

ارزیابی اثر میان‌مدت آبیاری با پساب تصفیه شده بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب شهر بندرگز)

کامی کابوسی^۱

گروه مهندسی آب، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.

kkaboosi@yahoo.com

*دریافت: شهریور ۱۳۹۳ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۳

چکیده

در این پژوهش ضمن بررسی ویژگی‌های فاضلاب ورودی و پساب خروجی از تصفیه‌خانه شهری بندرگز بر اساس آمارهای دوره بهره‌برداری و نمونه‌برداری‌های صورت گرفته در طی تحقیق، اثرات استفاده میان‌مدت از پساب (۹۰-۱۳۸۳) بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، دو نمونه از فاضلاب ورودی و سه نمونه از پساب خروجی تصفیه‌خانه تهیه گردید و ۲۵ پارامتر کیفی فاضلاب مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین چهار نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری خاک اراضی تحت آبیاری با پساب در ابتدا و اواسط فصل کشت و دو نمونه خاک از اراضی مجاور تحت آبیاری با آب معمولی تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها تعیین گردید. نفوذپذیری خاک نیز به روش استوانه‌های مضاعف اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که بر اساس روش آزمایشگاه شوری آمریکا، راهنمای آیرز و وستکات، راهنمای استفاده از آب هندوستان، راهنمای تقسیم‌بندی کیفی آب ایران، استانداردهای خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، راهنمای نشریه شماره ۵۳۵ وزارت نیرو و استاندارد ملی استرالیا پساب خروجی از تصفیه‌خانه شهر بندرگز برای مصارف آبیاری مناسب می‌باشد. همچنین کاربرد میان‌مدت پساب بر اساس طبقه‌بندی ریچاردز، شینبرگ و اوستر، رودز و همکاران، آزمایشگاه شوری ایالات متحده آمریکا و راهنمای طبقه‌بندی اراضی برای آبیاری در ایران در مقایسه با اراضی تحت آبیاری با آب معمولی محدودیتی بر گیاهان و افزایش شوری و مشکلات سدیم را به وجود نمی‌آورد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، بندرگز، پساب، تصفیه‌خانه، خاک، فاضلاب.

مقدمه

بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک تحت شرایط غرقاب متناوب و پیوسته پرداختند. نتایج افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم، نیتروژن نیتراتی، فسفر فسفات، کربن آلی کل و کاهش معنی‌دار اسیدیته، در اعماق مختلف خاک را نشان داد.

روحانی شهرکی و همکاران (۱۳۸۴) طی پژوهشی به بررسی برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاکی که به مدت نه سال با پساب آبیاری می‌گردید و مقایسه آن با خاک اراضی مجاور پرداختند. نتایج نشان داد که خاک اراضی تحت آبیاری با پساب از وزن مخصوص ظاهری، نفوذپذیری نهایی، هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم کمتر و میزان درصد رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی، نیتروژن و فسفر بیشتری برخوردار می‌باشند.

حنیفه‌لو و معاضد (۱۳۸۵) اثر پساب تصفیه شده شهر اهواز بر ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم-شنی را مورد بررسی قرار دادند. پس از آبیاری به مدت ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ روز، ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در سه عمق ۱۳-۰، ۲۶-۱۳ و ۴۰-۲۶ سانتیمتر خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که پساب تصفیه شده نسبت به آب رودخانه کارون باعث افزایش معنی‌دار ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک گردیده است. با افزایش مدت زمان آبیاری از ۶۰ به ۱۲۰ روز، اثر پساب تصفیه شده در بهبود ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بیشتر گردید. همچنین با افزایش عمق خاک، اثر پساب تصفیه شده در بهبود ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک کاهش یافت.

صالحی و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی میزان رشد درختان ۱۵ ساله کاج و میزان عناصر غذایی خاک در دو عرصه تحت آبیاری طولانی مدت با فاضلاب شهری و آب معمولی در جنوب شهر تهران پرداختند. نتایج نشان داد که صفات رشد درخت و میزان نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم خاک در عرصه تحت آبیاری با فاضلاب تفاوت معنی‌داری با آب معمولی دارد.

ایران به عنوان یکی از کشورهای خاورمیانه با کمبود منابع آب تجدیدشونده مواجه بوده و به عنوان یکی از سیاست‌های اقتصادی-اجتماعی دولت بر استفاده بهینه از منابع تجدیدپذیر، به ویژه بازچرخانی و استفاده مجدد آب، تغذیه آب‌های زیرزمینی و استفاده مجدد از فاضلاب‌های انسانی و صنعتی تصفیه شده تأکید شده است. فاضلاب خانگی تولیدی در سطح کشور بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵ به تفکیک شهری، روستایی و کل به ترتیب ۳۶۷۰، ۷۲۷ و ۴۴۰۰ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد و پیش‌بینی می‌شود که در سال ۱۴۰۰ بر اساس وضعیت معمول به ترتیب به ۴۳۶۹، ۸۲۳ و ۵۱۹۲ و بر اساس وضعیت مطلوب به ترتیب به ۴۷۰۹، ۱۱۱۳ و ۵۸۲۲ میلیون مترمکعب در سال خواهد رسید (وزارت نیرو، ۱۳۸۹).

در زمینه بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه شده برای آبیاری و اثرات آن بر خاک و گیاه پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است. قاسمی و دانش (۱۳۹۱) با نمونه‌برداری از پساب خروجی تصفیه‌خانه شهر مشهد اظهار داشتند که بر اساس راهنمای آیرز و وستکات (۱۹۸۵) می‌توان از این آب برای آبیاری اراضی کشاورزی استفاده نمود.

تقوایان و همکاران (۱۳۸۶) طی پژوهشی گلخانه‌ای تأثیر چهار ماه کاربرد پساب به عنوان آب آبیاری و لجن فاضلاب به عنوان کود بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کاربرد لجن موجب افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی و کربن آلی و کاهش معنی‌دار اسیدیته، وزن مخصوص ظاهری، مقاومت در برابر نفوذ مکانیکی و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک گردید. کاربرد پساب نیز افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی و ظرفیت نگهداشت رطوبت را موجب شد.

حسین‌پور و همکاران (۱۳۸۶) طی پژوهشی گلخانه‌ای به بررسی اثر کاربرد پساب خام و تصفیه شده

$Y=$ در ارتفاع ۱۶- متر نسبت به سطح آزاد دریا و در فاصله حدود سه کیلومتر در شرق شهرستان بندرگز واقع شده است. فاصله مستقیم تصفیه‌خانه از دریا در حدود ۱/۷ کیلومتر و فاصله مستقیم هوایی آن از محل تخلیه پساب به دریا تا منطقه حفاظت شده میانکاله ۳۵ کیلومتر می‌باشد.

