

ارزیابی فرآیندهای تصفیه؛ استحصال و بازچرخانی آب از پساب انسانی در برج‌های مرتفع با بهره‌گیری از روش‌های اتوماسیون (مطالعه و اجرای موردی: برج سپهر تهران)

صادق پرتانی^{1*}، حمید یحیی‌آبادی²، علی جعفری³

¹ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد

² کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی

³ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد

دریافت: 1402/8/15، بازنگری: 1402/10/2، پذیرش: 1402/10/13، نشر آنلاین: 1402/10/13

چکیده

امروزه تأمین شرب از منابع طبیعی با محدودیت‌های فراوانی مواجه بوده و همان منابع محدود نیز از طریق انسان‌ها آلوده شده و از دسترس خارج می‌گردد. در این میان، استفاده از روش‌هایی برای استحصال مجدد آب در برج‌های بلندمرتبه، راهی برای جبران برخی از این کمبودها است. فرآیندهای تصفیه، استحصال و بازچرخانی پساب به‌صورت نمونه در برج سپهر تهران انجام و در آن بررسی میزان پساب تولیدی با ظرفیت‌های قابل استحصال مجدد آب تولید شده براساس روش‌های نوین تصفیه فاضلاب جهت کاربری‌های مورد نیاز مجموعه شامل فضای سبز و تأسیسات مورد مطالعه قرار گرفت. در این بررسی BOD_5 ، EC ، TDS ، TSS و تخم انگل، اندازه‌گیری و نتایج کاهش بار آلودگی با تعیین سناریوهای پیش‌از‌زنی و ازن‌زنی ثانویه و حذف کلرآسیون به‌عنوان ضدعفونی‌کننده فاضلاب انجام و در ادامه از روش لجن فعال در حوضچه بیولوژیکی و فیلترآسیون استفاده گردید. نتایج نشان داد که سناریوی پیش‌از‌زنی نتایج مطلوب‌تری را در بردارد و جهت تأمین استانداردهای کاربری‌های مورد نیاز می‌توان با هر سطح عملکردی عمل تصفیه آب را تکمیل نمود. در نهایت مشخص گردید که 100% آب مورد نیاز برای فضای سبز و بخش زیادی از آب مورد نیاز برای دستگاه‌های تأسیساتی به‌صورت مرحله‌ای تصفیه شده و قابل استحصال مجدد در مسیر کاربری خود می‌باشد. بر اثر این مطالعه نه تنها سالانه 8000 مترمکعب در سال در مصارف آب شرب شهری صرفه‌جویی گردید، بلکه آب استحصال شده مازاد به‌جای تزریق در منابع آب‌های سطحی و آلوده شدن مجدد به منابع آب زیر زمینی تزریق گردید. نتایج این تحقیق در بهینه‌سازی فرآیندها برای استفاده مجدد از پساب تصفیه شده در مراحل مختلف قابل استفاده است. لذا می‌توان در راستای کاهش هزینه و حجم تصفیه، بخشی از پساب تصفیه شده در هر مرحله را برای مصارف مشخصی استفاده نمود تا بار هیدرولیکی ورودی به واحد عملیاتی بعدی و میزان لجن تولیدی کاهش یابد.

کلیدواژه‌ها: فاضلاب، فرآیندهای تصفیه، ازن‌زنی، استحصال.

1- مقدمه

Attarzadeh, (2022). به‌طور فزاینده‌ای در پژوهش‌های متعددی تشخیص داده می‌شود که منابع آب معمولی مانند بارندگی، ذوب برف و رواناب در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و سفره‌های زیرزمینی برای پاسخگویی به نیازهای انسانی در مناطق کم‌آب کافی نیستند (Kummu و همکاران، 2016؛ Maghrebi و همکاران، 2023؛ Noori و همکاران، 2023).

با توجه به افزایش سریع جمعیت و نیاز روزافزون به آب پاک و مطمئن، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نقش بسزایی در فراهم کردن منبع مطمئن آب دارند (Taheriyoun و همکاران، 2014). هشدارهای زیست‌محیطی مرتبط با صنعت در سال‌های اخیر اهمیت قابل توجهی پیدا کرده است که منجر به افزایش سرمایه‌گذاری در جهت حفظ محیط زیست شده است (Ghaderi و



از دیرباز، فاضلاب (هم تصفیه شده و هم تصفیه نشده) عمدتاً برای اهداف غیرشرب، به‌ویژه کشاورزی استفاده می‌شده است (Connor, 2017; Shen و Zhang, 2019). با توجه به این که بخش کشاورزی با کاهش در تخصیص منابع آب معمولی در سراسر جهان مواجه است (Sato و همکاران، 2013)، انتظار می‌رود فعالیت‌های کشاورزی به‌طور فزاینده‌ای به منابع آب جایگزین متکی باشد، زیرا این بخش بیشترین نیاز آب را در سطح جهان دارد (Wada و همکاران، 2013). پساب باید قبل از دفع یا استفاده مجدد به‌منظور رعایت مقررات و دستورالعمل‌های سطح ملی مختلف تصفیه شود (Salem و همکاران، 2021).

