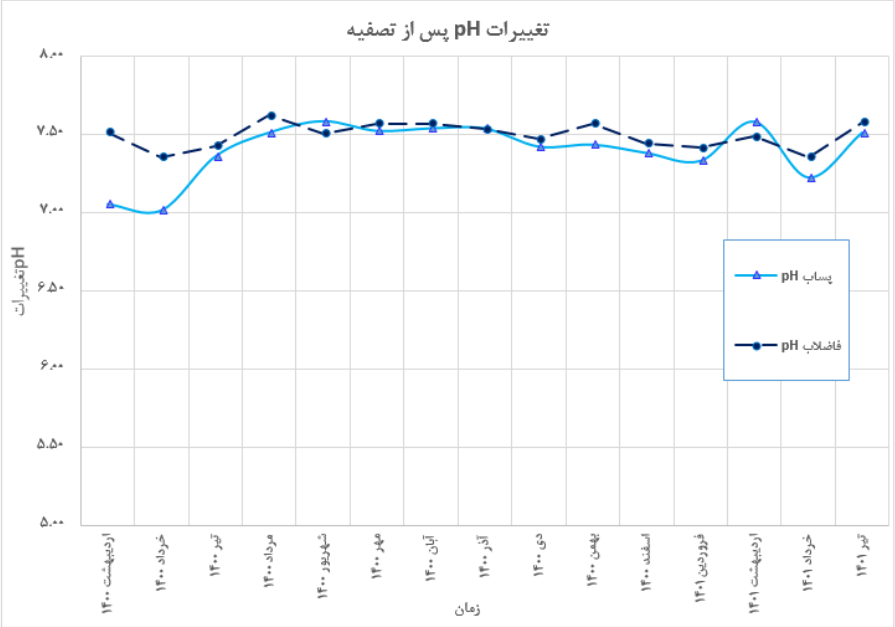
ردیف	آزمون	واحد	میانگین	مقدار حداکثر مجاز
۱	اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی BOD	میلی‌گرم بر لیتر	۶/۱۶	۳۱
۲	کل مواد جامد معلق در آب TSS	میلی‌گرم بر لیتر	۳/۰۵	۴۰
۳	pH	-	۷/۳۸	۶/۵ – ۸/۴
۴	کلر باقی‌مانده در آب	میلی‌گرم بر لیتر	۰/۴۸	۱۰۰
۵	کلیفرم مدفوعی	MPN/100ml	۰	۱۰۰۰
۶	تخم انگل کرمی گروه نماتد	تعداد در لیتر	۰	۱