تصفیه‌خانه شهری بندرگز با ظرفیت ۳۱۰۰ مترمکعب بر شبانه‌روز در یک مدول در دی ماه ۱۳۸۳ افتتاح گردید ولی بر اساس آمارهای موجود از ابتدای سال ۱۳۸۵ مورد بهره‌برداری قرار گرفت. واحدهای تصفیه‌خانه شهری بندرگز شامل آشغالگیر، دانه‌گیر همراه با سرریز و پارشال فلوم و سیکلون، یک حوض هوادهی اختلاط کامل، سه حوض هوادهی اختلاط ناقص، یک حوض زلال‌ساز و واحد کلرزنی می‌باشد. حوض هوادهی اختلاط کامل با هدف تثبیت بیولوژیکی و جلوگیری از ته‌نشینی مواد معلق طراحی شده است. زمان ماند فاضلاب در آن حدود یک روز می‌باشد. شش هواده سطحی شناور به ظرفیت چهار کیلووات (مجموعاً ۲۴ کیلووات) از نوع توربینی در این حوض استفاده می‌شود. هدف استفاده از حوض‌های اختلاط ناقص، تثبیت بیولوژیکی لجن و انجام مقداری ته‌نشینی و ایجاد لجن در کف حوض‌ها می‌باشد. زمان ماند فاضلاب در هر یک از حوض‌های اختلاط ناقص حدود ۱/۵ روز می‌باشد. در هر لاگون شش هواده سطحی شناور توربینی ۱/۲ کیلو وات (مجموعاً ۷/۲) نصب شده است. پس از لاگون‌های هوادهی اختلاط ناقص، حوض زلال‌سازی قرار دارد که زمان ماند پائین (حدود ۰/۴ روز) برای آن در نظر گرفته شده است. پساب خروجی با استفاده از لوله بتنی بعد از طی مسیری وارد کانال خاکی طبیعی شده و در نهایت به دریا تخلیه می‌گردد. در حال حاضر، کشاورزان با برداشتن درب منهل- های خط انتقال اقدام به پمپاژ پساب به اراضی کشاورزی می‌نمایند. شکل شماره (۱) موقعیت تصفیه‌خانه و مسیر خروج پساب از لوله بتنی تا محل تخلیه به دریا را نشان می‌دهد.

فتح‌العلومی و همکاران (۱۳۹۱) اثر کاربرد پساب شهری اردبیل بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و حاصلخیزی خاک در شرایط گلخانه‌ای تحت کشت گندم را بررسی نمودند. پس از گذشت چهار ماه، گندم برداشت و خصوصیات مختلف خاک و گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که کاربرد پساب موجب افزایش معنی‌دار EC، غلظت فسفر، پتاسیم، سدیم و کلسیم و کاهش معنی‌دار pH خاک گردید. همچنین تغییرات مشاهده شده در کربنات کلسیم معادل و کربن آلی خاک ناچیز بود.

آسولین و نارکیس (۲۰۱۱) در پژوهشی اثر ۱۵ سال آبیاری با فاضلاب بر ویژگی‌های هیدرولیکی یک خاک رسی در عمق‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی- متری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در هر سه عمق شدت نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی در خاک تحت آبیاری با فاضلاب در مقایسه آبیاری با آب معمولی کمتر است.

پژوهش سینگ و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که کاربرد فاضلاب شهری در یک خاک رسی موجب بهبود وضعیت فیزیکی و شیمیایی و میزان مواد غذایی فسفر، نیتروژن و پتاسیم خاک گردید و بر شوری، قلیائیت و اسیدیته خاک اثر معنی‌داری نداشت.

سینگ و اگرآوال (۲۰۱۲) اظهار داشتند که استفاده از فاضلاب برای آبیاری در طی یک فصل می‌تواند میزان فسفر قابل جذب خاک را بین ۲۱ تا ۸۸ درصد، غلظت کاتیون‌های قابل تبادل خاک بین دو تا سه برابر را افزایش دهد.

مواد و روش‌ها

شهر بندرگز با مساحتی بالغ بر ۲۳۹/۳ کیلومتر مربع در غرب استان گلستان و در طول جغرافیایی $53^{\circ}56'$ الی $53^{\circ}58'$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ}56'$ الی $36^{\circ}47'$ در فاصله ۴۰ کیلومتری مرکز استان (شهر گرگان) واقع شده است. تصفیه‌خانه شهری بندرگز در مختصات طول جغرافیایی $X=766264$ و عرض جغرافیایی 4074079

تصفیه‌خانه بیش از ظرفیت بهره‌برداری (روی شکل با خط قرمز نشان داده شده است) می‌باشد که می‌تواند موجب ایجاد شوک‌های هیدرولیکی گردد. این موضوع نشان می‌دهد چنانچه از ورود جریان‌های سطحی ناشی از بارندگی به شبکه فاضلاب جلوگیری شود، علی‌رغم عدم اجرای مدول دوم، ظرفیت تصفیه‌خانه می‌تواند جوابگوی فاضلاب شهر بندرگز باشد.

بر اساس آمارهای شرکت آب و فاضلاب استان گلستان، متوسط فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه طی سال‌های ۹۰-۱۳۸۵ معادل ۳۵۵۲ مترمکعب بر روز می‌باشد که حدوداً معادل ۱/۳ میلیون مترمکعب در سال است. نوسانات حجم فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه بندرگز در طول دوره آماری در شکل (۲) ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، در تمام طول دوره بهره‌برداری و همه ماه‌های سال (به جزء سه ماه تابستان) دبی ورودی به



شکل ۱- مسیر پساب خروجی از تصفیه‌خانه تا محل تخلیه به دریا

به نهر روباز (مجموعاً پنج بار) نمونه‌برداری گردید و ۲۵ پارامتر کیفی فاضلاب شامل اسیدیته، مواد جامد محلول، هدایت الکتریکی، کلراید، آمونیاک، نیترات، نیتريت، فسفات، سولفات، سختی کل، قلیائیت کل، کدورت، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، کربنات، بی‌کربنات، قلیائیت هیدروکسید، تقاضای اکسیژن بیولوژیکی پنج روزه، تقاضای اکسیژن شیمیایی، کل جامدات، مواد جامد معلق، توتال کلی‌فرم و فکال کلی‌فرم اندازه‌گیری گردید (بی‌نام، ۱۳۸۶) به منظور بررسی و امکان‌سنجی کاربرد پساب برای مصارف کشاورزی و آبیاری، کیفیت پساب خروجی با استانداردهای ارزیابی کیفیت آب برای آبیاری مورد مقایسه قرار گرفت.

به منظور بررسی ویژگی‌های کیفی فاضلاب، پارامترهای کیفیت فاضلاب ورودی و پساب خروجی که در آزمایشگاه تصفیه‌خانه اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد، از شرکت آب و فاضلاب شهری استان گلستان اخذ گردید. این پارامترها شامل تقاضای اکسیژن بیولوژیکی پنج روزه (BOD_5)، تقاضای اکسیژن شیمیایی (COD) و مواد قابل ته‌نشینی (SS) می‌باشد. با توجه به محدود بودن پارامترهای مورد اندازه‌گیری و به منظور راستی‌آزمایی آنها و تدقیق نتایج، طی دو مرحله با فاصله زمانی ۲۰ روز در تاریخ‌های ۱۳۹۲/۰۳/۱۷ و ۱۳۹۲/۰۴/۰۶ از فاضلاب ورودی و پساب خروجی از تصفیه‌خانه و طی یک مرحله در تاریخ ۱۳۹۲/۰۴/۰۶ از محل ورود پساب از خط انتقال

از اراضی مجاور تحت آبیاری با آب معمولی تهیه گردید (مجموعاً شش نمونه) و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل هدایت الکتریکی، اسیدیته کل اشباع (pH)، مجموع کلسیم و منیزیم، سدیم، بی‌کربنات، کربنات، نسبت جذبی سدیم (SAR)، باقیمانده کربنات سدیم (RSC)، درصد سدیم قابل تبادل (ESP)، کربن آلی، ازت کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، درصد رس، لای و ماسه (بافت خاک) اندازه‌گیری شد (بی‌نام، ۱۳۸۷).