به‌طور کلی، تصفیه کامل فاضلاب شامل سه مرحله اصلی است: تصفیه اولیه (حذف جامدات معلق و شناور)، ثانویه (تجزیه بیولوژیکی مواد آلی) و سوم (حذف مواد مغذی و ترکیبات سمی) (Jones, 2021). فن‌آوری‌های تصفیه فاضلاب ثانویه شامل حوضچه‌های اکسیداسیون، تالاب‌های هوادهی، لجن فعال، بیوراکتورهای غشایی (Hazrati و همکاران، 2021)، راکتورهای لجن بی‌هوای با جریان بالا، راکتورهای بافل‌شده بی‌هوای، بسترهای لجن دانه‌ای منبسط شده، فیلترهای بی‌هوای، هوای، تالاب‌های ساخته شده می‌باشد. دانشمندان در پژوهش‌های مختلف، فناوری‌های متفاوت تصفیه فاضلاب از جمله پایداری سیستم‌های لجن فعال با تصفیه ثانویه، تالاب (اختیاری، بی‌هوای و هوای)، سیستم‌های حوضچه، هوادهی گسترده را برای جوامع کوچک با ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی مورد ارزیابی قرار دادند که پایدارترین فناوری‌ها را به ترتیب تالاب‌های ساخته شده، فیلترهای شنی، برج‌های زیستی، لجن فعال دانستند (Muga و Mihelcic, 2008; Molinos-Senante و همکاران، 2014; Pennellini و همکاران، 2023). فرآیند لجن فعال متعارف یک فناوری رشد معلق است که از کشت غنی‌سازی کنسرسیوم‌های میکروبی به‌منظور حذف ناخالصی‌ها و تبدیل فاضلاب به کیفیت قابل قبول برای محیط زیست تشکیل شده است (Ramothokang و همکاران، 2003).

MBRR¹، یکی از فناوری‌های روبه رشد بیوفیلم، راکتور بیوفیلم با بستر متحرک است که برای تصفیه پساب در مقیاس‌های بزرگ و خرد (Dezotti و همکاران، 2018) و ترکیبات نفتی (Haeri و همکاران، 2021) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فناوری به‌طور قابل اعتمادی برای ارتقای کارخانه‌های لجن فعال متعارف موجود با اضافه بار، برای تصفیه فاضلاب ناشی از پساب‌های نساجی، پتروشیمی، دارویی، کارخانه کاغذ یا بیمارستان، برای تصفیه کارآمد فاضلاب حاوی ترکیبات مقاوم و تصفیه فاضلاب با شوری بالا و یا استفاده شده است (Leyva-Díaz و همکاران،

مدیریت آب خاکستری از طریق سیستم‌های تصفیه و فیلتراسیون برای مقاصد غیر آشامیدنی می‌تواند به کاهش کمبود آب کمک کند (Patil و همکاران، 2022).

آب خاکستری (GW) به فاضلاب خانگی تولید شده از حمام، آشپزخانه، شست‌وشوی دستی و لباسشویی اطلاق می‌شود، به استثنای فاضلاب حاصل از توالت، دستگاه ادرار یا فرآیندهای صنعتی (Rakesh و همکاران، 2020; Albalawneh و Chang, 2015).

به نظر می‌رسد که کاربردهای سیستم تصفیه آب خاکستری از راه‌اندازی هوای با سرعت بالا ممکن است ظرفیت بالایی برای تولید آب خاکستری با کیفیت برتر نسبت به فرآیندهای سنتی مانند فرآیندهای فیزیکی داشته باشد (Abdel-Shafy و همکاران، 2014). بنابراین، استفاده از منابع آب نامتعارف در چند دهه اخیر به سرعت رشد کرده است (Qadir و همکاران، 2018; Jones و همکاران، 2019). تخلیه فاضلاب نیاز به تصفیه و ارزیابی جایگزین برای تصفیه برای نظارت مناسب بر محیط زیست و حفاظت از منابع آب طبیعی ما دارد. ارزیابی قابلیت اطمینان فرآیندهای تصفیه و تأسیسات تصفیه باید بخش مهمی از فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی برای پروژه‌های منابع آب، تصفیه فاضلاب و به‌ویژه پروژه‌های استفاده مجدد از فاضلاب باشد (Eisenberg و همکاران، 2001). فاضلاب تصفیه نشده مملو از باکتری‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها است که بسیاری از آن‌ها باعث بیماری‌های کشنده و آلوده شدن خاک و آب (PARTANI و همکاران، 2024) می‌شود. آب آلوده، بهداشت نامناسب و اقدامات بهداشتی نامناسب مسئول 7% بیماری‌ها و 19% مرگ‌ومیر کودکان در سطح جهان هستند (Cairncross و همکاران، 2010). بنابراین در این زمینه، اطمینان از عملکرد یک تصفیه‌خانه فاضلاب، زمانی که پساب خروجی باز استفاده شده یا به منابع آبی تخلیه می‌شود، بسیار حیاتی است (Taheriyoun و همکاران، 2014; Yahya و همکاران، 2020).

عوامل اصلی که بر عملکرد تصفیه خانه‌های فاضلاب تأثیر می‌گذارد عبارتند از تغییرات در ورودی، تغییرات ذاتی در فرآیندهای تصفیه و مشکلات طراحی و شکست‌های تجهیزات و عملیات. بنابراین، برای رسیدن به استانداردهای تخلیه و باز استفاده، نیاز به ارزیابی اطمینان‌پذیری تصفیه‌خانه وجود دارد (Taheriyoun و همکاران، 2014). هدف از تصفیه فاضلاب، حذف یا کاهش سطوح آلاینده در آب و حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی جریان‌های برگشتی فاضلاب که ممکن است تهدیدی برای انسان و محیط زیست در شکل کنونی آن باشد (Joshua و همکاران، 2017).