شکل ٤- نسبت پارامترهای COD به BOD

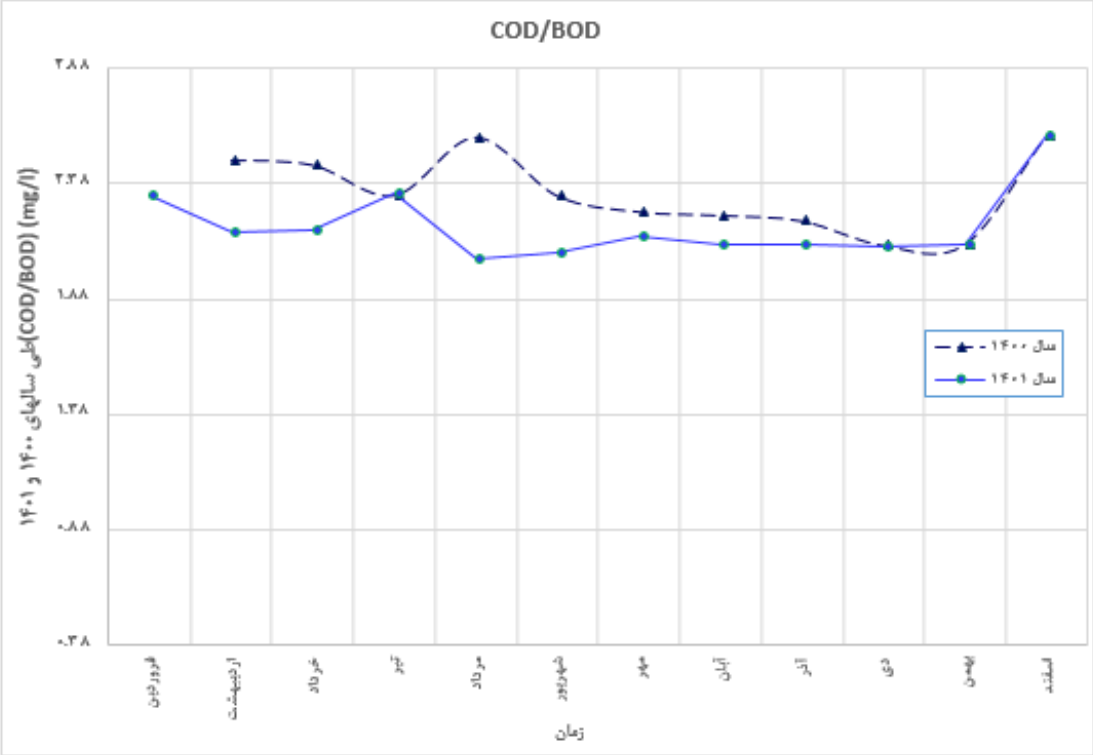


شکل۵- اکسیژن مورد نیاز شیمیایی فاضلاب و پساب



شکل ٦- تغییرات pH فاضلاب و پساب

شکل ۷- نمونه شفافیت پساب خروجی



شکل۸- روند تغییرات نسبت COD به BOD در سال اول و دوم بهره‌برداری تصفیه‌خانه

نتیجه‌گیری

در بررسی پساب تصفیه شده‌ی تصفیه‌خانه چهل بازه شهر مشهد، مقدار pH در حد نرمال قرار داشت. غلظت کلر پساب تصفیه شده کمتر از حد مجاز بود و محدودیتی برای آبیاری فضای سبز با پساب تصفیه شده نداشت. میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی BOD ، COD و TSS در جدول شماره‌ی ۱۲ ، ذکر شده است. مقایسه‌ی پارامترهای مورد نظر با حدود مجاز استاندارد و خروجی پساب‌ها نشان می‌دهد که میانگین BOD پساب در کلیه‌ی موارد کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است و برای آبیاری با پساب تصفیه شده محدودیتی ندارد. میانگین مقدار COD و TSS نیز کمتر از حد مجاز می‌باشد و محدود کننده نمی‌باشد. آزمایش میکروبی برای تایید سنجش محدوده مجاز ارزیابی قرار گرفت و صحت‌سنجی نتایج نیز در بازه‌های زمانی مختلف بررسی گردید.

متوسط میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی BOD و COD به ترتیب ۶/۰۸ و ۱۳/۷ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین مواد جامد معلق در آب TSS، ۳/۰۵ مشخص گردید. فرایند تصفیه‌ایی بیورآکتورهای غشائی (MBR) ، حذف کلیفرم‌های مدفوعی و نماتد انگلی در پساب را در بر داشت و متوسط نسبت COD به BOD در طی دوره ۲۳ ماهه برابر ۲/۲۹ تعیین گردید. با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری شده میکروبی وکیفیت پساب از لحاظ میانگین BOD، COD و TSS امکان استفاده از پساب خروجی از منظر فقدان میکروبی جهت استفاده مصارف نامحدود غیر شرب شهری و مصارف نامحدود زیباسازی شهری از قبیل دریاچه‌های مصنوعی مورد تائید قرار گرفت.

تشکر و قدردانی

از کلیه اشخاص و ارگان‌هایی که در این فعالیت تحقیقاتی نقش داشتند به ویژه ، معاونت محیطزیست و خدمات شهری شهرداری مشهد، اداره کل بهبود محیطزیست شهری شهرداری مشهد و سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهرداری مشهد کمال تشکر و قدرانی را داریم.

منابع

انبیر، ل. و نوری، ز. ۱۳۹۷. بررسی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری اکباتان جهت کاربرد در اراضی کشاورزی و فضای سبز. مدیریت اراضی، ۶(۱):۹۵-۱۰۲.

حسن‌اقلی، ع. ۱۳۸۷. کاربردهای زارعی پساب و آب‌های بازیافتی، اولین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد.

سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۳۹۷. استفاده از پساب‌های شهری برای مصارف مختلف، سند ۱۵۶۳۳.

سلگی، م. و تقی‌زاده، م. ۱۳۸۹. چشم‌انداز کاربرد نانوتکنولوژی در تصفیه پساب‌ها جهت استفاده در کشاورزی و فضای سبز، دومین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد.

سلیمی، م.، وثوق، ع. و جلوس جمشیدی، ر.۱۳۸۷. مدیریت و برنامه‌ریزی جهت استفاده بهینه از پساب‌های تولیدی تصفیه خانه‌های فاضلاب ایران، اولین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد.

شوشتری، ر.، فتح آبادی، ب. و هراتی، غ. ۱۳۹۴.بررسی قابلیت استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری جهت آبیاری فضای سبز (مطالعه موردی تصفیه خانه فاضلاب شهری نیشابور)، ششمین کنفرانس آب، پساب و پسماند، تهران.

شوشتریان، س. و تهرانی‌فر، ع. ۱۳۸۹. بررسی امکان کاربرد پساب‌های شهری تصفیه شده در آبیاری گیاهان فضای سبز شهری مشهد، دومین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد.

فریدونی، م.، فرجی، ه. اولیایی، ح. ادهمی، ا. ۱۳۸۹. پتانسیل استفاده از پساب تصفیه شده‌ی شهر یاسوج در محصولات کشاورزی، دومین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد.

قنادزاده، م.، فریدحسینی، ع. حسین پوران، س. و اقبالی، ح. ۱۳۹۴. آب, آبیاری و بهره وری: ارزیابی منابع تامین آب و پساب جهت آبیاری (مطالعه موردی فضای سبز مشهد).

گزارش بازنگری شبکه جداسازی آب شرب از خام فضای سبز شهرداری مشهد ۱۴۰۱ شرکت هیدروتک توس.

مشهدی‌پور، م.، صابر، ب. و کیا، پ. ۱۳۸۷. استفاده از پساب تصفیه خانه فاضلاب جهت ابیاری فضای سبز شهرها مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی زاهدان، قزوین، اولین سمینار ملی جایگاه آبهای بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب،مشهد.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهوری. ۱۳۸۹. ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی. نشریه ۵۳۵.

Alberta, D. 2000. Guidelines for Municipal Wastewater Irrigation Municipal Program Development Branch April.

Angelakis, A.N. and Gikas, P. 2014. Water reuse: Overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states. Water Utility Journal, 8(67), p. e78.

Angelakis, A.N. and Durham, B. 2008. Water recycling and reuse in EUREAU countries: Trends and challenges. Desalination 218, 3–12.

ElSayed, E., Ibrahim, L.A., Ghandour, A., Zelenakova, M., Vranayova, Z. and Abu-Hashim, M. 2021. Efficiency of natural clay mineral adsorbent filtration systems in wastewater treatment for potential irrigation purposes. Sustainability, 13(10), p.5738.

Egbuikwem, P.N., Mierzwa, J.C. and Saroj, D.P. 2020. Assessment of suspended growth biological process for treatment and reuse of mixed wastewater for irrigation of edible crops under hydroponic conditions. Agricultural Water Management, 231, p.106034.

Ezzat, S.M. 2020. Applying quantitative microbial risk assessment model in developing appropriate standards for irrigation water. Integrated Environmental Assessment and Management, 16(3), pp.353-361.

Food, F. 2018. Agriculture organization of the United Nations. (2012). Producción. Ganadería. Online http://faostat. fao. org/site/573/default.

Jaramillo, M.F. and Restrepo, I. 2017. Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. Sustainability, 9(10), p.1734.

Hegab, R. 2021. The growth and production of Jojoba plant under NPK-fertilization and irrigation with industrial wastewater. Egyptian Journal of Soil Science 61(1), pp.45-62.

Ibekwe, A.M., Gonzalez-Rubio, A. and Suarez, D.L. 2018. Impact of treated wastewater for irrigation on soil microbial communities. Science of the Total Environment, 622, pp.1603-1610.

Kajeiou, H., Sbaa., M. and Darmous, A. 2023. Physio-chemical, chemical and biological characterization of wastewater treatment plant of Oujda (Eastern Morocco) and possibility of reuse in irrigation. Materials Today: Proceedings, 72, pp.3326-3335.