با توجه به این که از ابتدای راه‌اندازی تصفیه‌خانه تاکنون (نه سال) کشاورزان اراضی اطراف تصفیه‌خانه اقدام به استفاده از پساب تصفیه شده برای آبیاری نمودند، به منظور ارزیابی اثرات استفاده از پساب بر کیفیت و ویژگی‌های خاک، در دو مرحله زمانی (قبل از کشت تابستانه و اواسط فصل رشد) و در هر مرحله از دو نقطه، نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک زراعی (تحت کشت برنج) از اراضی تحت آبیاری با پساب و دو نمونه



شکل ۲- نوسانات فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه در ماه‌ها (بالا) و سال‌های (پایین) مختلف (مترمکعب بر روز)

ورودی به تصفیه‌خانه کمتر از معیار طراحی این ویژگی (۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر بر اساس سرانه ۵۰ گرم بر روز) می‌باشد. با مقایسه شکل شماره (۲) با شکل‌های شماره (۳) تا (۵) می‌توان دریافت که در سال‌ها و ماه‌های پرباران به دلیل ورود رواناب‌های سطحی شهر به شبکه جمع-آوری فاضلاب، شستشوی معابر و رقیق شدن شیمیایی فاضلاب، مقدار BOD_5 و COD فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه کاهش یافته اما میزان مواد قابل ته‌نشینی (SS) فاضلاب افزایش می‌یابد. با مقایسه شکل‌های (۳) و (۴)

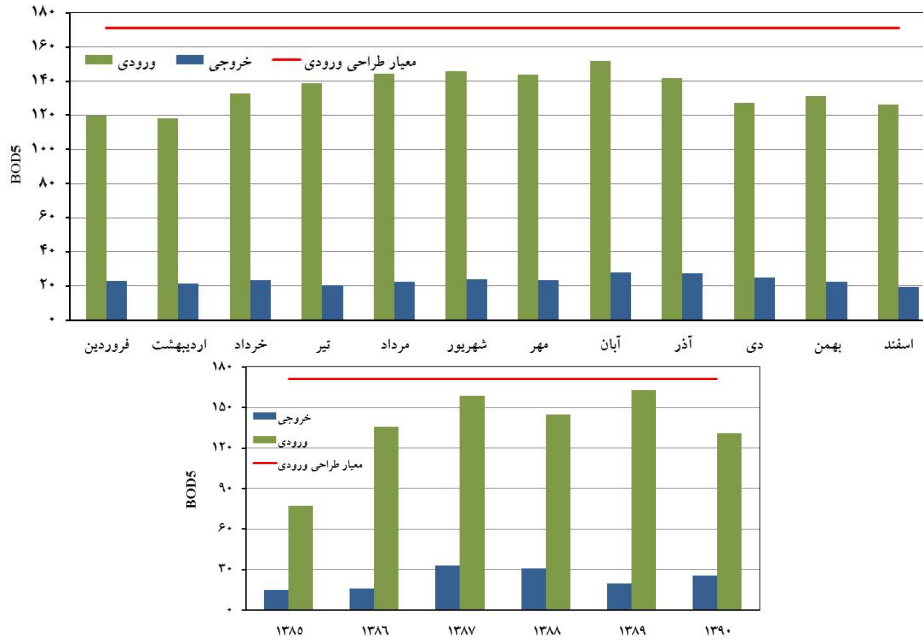
نتایج و بحث

ارزیابی کیفیت پساب تصفیه شده

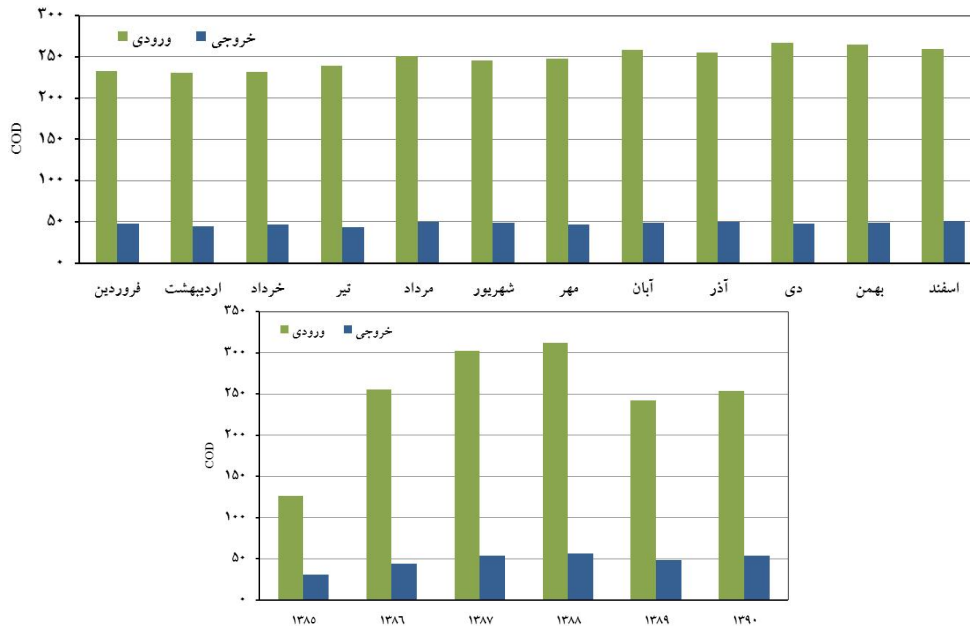
نوسان میزان تقاضای اکسیژن بیولوژیکی پنج روزه (BOD_5)، تقاضای اکسیژن شیمیایی (COD) و مواد قابل ته‌نشینی (SS) فاضلاب ورودی و پساب خروجی از تصفیه‌خانه در ماه‌های مختلف سال و در طول دوره آماری به ترتیب در شکل‌های شماره (۳) تا (۵) ارائه شده است. همان‌طور که شکل شماره (۳) مشاهده می‌گردد در تمام طول دوره بهره‌برداری و در همه ماه‌های سال BOD_5

شستشوی سطح معابر شهری می باشد. نتایج نشان می دهد که با توجه به فرابآورد مقدار BOD_5 در زمان طراحی، در صورت عملکرد مطلوب تصفیه خانه باید کیفیت پساب خروجی متناسب با معیار طراحی برای پساب خروجی (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) و حتی بهتر از آن باشد که میزان این پارامتر در پساب خروجی مؤید این مطلب می باشد.

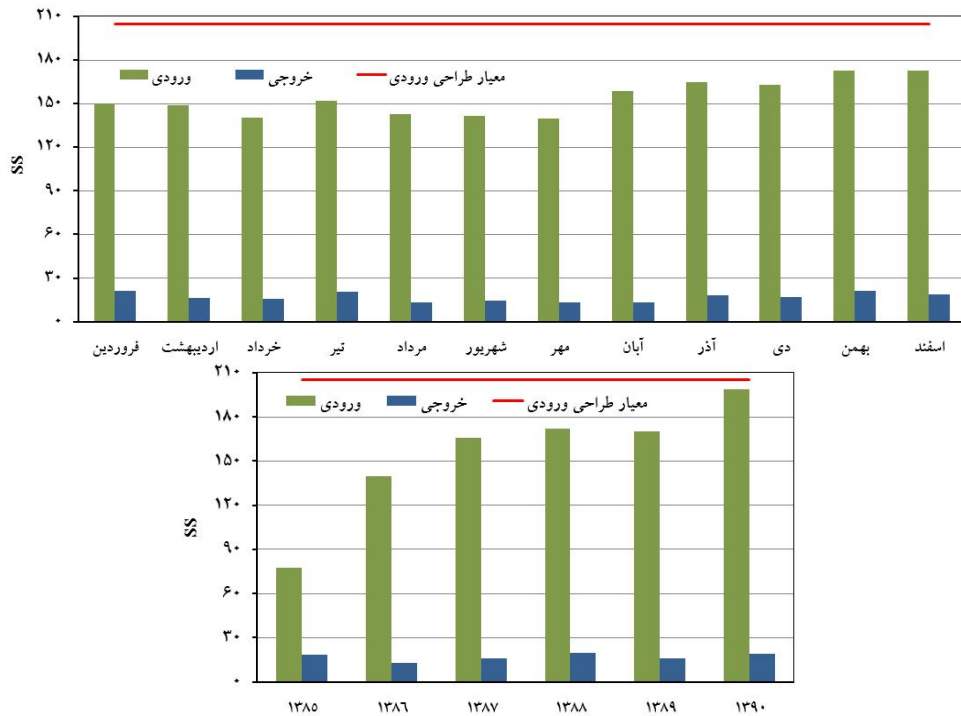
می توان دریافت که متوسط نسبت BOD_5 به COD به فاضلاب ورودی حدود ۵۵ درصد است. کم بودن نسبی این شاخص نشان می دهد که بخش زیادی از بار آلودگی آلی فاضلاب ناشی از مواد آلی غیرقابل تجزیه می باشد که به نظر می رسد دلیل عمده آن وارد شدن جریان های سطحی حاوی آلودگی های آلی غیرقابل تجزیه ناشی از