2- روش تحقیق

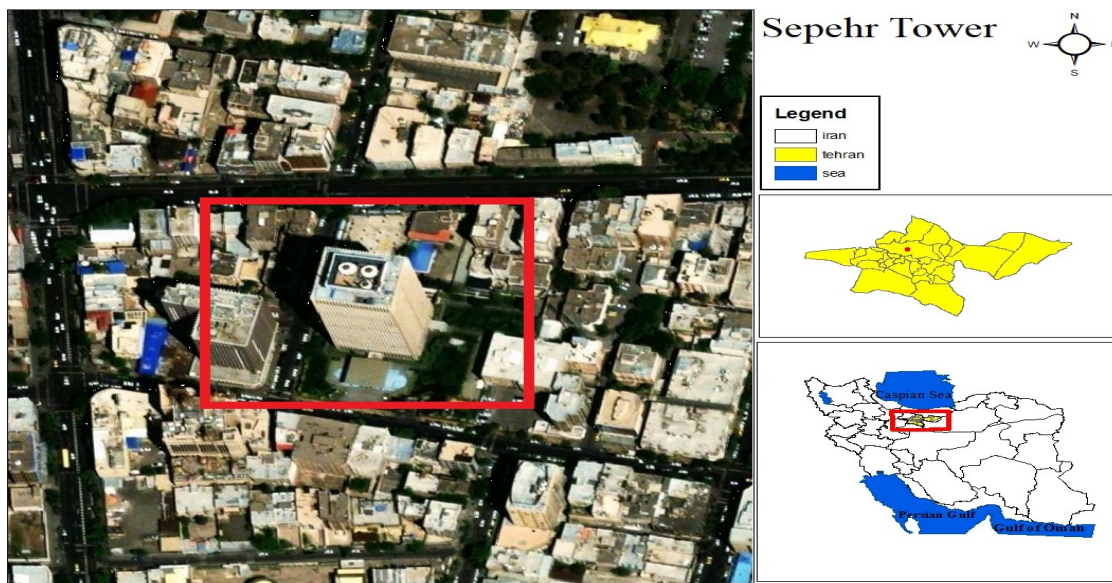
در این بخش ضمن جمع‌آوری آمار و اطلاعات نیاز آبی کاربری‌های فضای سبز و تأسیسات و تعیین پارامترهای کیفی مورد مطالعه، استانداردهای مربوطه تعیین و با انجام تغییرات ساختاری در چیدمان و طراحی فضا با حذف کلرزی و جایگزینی ازن‌زنی و تعبیه حوضچه تصفیه بیولوژیکی نتایج روش‌های تصفیه فاضلاب مورد مطالعه قرار گرفته است. ابتدا با اخذ اطلاعات فاضلاب خام ورودی و ثبت آماری میزان بار آلودگی COD ، pH و دما توسط سنسورهای مربوطه تجربیات طرح‌های اجرا شده قبلی مورد ارزیابی قرار گرفته و با امکان افزایش زمان ماند به دلیل وجود پتانسیل فضای فیزیکی موجود از روش لجن فعال استفاده گردید و با تعریف دو سناریوی مختلف برای ازن‌زنی و ثابت نگاه داشتن هوادهی و میزان تزریق دوز ازن و pH فاضلاب در حوضچه ورودی از طریق سنسورهای اتوماسیون نتایج خام اولیه آزمایش گردید.

2-1- تصفیه خانه مورد مطالعه

برج سپهر با کاربری اداری ساختمان مرکزی بانک صادرات ایران مطابق شکل (1)، در خیابان طالقانی تهران واقع شده است. این برج یکی از ده ساختمان بلندمرتبه تهران و دارای 32 طبقه و زیربنای بالغ بر 32500 مترمربع دارای پرسنل اداری 1400 نفر بوده و روزانه به‌طور متوسط پذیرای حدود 400 نفر ارباب رجوع می‌باشد. محوطه اطراف برج با فضای سبزی حدود 3500 مترمربع با گونه‌های مختلف گل‌ها و درختچه‌ها و چمن پوشیده شده است.

(2017). شرکت‌های آب و فاضلاب شهری بعد از تلفیق با آب و فاضلاب روستایی در شرف ورشکستگی می‌باشند و تنها راه برون‌رفت از این بحران اقتصادی، کاهش تعلق یارانه و افزایش تعرفه آب می‌باشد؛ لذا در این حالت مصرف‌کنندگان متمرکز خدماتی مانند هتل‌ها، مجتمع‌های گردشگری، بیمارستان‌ها و غیره ... به رویکرد استفاده مجدد حداکثری از خروجی هر واحد عملیاتی در تصفیه‌خانه‌های خود بسیار راغب‌تر و نزدیک‌تر خواهند شد.

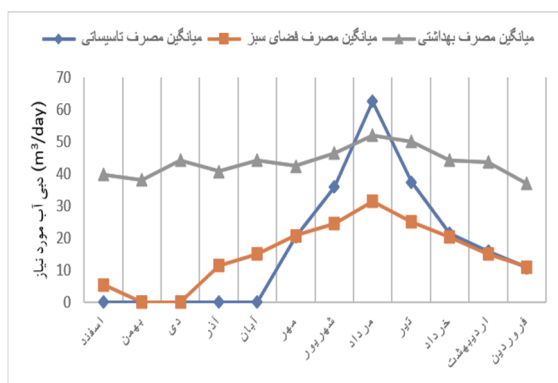
این پژوهش، با هدف بررسی ظرفیت‌ها و پتانسیل‌های موجود در زمینه استحصال مجدد آب در محل مبدأ مصرف، راه کارهای تصفیه آلودگی آب را جهت مصرف مجدد طبق استانداردهای موجود تبیین نموده تا در جهت کاهش بهره‌برداری از منابع آبی، گامی مؤثر برداشته شود. از آنجائی که شرکت آب و فاضلاب شهری بعد از تلفیق با آب و فاضلاب روستایی در شرف ورشکستگی می‌باشند و تنها راه برون‌رفت از این بحران اقتصادی کاهش تعلق یارانه و افزایش تعرفه آب می‌باشد، در این حالت مصرف‌کنندگان متمرکز خدماتی مانند هتل‌ها، مجتمع‌های گردشگری، بیمارستان‌ها و غیره ... به رویکرد استفاده مجدد حداکثری از خروجی هر واحد عملیاتی در تصفیه‌خانه‌های خود بسیار راغب‌تر و نزدیک‌تر خواهند شد. با این رویکرد که برج‌های مسکونی و اداری بلندمرتبه ساخته شده در شهر تهران، نمونه ملموسی از شهرک‌های عمودی هستند که هدف اصلی این طرح قرار گرفته است. لذا مسأله اصلی استحصال مجدد آب از پساب انسانی و جایگزینی آن با آب شرب در دسترس در مصارف دیگر غیرشرب با اثربخشی کاهش آلودگی محیط زیست از پساب تولیدی ساختمان‌های بلندمرتبه (برج سپهر) به بررسی و میزان پساب تولیدی و موارد مصرف در کار بری‌های مختلف پرداخته شده است.