Khalik, A.M.S.A., Moussa, K.F., Fattah, M.K.A. and Abdo, A.I. 2021. Effect of Irrigation Water Source on Some Soil Chemical Properties. Plant Arch, 21(2), pp.215-220. Petroleum, 26(1), pp.95-102.

Klay, S., Charef, A., Ayed, L., Houman, B. and Rezgui, F. 2010. Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). Desalination, 253(1-3), pp.180-187.

Lautze, J., Stander, E., Drechsel, P., Da Silva, A.K. and Keraita, B. 2014. Global experience in water reuse, resources recovery and reuse series 4. Research Program on Water Land and Ecosystems, International Water Management Institute, USAID/USEPA, 23.

Petroleum, 26(1), pp.95-102.

Singh, A. 2021. A review of wastewater irrigation: Environmental implications. Resources, Conservation and Recycling, 168, p.105454.

Smit, J. and Nasr, J. 1992. Urban agriculture for sustainable cities: using wastes and idle land and water bodies as resources. Environment and urbanization, 4(2), pp.141-152.

Surinaidu, L., Gupta, P.K., Ahmed, S., Hussain, M. and Nandan, M.J. 2023. Impact of urban wastewater reuse for irrigation on hydro-agro-ecological systems and human health risks: A case study from Musi river basin, South India. Hydro research, 6, pp.122-129.

Rijsberman, F.R. 2006. Water scarcity: fact or fiction? Agricultural water management, 80(1-3), pp.5-22.

Malik, O.A., Hsu, A., Johnson, L.A. and de Sherbinin, A. 2015. A global indicator of wastewater treatment to inform the Sustainable Development Goals (SDGs). Environmental Science & Policy, 48, pp.172-185.

Patil, C., Katageri, B., Bekal, P., Bukke, L. and Sutar, A.H. 2023. Characterization of a Wastewater Stream (Bellary Nala, Belagavi, Karnataka) Using Conventional and Modeling Approach. Water, Air, & Soil Pollution, 234(2), p.116.

Shakir, E., Zahraw, Z. and Al-Obaidy, A.H.M. 2017. Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. Egyptian Journal of

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 17, Feb.-Mar. 2024, p. 1035-1052

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۷، بهمن - اسفند ۱۴۰۲، ص. ۱۰۵۲-۱۰۳۵

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)

S.M. Taheri[1], H. Banejad[2*], H. Karimi miandoab[3]
Recived: Jan.12, 2023 Accepted: Aug.26, 2023

Abstract:

The use of treated wastewater is considered as a solution for supplying water to green spaces. The reuse of purified urban wastewater in the irrigation of fields and green spaces can reduce the need to extract water from natural sources and also reduce the discharge of wastewater into the environment. In using treated wastewater instead of water, its quality and its reaction with the soil are important, and its long-term effects on the irrigation system, soil salinity, product yield and its quality, water-soil characteristics, and environmental effects should be considered. In arid and semi-arid regions, due to less use of water, higher evaporation and lower purification, the concentration of chemical substances in treated wastewater is higher. In the present research study, while examining the daily quality (from a microbial perspective) of the effluent of Mashhad's Chehlbazeh treatment plant in a period of 23 months, the possibility of using urban effluent for irrigation of green spaces with the activated sludge treatment method was investigated. By determining the average amount of biological oxygen demand BOD 6.08 and chemical oxygen demand COD 13.70 and TSS average 3.05, removal of coliform and parasitic nematodes, the average ratio of COD to treatment BOD 2.29, the quality status is within the permissible range for green space irrigation from the perspective of factors Tested and standardized. According to the daily measured parameters of faecal coliform, parasite eggs, turbidity, BOD, COD and TSS of the effluent of this treatment plant and being within the permitted range of using the effluent from the point of view of the lack of microbial risk, it was determined for green space irrigation.

Keywords: Activated sludge, BOD, COD, Coliform, Green space, Parasite nematode, TSS, Unconventional waters, Wastewater

1- Phd student of Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Boss of Water Resources Monitoring and Engineering Department, General Department of Environmental Improvement of Mashhad Municipality and PhD student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: banejad@um.ac.ir)