شکل ۳- تغییر BOD_5 فاضلاب ورودی و پساب خروجی تصفیه خانه در ماهها (بالا) و سالهای (پایین) مختلف (mg/l)



شکل ۴- تغییر COD فاضلاب ورودی و پساب خروجی تصفیه خانه در ماهها (بالا) و سالهای (پایین) مختلف (mg/l)



شکل ۵- تغییر SS فاضلاب ورودی و پساب خروجی تصفیه‌خانه در ماه‌ها (بالا) و سال‌های مختلف (پایین) (mg/l)

نسبت جذبی سدیم (SAR) مورد بررسی قرار می‌گیرد (علیزاده، ۱۳۸۹). نمودار ویل کاکس (۱۹۴۳) بر اساس این جدول تهیه گردیده است. بر اساس این طبقه‌بندی پساب تصفیه شده بندرگز در کلاس C3S1 قرار می‌گیرد که نشان دهنده آب با شوری زیاد و بدون خطر سدیم می‌باشد. آزمایشگاه شوری آمریکا در سال ۱۹۵۴ راهنمای تقسیم‌بندی کیفی آب آبیاری قبلی خود را اصلاح نمود. این تقسیم‌بندی برای کشورهایی که دارای منابع آب شورتری می‌باشند مناسب است (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۱). بر اساس این طبقه‌بندی نیز پساب تصفیه شده بندرگز در کلاس C3 قرار می‌گیرد که با در نظر گرفتن آبشویی برای گیاهان مقاوم به شوری قابل استفاده است.

آیز و وستکات (۱۹۸۵) بر اساس چهار ویژگی شوری، نفوذپذیری، سمیت و سایر عوامل تناسب آب‌ها برای آبیاری را در سه گروه بدون محدودیت، محدودیت کم تا متوسط و محدودیت شدید طبقه‌بندی کردند. (به نقل از علیزاده، ۱۳۷۷؛ کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران،

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌گردد، در تمام طول دوره بهره‌برداری و در همه ماه‌های سال SS ورودی به تصفیه‌خانه کمتر از معیار طراحی (۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر بر اساس سرانه ۶۰ گرم در روز) می‌باشد. این نشان می‌دهد که با توجه به فرابرد این پارامتر در طراحی، در صورت عملکرد مطلوب تصفیه‌خانه باید انتظار پساب خروجی با کیفیت از نظر این شاخص را داشت. همچنین روند افزایشی این شاخص در فاضلاب ورودی نشان می‌دهد که احتمالاً به دلیل ته‌نشین شدن بخشی از مواد قابل ته‌نشین در شبکه جمع‌آوری در طول زمان، با ایجاد شوک‌های هیدرولیکی به ویژه در فصول بارندگی و تخلیه بخشی از این مواد از شبکه، مقدار آن در فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه افزایش می‌یابد.

نتایج آزمایشات سه مرحله نمونه‌برداری از پساب خروجی تصفیه‌خانه در جدول (۱) ارائه شده است. یکی از اولین روش‌هایی که برای طبقه‌بندی آب آبیاری صورت گرفت روش آزمایشگاه شوری آمریکا می‌باشد که در آن آب‌ها از نظر دو شاخص شوری (EC) و

۱۳۸۰). این گروه بندی در مقایسه با آن چه که آزمایشگاه شوری آمریکا مطرح کرده بود محدود بازتری دارد (وزات نیرو، ۱۳۸۹). نتایج ارزیابی کیفیت پساب تصفیه شده بندرگز بر اساس این روش در جدول شماره (۲) ارائه شده است که نشان می دهد پساب تصفیه شده بجز برای گیاهان حساس به کلر برای آبیاری مناسب است. همچنین طبقه بندی دیگری نیز توسط آیرز و وستکات (۱۹۸۵) ارائه شد که در آن کیفیت آب تنها از نظر شوری مورد ارزیابی قرار گرفته است (به نقل از کیانی، ۱۳۹۰؛ رودز، ۱۹۹۲).

بر اساس این طبقه بندی نیز پساب تصفیه شده شهر بندرگز برای آبیاری مناسب است. ماینهاس و گوپتا (۱۹۹۲) راهنمای ارزیابی شوری آب آبیاری هندوستان را در شرایط مختلف بافت خاک، نوع گیاه و میزان بارش سالانه ارائه نمودند که در جدول شماره (۳) آورده شده است (به نقل از کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۱؛ کیانی، ۱۳۹۰).

با توجه به وضعیت بافت خاک (رس بین ۲۰ تا ۳۰ درصد) و شرایط آب و هوایی (حدود ۶۵۰ میلی متر بارندگی سالانه) منطقه بندرگز، این راهنما نشان می دهد که می توان از آب های با شوری تا ۲/۵، ۴/۵ و ۸ دسی-زیمنس بر متر به ترتیب برای گیاهان حساس، نیمه مقاوم و مقاوم استفاده کرد. با توجه به نتایج ارزیابی کیفیت پساب تصفیه شده بندرگز، استفاده از این پساب برای آبیاری تمام گیاهان قابل استفاده می باشد.

نی ریزی (۱۳۷۷) آب های آبیاری را از نظر کیفی به چهار دسته شوری کم، لب شور، شوری متوسط و شوری زیاد تقسیم نمود (به نقل از کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۱). نتایج آزمایش کیفیت پساب تصفیه شده بندرگز نشان می دهد این آب در گروه شوری کم قرار داشته و استفاده از این آب برای آبیاری تمام گیاهان قابل استفاده می باشد.

در نشریه شماره ۵۳۵ وزارت نیرو به نقل از مهندسین مشاور یکم (۱۳۸۶) راهنمای ارزیابی شوری آب

آبیاری در ایران ارائه گردیده است. طبقه بندی مشابه دیگری نیز توسط کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (۱۳۸۱) ارائه گردید. بر اساس نتایج، هدایت الکتریکی نمونه اول تا سوم در کلاس آب های کم شور قرار می گیرد. لذا می توان از آن در خاک های داری بافت سبک و متوسط بدون هیچ محدودیتی و در خاک های رسی به شرط انجام آبشویی و زهکشی استفاده نمود.

در پیوست شماره پنج بخشنامه شماره ۸۷۵۱۲/۷۰۰ مورخ ۱۳۸۶/۱۱/۰۸ استانداردهای خروجی تصفیه خانه های فاضلاب شهری که مورد توافق وزارت نیرو، بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و سازمان حفاظت محیط زیست کشور می باشد، ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که این استاندارد از لحاظ مقدار پارامترها با استاندارد تخلیه فاضلاب در منابع آب پذیرنده سازمان حفاظت محیط زیست (۱۳۷۷) یکسان می باشد. مقایسه نتایج کیفیت پساب تصفیه شده بندرگز با این استاندارد که در جدول شماره (۴) ارائه شده است نشان می دهد، بجز یون کلرید تقریباً همه شاخص های مهم در محدوده مجاز استفاده از پساب تصفیه شده برای آبیاری قرار دارد. همچنین نتایج نشان می دهد که تخلیه پساب در منابع آب سطحی پذیرنده به دلیل بالا بودن میزان کلر، کلسیم، آمونیوم، فسفر، BOD، COD و مجموع مواد جامد محلول (TDS) مجاز نمی باشد.