شکل 1- منطقه مورد مطالعه، برج سپهر

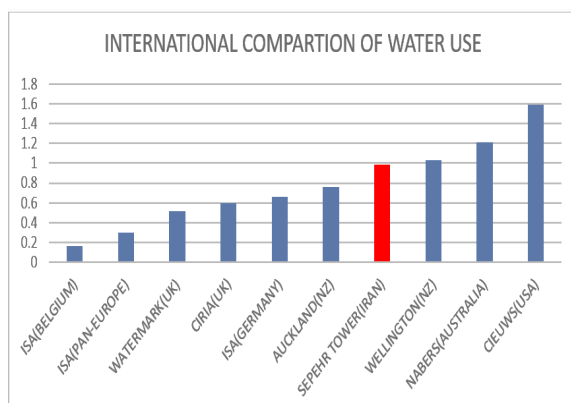
2-3- جدول و آمارهای سرانه تولید بار و مصرف

براساس آمار اخذ شده از واحدهای متولی برج مقادیر مصرف آب در بخش‌های مختلف به صورت ماهانه و طی سه سال گذشته طبق گزارشات اخذ شده از متولیان تأسیسات برج به شرح جداول (1) می‌باشد. با توجه به شکل (3)، میانگین آب مصرفی در کاربری بهداشتی از کاربری تأسیسات و فضای سبز به مراتب بیشتر است. بیشترین مقدار آب مصرفی در مرداد ماه با کاربری تأسیسات و کمترین آن در فصل زمستان و پاییز اتفاق افتاده است.



شکل 3- مقایسه نیاز آبی کاربری‌های مختلف برج سپهر (m³/day)

جهت تعیین میزان مصارف بهداشتی در ساعات مختلف شبانه روزی در دو ماه اردیبهشت و خرداد فاضلاب ورودی به حوضچه‌های تأسیساتی اندازه‌گیری و نتایج به شرح شکل (4) استخراج گردید. با توجه به جمع کل مصارف آبی برج در طول سال، نمودار مقایسه‌ای شاخص کار برد آب در برج سپهر در مقایسه با برخی برج‌های جهان به شرح شکل (5) می‌باشد.



شکل 5- مقایسه مصارف آبی برج در مقایسه با برخی از برج‌های مرتفع دنیا

2-2- تشریح وضعیت موجود تصفیه‌خانه

تصفیه‌خانه برج سپهر در طبقه زیرزمین منفی دو واقع شده و دارای 4 حوضچه بتنی مربع شکل کناری که هر یک به حجم 64 مترمکعب و 2 حوضچه تخلیه مرکزی به حجم 16 مترمکعب و 1 حوضچه اولیه فاضلاب ورودی به حجم 16 مترمکعب می‌باشد. در زمان آغاز تحقیق و اجرای طرح پروسه تصفیه فاضلاب داری سه مرحله به شرح ذیل بوده است:

- 1- حوضچه ته‌نشینی اولیه که فاضلاب ابتدا وارد آن می‌شود.
- 2- سرریز حوضچه به دو حوضچه کناری به حجم هر یک 64 مترمکعب وارد شده و پس از تزریق کلر از طریق دستگاه هوادهی اختلاط می‌گردد. سرریز این حوضچه‌ها به سمت دو حوضچه کناری وارد و جهت سکون و ته‌نشینی وارد شده و سپس به حوضچه میانی وارد شده و از طریق پمپ به جوی آب خیابان تخلیه می‌گردید. شکل (2) نمایی از حوضچه بیولوژیکی در حالت هوادهی و دستگاه اسمز معکوس را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل 2- الف) حوضچه بیولوژیکی در حالت هوادهی، ب) دستگاه اسمز معکوس (RO)

جدول 1- آمار مصرف ماهیانه برج سپهر در بخش فضای سبز، تأسیسات و بهداشتی (m³/day)

سال	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
1399	10	15	21	25	30	25	20	15	10	0	0	5
1400	12	15	21	26	31	26	22	16	11	0	0	4
1401	11	15	19	24	33	22	20	14	13	0	0	7
میانگین مصرف فضای سبز	11	15	20	25	31	24	21	15	11	0	0	5
میانگین مصرف فصلی	15/44			26/89			15/67			1/78		
میانگین مصرف سالانه	15											
1399	11	17	20	36	65	35	20	0	0	0	0	0
1400	10	14	22	37	60	34	19	0	0	0	0	0
1401	11	16	22	39	62	38	22	0	0	0	0	0
میانگین مصرف فضای تأسیساتی	11	16	21	37	62	36	20	0	0	0	0	0
میانگین مصرف فصلی	15/89			49/44			42/33			40/56		
میانگین مصرف سالانه	96/16											
1399	38	43	46	50	55	48	42	42	41	42	37	39
1400	35	42	44	48	51	46	41	45	41	44	38	39
1401	38	46	42	52	50	45	44	45	40	46	39	41
میانگین مصرف فضای بهداشتی	37	44	44	50	52	46	42	44	41	44	38	40
میانگین مصرف فصلی	41/56			49/44			42/33			40/56		
میانگین مصرف سالانه	43											

2-4- استاندارد کاربری‌های مختلف

از آنجائی که طبق استانداردهای موجود پارامترهای مختلفی برای سنجش آلودگی آب در بخش‌های مختلف تعیین و در نظر گرفته شده است، در این تحقیق از پارامترهای اصلی (کدورت، رنگ، تخم انگل، EC، pH، COD، BOD₅، TSS و TDS) بنا به ارتباط موضوعی با کاربری مورد نظر برای تبیین میزان بار آلودگی و سنجش کیفیت آب بازیافت شده است استفاده شده است. محل نمونه‌گیری در طبقه منفی دو و همچنین محل سنجش تخم انگل، آزمایشگاه شرکت مهندسی آب و فاضلاب تهران واقع در خیابان شهید دائمی، خیابان فاطمی انجام شد. نظر با این که در این پروژه بازچرخانی آب در بخش فضای سبز، برج خنک کن تأسیسات و آب‌های سطحی مد نظر قرار گرفته است، از نشریه 535 (استاندارد کیفی برای کاربرد پساب و آب‌های برگشتی در آبیاری فضای سبز، آب‌های سطحی و همچنین در منابع زیرزمینی) استفاده شد.

2-5- روش انجام کار

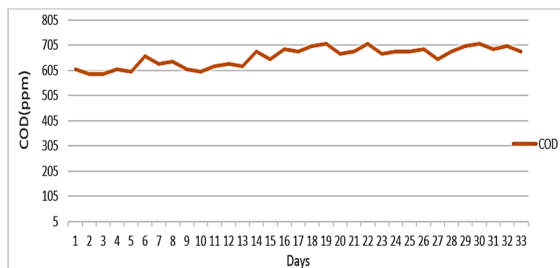
با توجه به نتایج تحقیقات به‌عمل آمده (Goswami و Mazumder، 2016) ملاحظه می‌شود در تصفیه پساب فاضلاب با روش MBBR¹ نسبت به لجن فعال زمانی که میزان بار آلودگی بیشتر از 500 میلی‌گرم در لیتر باشد نتایج بهتری خصوصاً در زمانه‌ای ماند بالاتر از 6 ساعت حاصل شده است و همچنین زمانی که بار آلودگی در محدوده 150 تا 250 میلی‌گرم در لیتر است در زمان‌های ماند بین 6 تا 8 ساعت نتایج کاهش بار آلودگی حدود 20% در روش MBBR نسبت به روش لجن فعال بیشتر است. بنابراین ملاحظه می‌گردد با توجه به شیب مثبت نمودارهای مربوطه نتایج حاصله از تصفیه به‌روش MBBR با روش تصفیه با لجن فعال در زمان‌های ماند بالاتر به یکدیگر نزدیک می‌باشند. از طرف دیگر از مزایای تصفیه با بستر محرک مقاومت سیستم در مقابل شوک‌پذیری می‌باشد لذا برای بررسی میزان یکنواختی و وجود شوک‌های ناشی از بار آلودگی در سیستم موجود میزان بار آلودگی فاضلاب ورودی در دوره دو ماهه بررسی و نتایج به‌شرح

زمان ماند مورد نظر در حوضچه 2 با حجم مخزن 64 مترمکعب بالغ بر 37 ساعت محاسبه می‌گردد.

$$\begin{aligned} T(\text{hour}) &= V(\text{m}^3)/Q(\text{m}^3/\text{hour}) \\ &= 64/1.7 = 37(\text{hour}) \end{aligned} \quad (1)$$

حال با توجه به انتخاب روش لجن فعال برای تصفیه و تنظیم دبی ورودی به مخزن شماره 2 عامل گندزایی باید انتخاب شود که به‌طور معمول در تصفیه خانه‌های فاضلاب مبتنی بر کلر زنی می‌باشد. لیکن طبق تحقیقات انجام شده، اثرات مخربی که ترکیبات کلر با مواد آلی موجود در تصفیه‌خانه دارد باعث ایجاد تری‌هالومتان‌ها، کلرات، کلرامین و غیره می‌گردد که مضر و سمی بوده و باعث بروز بیماری‌های صعب‌العلاج در انسان می‌گردد. بنابراین از اکسیدکننده قوی تری به نام ازن بهره‌گیری می‌شود که طبق تحقیقات موجود اثرگذاری بیشتری بر باکتری‌های و آلودگی‌های فاضلاب دارد. حال با این توضیح دو سناریوی مختلف را به شرح ذیل پیشنهاد و در ادامه پس از ارزیابی نتایج حاصل از سناریوهای فوق و انجام آزمایشات لازم سناریوی برتر که میزان تصفیه بیشتری را حاصل نموده است انتخاب و وارد بخش فیلتراسیون می‌گردد. در این قسمت آنالیز پارامترهای مورد نیاز با انجام آزمایشات لازم صورت گرفته و براساس سطح عملکرد کاربری مورد نیاز مورد سنجش قرار می‌گیرد. جهت یکسان نمودن نتایج ارزیابی سناریوهای مختلف میزان اکسیژن محلول در حوضچه بیولوژیکی و مقدار ازن زنی واحد گندزایی را به‌صورت ثابت در محدوده خاصی مورد آزمایش قرار می‌دهیم. با توجه به نتایج تحقیقات (Assalin و همکاران، 2009)، مقدار اکسیژن محلول در حوضچه بیولوژیکی بین 2 تا 3 میلی‌گرم در لیتر و میزان دوز ورودی ازن در حوضچه بیولوژیکی حدود 10 میلی‌گرم در لیتر مدنظر قرار می‌گیرد. برای کنترل میزان pH، سنسور سنجش آن در حوضچه ورودی نصب شده و در مواقعی که به هر دلیلی pH در محیط افزایش یابد، با تعبیه مخزن آهک در مجاورت حوضچه، سنسور مربوطه از طریق فرمان الکترونیکی پمپ مربوطه را فعال و مقدار pH را در محدوده مورد نظر (5/7 تا 5/8) ثابت نگه می‌دارد. با توجه به این‌که در سناریوهایی که برای این منظور مدنظر قرار گرفته است، گندزایی در ابتدای مسیر تصفیه و یا در انتهای مسیر تصفیه قرار گرفته است. در طرح اجرایی پروژه در حوضچه ورودی شماره دو و در حوضچه خروجی شماره 4، چهار دیفیوزر مناسب تعبیه گردید و ابتدا سناریوی اول مورد آزمایش قرار گرفت و پارامترهای مورد نظر در حوضچه ورودی و حوضچه خروجی مورد آزمایش قرار می‌گیرد و در ادامه پس از نمونه‌برداری و انجام آزمایشات سناریوی اول با مسدود نمودن مسیر تزریق ازن به حوضچه خروجی، مسیر ازن زنی در بخش حوضچه ورودی باز شده و سناریوی دوم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شکل (6) حاصل گردید.