در نمونه برداری اول که در ساعات اولیه روز انجام گردید، به دلیل دبی کم فاضلاب ورودی (افزایش زمان ماند) و همچنین وضعیت نسبتاً مناسب پمپ های هواده (در هر لاگون حداقل سه پمپ از شش پمپ در حال کار بود)، میزان اکسیژن لازم برای فعالیت میکروارگانیسم ها تقریباً مهیا بوده است. بنابراین میزان BOD₅ و COD تقریباً در حد مجاز بوده است و از آنجا که در این زمان واحد کلر زنی مشغول به کار نبوده است، بار آلودگی بیولوژیکی پساب خروجی بالا بود. در نمونه برداری دوم وضعیت پمپ های هواده در حد بسیار نامطلوبی قرار داشت و عملاً در هر لاگون تنها یک پمپ

در نتیجه میزان میکروارگانیزمها تا حد زیادی کاهش یافت. در نمونه سوم (در محل خروجی خط انتقال به کانال خاکی منتهی به دریا)، به علت ورود زه‌آب‌های کشاورزی حاوی کودها و سموم کشاورزی (تحت کشت برنج)، میزان BOD_5 و COD نسبت به میزان همین پارامترها در خروجی تصفیه‌خانه بالاتر می‌باشد.

فعال بود (به دلیل خرابی پمپ‌های هواده و عدم وجود پمپ‌های رزرو، امکان جایگزینی پمپ‌های معیوب نبود). این امر باعث شد تجزیه بیولوژیکی مواد آلی به خوبی صورت نگیرد و در نتیجه میزان BOD_5 و COD پساب خروجی (نمونه دوم و سوم) به مقدار مجاز نرسد. از سوی دیگر در این روز واحد کلرزنی فعال بود که

جدول ۱- نتایج آزمایش کیفیت فاضلاب ورودی و پساب خروجی

ردیف	فاکتور	واحد اندازه‌گیری	فاضلاب ورودی		پساب خروجی		
			نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳
۱	pH	-	۷/۲۵	۷/۲۴	۷/۶۹	۷/۷۷	۷/۷۷
۲	TDS	mgr/lit	۶۷۱/۵	۶۲۹	۶۶۴	۷۴۹	۷۱۲
۳	هدایت الکتریکی	$\mu\text{s}/\text{cm}$	۱۳۰۴	۱۵۲۷	۱۲۸۹	۱۴۰۵	۱۴۱۳
۴	کلراید (Cl)	mgr/lit	۷۷۰	۷۴۰	۷۹۰	۸۸۰	۹۸۰
۵	آمونیاک (NH_3)	mgr/lit	۲۳	۴۳	۳۴/۵	۳۰	۳۲/۵
۶	نیترات (NO_3)	mgr/lit	۰/۲	۱/۴	۲/۴	۲/۴۸	۱۰
۷	نیتريت (NO_2)	mgr/lit	۰/۲۷	۰/۲	۰/۴	۰/۳۶	۴/۸
۸	فسفات (PO_4)	mgr/lit	۵/۶	۱۰/۵	۱۰/۵	۷	۹/۱
۹	سولفات (SO_4)	mgr/lit	۹۰	۱۰	۱۰	۲۰	۱۰
۱۰	سختی کل (CaCO_3)	mgr/lit	۲۰۰	۴۰۰	۵۵۰	۴۲۰	۴۵۰
۱۱	قلیابیت کل (CaCO_3)	mgr/lit	۷۰۰	۸۵۰	۶۰۰	۵۸۰	۵۵۰
۱۲	کدورت	NTU	۳۶	۱۰۵	۲۶	۳۴	۲۴
۱۳	پتاسیم (K)	mgr/lit	۲۶	۷۶/۸	۹۰	۵۴	۷۲
۱۴	کلسیم (Ca)	mgr/lit	۱۴۰	۳۱۰	۴۶۰	۲۴۸	۳۴۰
۱۵	منیزیم (Mg)	mgr/lit	۲۸/۹	۲۱/۹	۲۱/۹	۴۱/۸	۲۶/۷
۱۶	سدیم (Na)	mgr/lit	۸۵	۶۳	۷۱	۴۲/۱	۴۲
۱۷	کربنات (CO_3)	mgr/lit	۴۲۰	۵۱۰	۳۶۰	۳۵۳/۸	۳۳۰
۱۸	بی‌کربنات (HCO_3)	mgr/lit	۴۲۷	۵۱۸/۵	۲۶۶	۳۴۸	۳۳۵/۵
۱۹	قلیابیت هیدروکسید (OH)	mgr/lit	۱۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۶۰	۳۵۰
۲۰	COD	mgr/lit	۹۰	۲۴۰	۶۰	۱۰۰	۱۶۹
۲۱	BOD	mgr/lit	۴۹	۱۳۲	۳۳	۵۵	۹۳
۲۲	کل جامدات (TS)	mgr/lit	۶۷۶	۸۷۰	۶۸۷	۵۸۹	۷۶۱
۲۳	مواد جامد معلق (TSS)	mgr/lit	۱۵/۶	۳۲۵/۲	۲۸/۴	۲۹/۶	۶۳/۶
۲۴	کل کلی‌فرم	در ۱۰۰ میلی‌لیتر	بیش از ۱۱۰۰	بیش از ۱۱۰۰	بیش از ۱۱۰۰	۲۱۰	۲۴۰
۲۵	فکال کلی‌فرم	در ۱۰۰ میلی‌لیتر	بیش از ۱۱۰۰	بیش از ۱۱۰۰	بیش از ۱۱۰۰	۱۵۰	۲۱۰

جدول ۲- ارزیابی کیفیت پساب تصفیه شده بندرگز بر اساس روش آیرز و وستکات (۱۹۸۵)

گروه	شاخص	واحد	نمونه اول	نمونه دوم	نمونه سوم	جمع‌بندی
۱	EC	dS/m	۱/۲۸۹	۱/۴۰۵	۱/۴۱۳	محدودیت کم تا متوسط
	TDS	mg/l	۶۶۴	۷۴۹	۷۱۲	محدودیت کم تا متوسط
۲	SAR	-	۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۵۹	بدون محدودیت
	سدیم (آبیاری سطحی)	SAR	۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۵۹	بدون محدودیت
۳	سدیم (آبیاری بارانی)	meq/l	۳/۰۹	۲/۷۴	۱/۸۳	بدون محدودیت
	کلر (آبیاری سطحی)	meq/l	۲۲/۳	۲۴/۸	۲۷/۷	محدودیت شدید
۴	کلر (آبیاری بارانی)	meq/l	۲۲/۳	۲۴/۸	۲۷/۷	محدودیت شدید
	نیترژن (NO ₃ -N)	mg/l	۲/۴	۲/۴۸	۱۰	محدودیت شدید
۴	بی‌کربنات (HCO ₃) ^o	mg/l	۳۶۶	۳۴۸	۳۳۵/۵	محدودیت شدید
	pH	-	۷/۶۹	۷/۷۷	۷/۷۷	بدون محدودیت

قابل استفاده برای آبیاری بجز برای گیاهان حساس به کلر

^o فقط در خصوص آبیاری بارانی بالای درختی

جدول ۳- راهنمای ارزیابی شوری آب آبیاری هندوستان

حد بالای شوری آب آبیاری (dS/m) بدون افت محصول و اثرات تخریبی خاک در طولانی مدت									بافت خاک (درصد رس خاک)
گیاهان مقاوم بارش سالانه (mm)			گیاهان نیمه مقاوم بارش سالانه (mm)			گیاهان حساس بارش سالانه (mm)			
۵۵۰-۷۵۰	۳۵۰-۵۵۰	۳۵۰>	۵۵۰-۷۵۰	۳۵۰-۵۵۰	۳۵۰>	۵۵۰-۷۵۰	۳۵۰-۵۵۰	۳۵۰>	
۴.۵	۳	۲	۳	۲	۱/۵	۱.۵	۱	۱	خاک ریزبافت (رس بیش از ۳۰ درصد)
۸	۶	۴	۴.۵	۳	۲	۲.۵	۲	۱.۵	خاک متوسط ریز (درصد رس بین ۲۰ تا ۳۰)
۱۰	۸	۶	۸	۶	۴	۳	۲.۵	۲	خاک متوسط درشت (درصد رس بین ۱۰ تا ۲۰)
۱۲.۵	۱۰	۸	۹	۷.۵	۶	۳	۳	۳	درصد رس کمتر از ۱۰

نشان می‌دهد این آب در گروه شوری کم قرار داشته و استفاده از این آب برای آبیاری تمام گیاهان قابل استفاده می‌باشد.

نتایج این تحقیق از نظر امکان استفاده از پساب تصفیه شده جهت آبیاری با نتایج قاسمی و دانش (۱۳۹۱) که با نمونه‌برداری از پساب خروجی تصفیه‌خانه شهر مشهد اظهار داشتند بر اساس راهنمای آیرز و وستکات می‌توان از این آب برای آبیاری اراضی کشاورزی استفاده نمود، همخوانی دارد. حسن‌لی و جوان (۱۳۸۴) نیز نتایج تقریباً مشابهی را ارائه نمودند. نتایج آنها در بررسی امکان

استاندارد ملی استرالیا (CSIRO) برای استفاده از پساب تصفیه شده جهت آبیاری در جدول (۵) ارائه شده است (Myers et al., 1999). مقایسه کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه بندرگز با این استاندارد نشان می‌دهد که بجز غلظت کلر، از نظر سایر ویژگی‌ها کیفیت پساب برای آبیاری دارای محدودیت کم تا متوسط می‌باشد. آب‌های آبیاری را از نظر کیفی به چهار دسته شوری کم، لب‌شور، شوری متوسط و شوری زیاد تقسیم نمود (به نقل از کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۱). نتایج آزمایش کیفیت پساب تصفیه شده بندرگز

رهنمود (1999) CSIRO از نقطه نظر مواد آلی (BOD)، بور، ازت کل و فسفر کل جزء پساب‌های با خطر پایین و از نظر شوری و SAR جزء پساب‌های با خطر متوسط ارزیابی گردید.

استفاده از فاضلاب شهر مرودشت نشان داد که شوری و SAR پساب تصفیه شده از میزان این ویژگی‌ها در آب زیرزمینی (چاهک مشاهداتی) و چاه آب به میزان قابل توجهی کمتر است و کیفیت پساب تصفیه شده بر اساس

جدول ۴- استاندارد خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری برای تخلیه به آب‌های سطحی و مصارف آبیاری (وزارت نیرو، ۱۳۸۹) (✓: در محدوده مجاز؛ ×: بیش از حد مجاز؛ -: بدون محدودیت)

مواد الوده کننده	حد مجاز (mgr/l)		شماره نمونه پساب خروجی			نتیجه	آبیاری
	تخلیه سطحی	آبیاری	۱	۲	۳		
کلراید	۶۰۰ (تبصره ۱)	۶۰۰	۷۹۰	۸۸۰	۹۸۰	×	×
سولفات	۴۰۰ (تبصره ۱)	۵۰۰	۱۰	۲۰	۱۰	✓	✓
کلسیم	۷۵	-	۴۶۰	۲۴۸	۳۴۰	-	×
منیزیم	۱۰۰	۱۰۰	۲۱/۹	۴۱/۸	۲۶/۷	✓	✓
آمونیم بر حسب NH ₄	۲/۵	-	۳۴/۵	۳۰	۳۲/۵	-	×
نیتريت بر حسب NO ₂	۱۰	-	۰/۴	۰/۳۶	۴/۸	-	✓
نترات بر حسب NO ₃	۵۰	-	۲/۴	۲/۴۸	۱۰	-	✓
فسفات بر حسب فسفر	۶	-	۱۰/۵	۷	۹/۱	-	×
BOD ₅ (تبصره ۳)	۳۰ (لحظه‌ای ۵۰)	۱۰۰	۳۳	۵۵	۹۳	✓	×
COD (تبصره ۳)	۶۰ (لحظه‌ای ۱۰۰)	۲۰۰	۶۰	۱۰۰	۱۶۹	✓	×
مجموع مواد جامد محلول (TDS)	(تبصره ۱)	-	۶۶۴	۷۴۹	۷۱۲	-	×
مجموع مواد جامد معلق (TSS)	۴۰ (لحظه‌ای ۶۰)	۱۰۰	۲۸/۴	۲۹/۶	۶۳/۶	✓	✓
pH (حدود)	۶/۵-۸/۵	۶-۸/۵	۷/۶۹	۷/۷۷	۷/۷۷	✓	✓
کدورت بر حسب NTU	۵۰	۵۰	۲۶	۳۴	۲۴	✓	✓
کلیرم گوارشی (تعداد در ۱۰۰ میلی‌لیتر)	۴۰۰	۴۰۰	>۱۱۰۰	۱۵۰	۲۱۰	✓	✓
کل کلیرم (تعداد در ۱۰۰ میلی‌لیتر)	۱۰۰۰	۱۰۰۰	>۱۱۰۰	۲۱۰	۲۴۰	✓	✓

تبصره ۱- تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در جدول در صورتی مجاز خواهد بود که پساب خروجی، غلظت کلراید، سولفات و مواد محلول منبع پذیرنده را در شعاع ۲۰۰ متری بیش از ده درصد افزایش ندهد.

تبصره ۲- تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در جدول (۴) در صورتی مجاز خواهد بود که افزایش کلراید، سولفات و محلول پساب خروجی نسبت به آب مصرفی بیش از ده درصد نباشد.

تبصره ۳- صنایع موجود مجاز خواهند بود BOD₅ و COD را حداقل ۹۰ درصد کاهش دهند.

جدول ۵- ارزیابی پساب تصفیه شده برای آبیاری بر اساس خطرهای احتمالی برای درختان، خاک و آب زیرزمینی

ویژگی	واحد	میزان خطر			نمونه فاضلاب		
		کم	متوسط	زیاد	۱	۲	۳
مواد آلی (BOD)	mg/L	کمتر از ۴۰	۴۰-۱۰۰۰	بیش از ۱۰۰۰	۳۳	۵۵	۹۳
ازت کل	mg/L	کمتر از ۳۰	۳۰-۱۰۰	بیش از ۱۰۰	۳۴/۵	۳۰	۳۲/۵
فسفر کل	mg/L	کمتر از ۱۰	۱۰-۲۰	بیش از ۲۰	۱۰/۵	۷	۹/۱
قلیائیت (کربنات کلسیم)	mg/L	کمتر از ۲۰۰	۲۰۰-۵۰۰	بیش از ۵۰۰	۶۰۰	۵۸۰	۵۵۰
کل نمک های محلول (TDS)	mg/L	کمتر از ۵۰۰	۵۰۰-۲۰۰۰	بیش از ۲۰۰۰	۶۶۴	۷۴۹	۷۱۲
نسبت جذبی سدیم (SAR)	mg/L	کمتر از ۳	۳-۹	بیش از ۹	۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۵۹
کلر	mg/L	کمتر از ۱۵۰	۱۵۰-۳۵۰	بیش از ۳۵۰	۷۹۰	۸۸۰	۹۸۰
بور	mg/L	کمتر از ۰.۵	۰.۵-۳	بیش از ۳	-	-	-
pH	-	-	تغییرات طبیعی: ۶.۵-۸.۵	-	۷/۶۹	۷/۷۷	۷/۷۷

ارزیابی اثر کیفیت پساب بر ویژگی های خاک

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول شماره (۶) ارائه شده است. ریچاردز (۱۹۵۴) رابطه بین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و رشد گیاه را بررسی نمود که بر اساس آن بخش پیمایش خاک سازمان کشاورزی آمریکا (USDA: Soil Survey Division) (Staff Classification, 1993) خاک ها را در پنج گروه غیرشور، شوری نسبتاً کم، تقریباً شور، شور و به شدت شور طبقه بندی نمود (به نقل از پسرکلی، ۲۰۱۱). با توجه به نتایج آزمایش، شوری خاک منطقه در گروه شوری نسبتاً کم قرار می گیرد (محصول گیاهان حساس به شوری، ممکن است کاهش یابد) و لذا تقریباً هیچ محدودیتی برای گیاهان مختلف ایجاد نمی نماید.