شکل 6- روند تغییرات بار آلودگی COD ورودی در دوره دومانه

بنابراین چنین نتیجه‌گیری می‌شود در سیستم تصفیه‌خانه برج سپهر، شوک‌های ناگهانی به‌دلیل یکنواختی فاضلاب تولیدی وجود نداشته و از طرفی به‌دلیل وجود فضای قابل توجه حوضچه‌های موجود، پتانسیل ایجاد زمان ماند بالا وجود دارد. بهره‌گیری از روش لجن فعال به‌دلیل عدم نیاز به سرمایه اولیه برای تهیه مدیای متحرک به تعداد قابل زیاد توجه اقتصادی داشته و مد نظر قرار می‌گیرد. بنابراین استفاده از روش تصفیه با لجن فعال مد نظر قرار گرفته و لازم است به‌جهت تنظیم جریان یکنواخت ورودی به مخزن بیولوژیکی برای تغذیه لجن‌های فعال از مخزن ذخیره مناسب استفاده نموده تا جریان غیریکنواخت شبانه روزی ورودی را به جریان یکنواخت خروجی به حوضچه بیولوژیکی تبدیل گردد. در اینجا ذکر این نکته ضروری است که در روش لجن فعال چون غذای مورد نیاز میکروارگانیسم‌های موجود در لجن از طریق پساب تامین می‌گردد، کم شدن یا قطع شدن و یا جریان ورودی بیش از حد در رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها تأثیر داشته و روند تصفیه را با اختلال مواجه خواهد نمود. لذا جهت ایجاد جریان یکنواخت در حوضچه‌های موجود تصفیه‌خانه باید با توجه به روند تغییرات ساعات تولید فاضلاب دبی خروجی را به‌گونه‌ای محاسبه نمود تا این نوسانات در مخزن ذخیره تأثیری بر جریان تغذیه نداشته باشد. به‌گونه‌ای که حجم مخزن در ابتدا و انتهای روز یکسان و بدون تغییر باقی‌ماند. بنابراین با توجه به حجم فضای 64 متر مکعب با تغییر دبی خروجی بین 1 تا 6 مترمکعب در ساعت، ضمن تحقق این هدف زمان ماند حوضچه بیولوژیکی لجن فعال تا 60 ساعت قابل افزایش خواهد بود. با توجه به توضیحات مربوطه و آمار فاضلاب تولیدی در طی 24 ساعت شبانه‌روز برگرفته از میانگین آمار ماه‌های اردیبهشت و خرداد جهت ایجاد جریان یکنواخت محاسبات حجم مخزن به‌شرح ذیل تعیین و در جدول (2) درج می‌گردد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، بر اساس آمار دبی میانگین برای ایجاد جریان یکنواخت ورودی برای تغذیه لجن‌های فعال دبی ورودی فاضلاب 1/7 مترمکعب در ساعت محاسبه می‌شود. بنابراین

جدول 2- تعیین دبی یکنواخت ورودی به مخزن بیولوژیکی

H	V1	q2	H	V1	q1	Q	Q2	Q1	زمان
m	m ³	m ³ /h	m	m ³	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	ساعت
		برنامه 2		برنامه 1		میانگین	اردیبهشت	خرداد	
	۳۰	حجم اولیه		۳۰	حجم اولیه				
1/82	29/1	1/7	1/8	28/8	2	0/8	0/8	0/8	6
1/83	29/3	1/7	1/79	28/7	2	1/9	1/8	2	7
1/93	30/8	1/7	1/87	29/9	2	3/2	3/1	3/3	8
2/07	33/15	1/7	2	31/95	2	4/05	3/9	5/2	9
2/19	35/1	1/7	2/1	33/6	2	3/65	3/5	3/8	10
2/28	36/5	1/7	2/17	34/7	2	3/1	2/9	3/3	11
2/36	37/7	1/7	2/23	35/6	2	2/9	2/8	3	12
2/47	39/5	1/7	1/32	37/1	2	3/5	3/7	3/3	13
2/71	43/4	1/7	2/54	40/7	2	5/6	5/4	5/8	14
2/82	45/05	1/7	2/63	42/05	2	3/35	3/2	3/5	15
2/84	45/4	1/7	2/63	42/1	2	2/05	2/2	1/9	16
2/94	47/05	1/7	2/72	43/45	2	3/35	3/2	3/5	17
2/94	47/05	1/7	2/7	43/15	2	1/7	1/6	1/8	18
2/89	46/25	1/7	2/63	42/05	2	0/9	0/8	1	19
2/83	45/35	1/7	2/55	40/85	2	0/8	0/8	0/8	20
2/73	43/65	1/7	2/43	38/85	2	0	0	0	21
2/62	41/95	1/7	2/3	36/85	2	0	0	0	22
2/52	40/25	1/7	2/18	34/85	2	0	0	0	23
2/41	38/55	1/7	2/05	32/85	2	0	0	0	24
2/3	36/85	1/7	1/93	30/85	2	0	0	0	1
2/2	35/15	1/7	1/8	28/85	2	0	0	0	2
2/09	33/45	1/7	68.1	26/85	2	0	0	0	3
1/98	31/75	1/7	1/55	24/85	2	0	0	0	4
1/88	30/05	1/7	1/43	22/85	2	0	0	0	5
		40/8			48	40/85	39/7	42	جمع

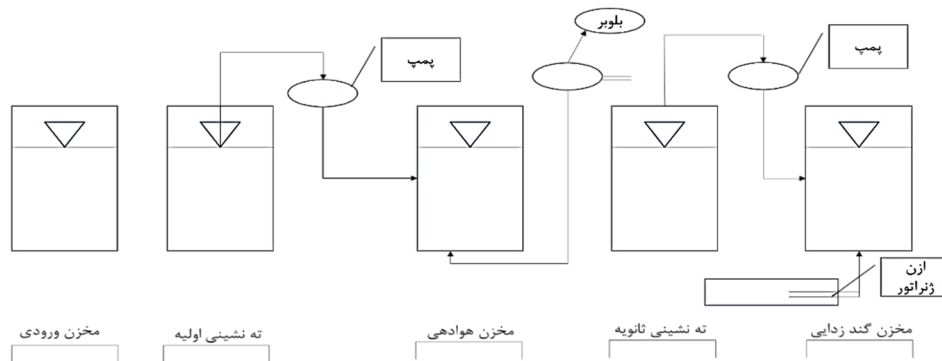
2-6-2- تعیین سناریوهای مختلف

2-6-2-1- سناریوی اول

در این سناریو که فلوجارت آن به شرح شکل (7) می باشد ابتدا تصفیه بیولوژیکی مدنظر قرار گرفته و سپس گندزدایی به روش ازن زنی استفاده شد. ازن زنی یکی از روش های اکسیداسیون پیشرفته می باشد که دارای قدرت بالایی برای حذف آلاینده ها است (Yasari و همکاران، 2023). پس از نمونه برداری و انجام آزمایشات مورد نظر نتایج کاهش بار آلودگی در انتهای مسیر استخراج و نتایج حاصله در جدول (3) درج شده است.

2-6-2- سناریوی دوم

در این سناریو که فلوجارت آن به شکل (8) تعیین می گردد، ابتدا گندزدایی به روش ازن زنی در حوضچه ورودی و سپس تصفیه بیولوژیکی با تعبیه بلوئر در حوضچه شماره دو انجام شده و در نهایت در حوضچه شماره سه پس از ته نشینی ثانویه نمونه برداری انجام شده و آزمایشات مورد نظر نیز انجام گردید و نتایج کاهش بار آلودگی به شرح جدول (4) می باشد.



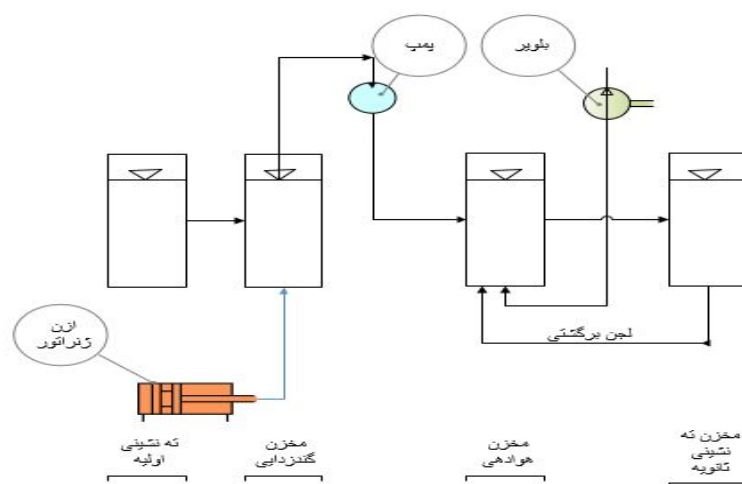
شکل 7- فلوچارت سناریوی اول

جدول 3- نتایج آزمایش بار آلودگی سناریوی اول

پارامتر	سناریوی اول			درصد کاهش بار آلودگی		میزان اطمینان پذیری سیستم شکست = 1 و پیروزی = 0							
	ته نشینی اولیه	حوضچه بیولوژیکی	بعد از ازن زنی	استاندارد فضای سبز	استاندارد تأسیسات	حوضچه بیولوژیکی	بعد از ازن زنی	بهره برداری فضای سبز	ته نشینی اولیه جهت بهره برداری تأسیسات	ته نشینی اولیه جهت سبز	حوضچه بیولوژیکی جهت بهره برداری فضای سبز	حوضچه بیولوژیکی جهت بهره برداری تأسیسات	بعد از ازن زنی جهت بهره برداری تأسیسات
EC	1100	881	921	700	*	16/3	19/9	1	*	1	*	1	*
PH	7/8	6/9	6/64	7/45	7/5	14/9	11/5	0	0	0	0	0	0
TDS	750	590	613	450	500	18/3	21/3	1	1	1	1	1	1
TSS	410	45	40	40	50	90/2	89	1	1	1	1	1	1
کدورت	325	21/5	18/7	*	*	94/2	93/4	*	*	*	*	*	*
رنگ	840	76	73	*	*	91/3	91	*	*	*	*	*	*
BOD ₅	407	59	62	31	*	84/8	85/5	1	*	1	*	1	*
COD	668	93	98	*	20	85/3	86/1	*	*	1	*	1	*
تخم انگل	11	10	3	1	*	72/7	9/1	1	*	1	*	1	*
اطمینان پذیری سیستم													