راهنمای ارزیابی خطر سدیم و حساسیت گیاهان مختلف نسبت به آن بر اساس شاخص درصد سدیم تبادل خاک (ESP) توسط Shainberg and Oster (1978) ارائه گردیده است که در آن گیاهان در پنج گروه بسیار حساس، حساس، نیمه مقاوم، مقاوم و خیلی مقاوم تقسیم بندی می گردند (به نقل از علیزاده، ۱۳۷۷). با توجه به میزان درصد سدیم قابل تبادل خاک

اراضی منطقه، محدودیتی برای هیچ نوع از گیاهان زراعی وجود ندارد.

رودز و همکاران (۱۹۹۲) در نشریه شماره ۴۸ آبیاری و زهکشی فائو راهنمای حد آستانه شوری محصولات زراعی را پیشنهاد نمودند (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۱). بر این اساس خاک منطقه مورد مطالعه فقط برای گیاهان حساس دارای محدودیت بوده و برای سایر گیاهان هیچ محدودیتی ندارد.

روشی که در سال ۱۹۵۴ به وسیله ریچاردز ابداع و به وسیله آزمایشگاه شوری ایالات متحده آمریکا (U.S. Salinity Laboratory) ارائه گردیده است، مرسوم ترین روش طبقه بندی خاک های شور و سدیمی می باشد. در این روش از دو معیار شوری خاک بر حسب هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) و درصد سدیم تبادل خاک (ESP) استفاده می شود. نام گذاری و طبقه بندی خاک های شور و سدیمی با استفاده از این روش مطابق جدول (۷) می باشد (به نقل از وزارت نیرو، ۱۳۸۱؛ پسرکلی، ۲۰۱۱). بر اساس این طبقه بندی نیز خاک منطقه مورد مطالعه با شوری، ESP و واکنش به ترتیب کمتر از چهار دسی زیمنس، ۱۵ درصد و ۸/۵ غیرشور می باشد.

جدول ۶- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه

ردیف	پارامتر	واحد	آبیاری با پساب تصفیه شده				آبیاری با آب معمولی		
			قبل از کشت		اواسط فصل رشد		قبل از کشت		اواسط فصل رشد
			۱	۲	۳	۴	۵	۶	
۱	درصد اشباع	درصد	۶۲/۸	۵۷/۷	۶۶	۶۵/۱	۶۱	۵۸	
۲	هدایت الکتریکی	ds/m	۳	۲/۳	۳	۲/۵	۲/۱	۲	
۳	اسیدیته کل اشباع (pH)	-	۷/۷	۷/۸	۷/۶	۷/۵	۷/۳۶	۷/۸	
۴	مجموع کلسیم و منیزیم	meq/l	۱۹/۸	۱۶/۴	۱۷/۲	۱۵/۴	۱۳/۱	۱۴	
۵	سدیم	meq/l	۱۵/۲	۹/۸	۱۵/۲	۱۱/۹	۱۰/۱	۱۲/۶	
۶	بی کربنات	meq/l	۷	۸/۲	۶/۸	۸/۴	۵	۶/۶	
۷	کربنات	meq/l	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
۸	نسبت جذبی سدیم (SAR)	(meq/l) ^{0.5}	۴/۸	۳/۴	۵/۲	۴/۳	۳/۹	۴/۸	
۹	باقیمانده کربنات سدیم (RSC)	meq/l	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
۱۰	درصد سدیم قابل تبادل (ESP)	درصد	۵/۵	۳/۶	۶	۴/۸	۴/۳	۵/۴	
۱۱	کربن آلی	درصد	۱/۲۶	۱/۰۲	۰/۹۸	۱/۰۹	۱/۰۱	۰/۹	
۱۲	ازت کل	درصد	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۴	
۱۳	فسفر قابل جذب	mg/l	۱۸/۴	۱۱/۱	۱۸/۹	۳۹/۳	۱۱/۶	۱۳/۷	
۱۴	پتاسیم قابل جذب	mg/l	۸۰	۸۰	۱۰۰	۱۲۰	۶۵	۷۰	
۱۵	رس	درصد	۲۲	۲۲	۲۲	۲۰	۱۹	۲۱	
۱۶	لای	درصد	۵۴	۴۸	۵۴	۶۰	۵۵	۶۱	
۱۷	ماسه	درصد	۲۴	۳۰	۲۴	۲۰	۲۶	۱۸	
۱۸	بافت خاک	-	لوم سیلتی	لوم	لوم سیلتی	لوم سیلتی	لوم سیلتی	لوم سیلتی	
۱۹	نفوذپذیری نهایی خاک	mm/hr	۱۸.۵	۱۹.۲	۱۶.۳	۱۵.۱	۱۷.۲	۱۷.۴	

این معیارها، خاک منطقه مورد مطالعه با شوری، ESP، واکنش و SAR به ترتیب کمتر از چهار دسی‌زیمنس، ۱۰ درصد، ۸/۵ و ۸ جزء خاک‌های غیرشور (S0) و بدون مسئله سدیم (AO) می‌باشد.

نتایج برخی تحقیقات نشان می‌دهد که خاک اراضی تحت آبیاری با پساب از هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم کمتری نسبت به خاک اراضی تحت آبیاری آبیاری با آب معمولی برخوردار می‌باشد (روحانی شهرکی

ماهر (۱۹۷۱) راهنمای طبقه‌بندی اراضی برای آبیاری (سطحی) در ایران را تدوین نمود که در نشریه شماره ۲۰۵ موسسه تحقیقات خاک و آب منتشر گردید. بر اساس این راهنما خاک‌ها از نظر شوری در پنج گروه و از نظر خطر سدیم بر اساس شاخص‌های درصد سدیم تبدیلی خاک (ESP)، واکنش (pH) و نسبت جذبی سدیم (SAR) در پنج گروه طبقه‌بندی می‌شوند (به نقل از وزارت نیرو، ۱۳۸۱). با مقایسه ویژگی‌های کیفی خاک با

آن منجر گردیده است که علت آن را می‌توان به افزایش جزئی مواد آلی خاک، افزایش غلظت کلسیم و منیزیم خاک، افزایش فعالیت میکروبی خاک و بهبود رشد ریشه نسبت داد.

و همکاران، ۱۳۸۴؛ آسولین و نارکیس، ۲۰۱۱) که نتایج این تحقیق را تأیید می‌نماید. بررسی سرعت نفوذپذیری خاک نشان می‌دهد که استفاده از پساب نه تنها موجب کاهش نفوذپذیری نهایی خاک نگردیده است بلکه در برخی موارد به افزایش

جدول ۷- طبقه‌بندی کیفی خاک‌ها از نظر کشاورزی

ویژگی‌های عصاره اشباع خاک	غیرشور	شور	شور و سدیمی	غیرشور و سدیمی
شوری EC _e (dS/m)	<۴	>۴	>۴	<۴
درصد سدیم تبادل (ESP)	<۱۵	<۱۵	>۱۵	>۱۵
واکنش (pH)	<۸.۵	<۸.۵	<۸.۵	>۸.۵

همچنین کاربرد میان‌مدت پساب (نه سال) بر اساس طبقه‌بندی ریچاردز (۱۹۵۴)، شینبرگ و اوستر (۱۹۷۸)، رودز و همکاران (۱۹۹۲)، آزمایشگاه شوری ایالات متحده آمریکا (۱۹۵۴) و راهنمای طبقه‌بندی اراضی برای آبیاری در ایران در مقایسه با اراضی تحت آبیاری با آب معمولی محدودیتی بر گیاهان و افزایش شوری و مشکلات سدیم را به وجود نیاورده است.

در تحقیق حاضر اثر استفاده میان‌مدت پساب تصفیه شده شهر بندرگز بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اراضی تحت آبیاری مورد بررسی قرار گرفته است لیکن اثر آن بر میزان آلودگی احتمالی خاک به عناصر سمی و سنگین و میزان جذب آنها توسط گیاه مورد بررسی و تحلیل قرار نگرفته است. بنابراین در خصوص این موضوع نمی‌توان اظهار نظر قطعی نمود.

نتیجه‌گیری و رهیافت ترویجی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اگر چه به دلیل ورود فاضلاب بیش از حد ظرفیت به تصفیه‌خانه فاضلاب شهر بندرگز و وجود برخی مشکلات بهره‌برداری، کیفیت پساب خروجی به ویژه برای تخلیه به منابع آب سطحی مناسب نمی‌باشد، لیکن استفاده از آن برای کاربردهای کشاورزی و آبیاری مطابق استانداردهای متداول مانند روش آزمایشگاه شوری آمریکا (۱۹۵۴)، راهنمای آیرز و وستکات (۱۹۸۵)، راهنمای استفاده از آب هندوستان (۱۹۹۲)، راهنمای تقسیم‌بندی کیفی آب ایران (نی‌ریزی، ۱۳۷۷)، استاندارد ملی استرالیا (۱۹۹۹)، استانداردهای خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری (۱۳۸۶) - مورد توافق وزارت نیرو، بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و سازمان حفاظت محیط زیست کشور - و راهنمای نشریه شماره ۵۳۵ وزارت نیرو (۱۳۸۹) امکان‌پذیر می‌باشد.

فهرست منابع

- بی‌نام. ۱۳۸۶. کیفیت آب - شمارش میکروارگانیسم‌ها در آب با استفاده از روش کشت. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. استاندارد شماره ۴۲۰۷ ویرایش (۱).
- بی‌نام. ۱۳۸۷. دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و آب. انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری. نشریه شماره ۴۶۷.

۳. تقوایان، ص. علیزاده، ا. و دانش، ش. ۱۳۸۶. تاثیر کاربرد فاضلاب در آبیاری بر خصوصیات فیزیکی و برخی خصوصیات شیمیایی خاک. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱، شماره ۱، صص ۶۰-۴۹.
۴. لی، ح. مراد، ع. و جوان، م. ۱۳۸۴. ارزیابی پساب تصفیه شده شهری و کاربرد آن در آبیاری فضای سبز؛ مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب شهر مرودشت. مجله محیط‌شناسی، شماره ۳۸، صص ۳۰-۲۳.
۵. حسین‌پور، ا. حق‌نیا، غ. علیزاده، ا. و فتوت، ا. ۱۳۸۶. تاثیر آبیاری با فاضلاب خام و پساب شهری بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک در اعماق مختلف در دو شرایط غرقاب پیوسته و متناوب. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱، شماره ۲، صص ۸۵-۷۳.
۶. حنیفه لو، ا. و معاضد، ه. ۱۳۸۵. اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر روی ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک با بافت لوم شنی، مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، http://www.civilica.com/Paper-IDNC01-IDNC01_226.html
۷. روحانی شهرکی، ف. مهدوی، ر. و رضایی، م. ۱۳۸۴. اثر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک. آب و فاضلاب، شماره ۱۶ (۱)، مسلسل ۵۳، صص ۲۹-۲۳.
۸. صالحی، آ. طبری، م. محمدی، ج. و علی‌عرب، ع.ل. ۱۳۸۷. اثر آبیاری با فاضلاب شهری بر خاک و رشد درختان کاج تهران. فصلنامه علمی- پژوهشی جنگل و صنوبر ایران، جلد ۱۶، شماره ۲، صص ۱۹۶-۱۸۶.
۹. علیزاده، ا. ۱۳۷۷. کیفیت آب در آبیاری. انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ ششم، ۹۵ ص.
۱۰. علیزاده، ا. ۱۳۸۹. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه اما رضا (ع)، چاپ دهم، ۴۸۴ ص.
۱۱. فتح‌العلوم، س. گلی کلانپا، ا. و اصغری، ش.ا. ۱۳۹۱. اثر آبیاری با پساب فاضلاب شهری اردبیل بر برخی ویژگی‌های خاک و گیاه گندم، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست، http://www.civilica.com/Paper-CEE06-CEE06_358.html
۱۲. قاسمی، س.ع. و قاسمی، ش. ۱۳۹۱. کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کشاورزی و ارزیابی پتانسیل آثار آن بر خاک و گیاهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۶، شماره ۶۱، صص ۱۲۳-۱۰۹.
۱۳. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۸۰. استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره انتشارات: ۴۷، ۲۴۸ ص.
۱۴. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۸۱. استفاده از آب‌های شور در کشاورزی پایدار. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره انتشارات: ۶۹، ۲۲۴ ص.
۱۵. کیانی، ع. ۱۳۹۰. آبیاری: مبانی و روش‌ها. انتشارات علم کشاورزی ایران، ۲۷۶ ص.
۱۶. مهندسین مشاور یکم. ۱۳۸۶. تدوین برنامه بهره‌برداری از آب‌های شور، لب‌شور و غیرمتمعارف در سطح حوضه‌های آبریز کشور. گزارش شماره ۶: سیاست‌ها و استراتژی‌های مناسب برای استفاده از آب‌های شور، لب‌شور و غیرمتمعارف.
۱۷. وزارت نیرو. ۱۳۸۱. دستورالعمل آزمایش‌های آبتیوی خاک‌های شور و سدیمی در ایران. نشریه شماره ۲۵۵، ۱۳۳ ص.
۱۸. وزارت نیرو. ۱۳۸۹. ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها. نشریه شماره

19. Assouline, S. and Narkis, K. 2011. Effects of long-term irrigation with treated wastewater on the hydraulic properties of a clayey soil. *Water Resources Research*, 47(8): 1-12.
20. Myers B.J., Bond W.J., Benyon R.G., Falkiner R.A., Polglase P.J., Smith C.J., Snow V.O., Theiveyanathan S. 1999. Sustainable effluent- irrigated plantations: An Australian guideline (1999). An Australian Guideline CSIRO Forestry and Forest Products, Melbourne.
21. Pessarakli M., 2011. *Handbook of Plant and Crop Stress*, CRC Press, Taylor & Francis Group, third Edition, 1188 pp.
22. Rhodes, J.D., Kandiah, A. and Mashali, A.M. 1992. The use of saline water for crop production, water conservation and environmental production. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 48*, FAO, Rome, 153 pp.
23. Singh, A. and Agrawal, M. 2012. Effects of waste water irrigation on physical and biochemical characteristics of soil and metal partitioning in beta vulgaris L. *Agricultural Research*, 1(4): 379–391.
24. 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.