جدول 4- نتایج آزمایش بار آلودگی سناریوی دوم

پارامتر	سناریوی دوم			درصد کاهش بار آلودگی		میزان اطمینان پذیری سیستم شکست = 1 و پیروزی = 0							
	ته نشینی اولیه	حوضچه بیولوژیکی	بعد از ازن زنی	استاندارد فضای سبز	استاندارد تأسیسات	حوضچه بیولوژیکی	بعد از ازن زنی	بهره برداری فضای سبز	ته نشینی اولیه جهت بهره برداری تأسیسات	ته نشینی اولیه جهت سبز	حوضچه بیولوژیکی جهت بهره برداری فضای سبز	حوضچه بیولوژیکی جهت بهره برداری تأسیسات	بعد از ازن زنی جهت بهره برداری فضای سبز
EC	1105	875	1275	700	*	20/8	-15/4	1	*	1	*	1	*
TDS	737	582	850	450	500	21	-15/3	1	1	1	1	1	1
TSS	417	413	413	40	50	97/4	1	1	1	1	1	1	1
تخم انگل	13	2	2	1	*	84/6	84/6	1	*	1	*	1	*
BOD ₅	410	14	428	31	*	96/6	-4/4	1	*	1	*	1	*
COD	680	24	712	*	20	96/5	-4/7	*	*	1	*	1	*
pH	7/89	6/98	8/25	7/45	7/5	11/5	-4/6	0	0	0	0	0	0
کدورت	314/6	10/5	284/5	*	*	96/7	9/6	*	*	*	*	*	*
رنگ	826	55	1430	*	*	93/3	-73/1	*	*	*	*	*	*
اطمینان پذیری سیستم													



شکل 8- فلوجارت سناریوی دوم

فوق ملاحظه می‌گردد. در سناریوی شماره 2 اطمینان‌پذیری کل سیستم برای تحقق پارامترهای مورد تحلیل افزایش یافته و نتایج آزمایشات حاکی از آن است که درصد قابل توجه بیشتری از بار آلودگی نسبت به سناریوی اول کاهش یافته است و در نهایت نتایج مطلوب‌تری به‌دست آمده است. هرچند برای ارزیابی تأثیر بر کاهش بار آلودگی میزان آلودگی فاضلاب ورودی در هر یک از حالات مورد آزمایش تا حدودی متفاوت است. لیکن در نهایت اثرگذاری تصفیه بیولوژیکی بر فاضلاب خام ورودی و یا اثرگذاری آن بر فاضلاب ازرن‌زنی شده براساس درصد کاهش مقادیر بار آلودگی (BOD_5 و COD) کاملاً محسوس و مشخص است که کاهش این بار آلودگی در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول حدود 13% رشد داشته است. در حالی‌که برای حذف آلاینده‌های سمی فاضلاب در چین، از روشی به‌نام فرآیند یکپارچه استفاده شده است که ابتدا شمال یک پیش تصفیه، بیولوژیکی و در نهایت میکروکلخته‌سازی و فیلتراسیون و ازرن‌زنی کاتالیزوری پیشنهاد شده است. به‌طوری‌که COD از 84/7 به 47 میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت (Zhang و همکاران، 2018).

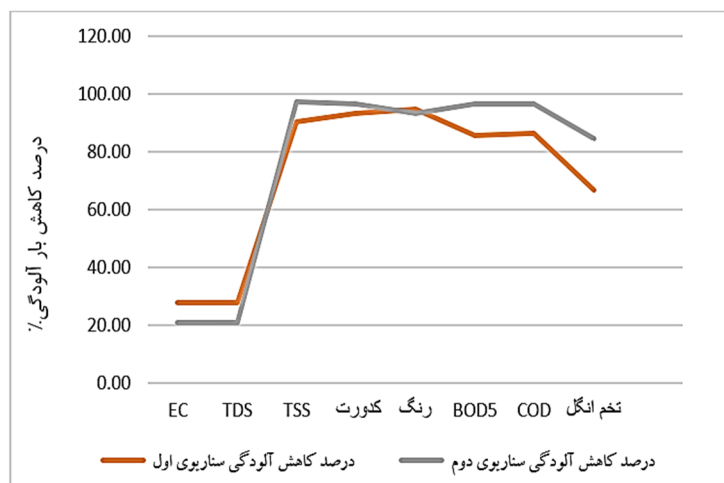
بنابراین، با فناوری‌های پیشرفته تصفیه فاضلاب مرحله نهایی می‌توان تخلیه آلودگی فاضلاب را به محیط‌های آبی به‌میزان قابل توجهی کاهش داد (Talvitie و همکاران، 2017). همچنین ترکیب فناوری‌های مختلف مانند RO و ازرن‌زنی حذف قابل توجهی از سمیت فلزات را نشان داد. ترکیب فرآیندهای مختلف تصفیه در ژاپن باعث کاهش مرگ و میر جنین ماهی‌ها شده است (Cao و همکاران، 2009). نتایج حاصل از این بررسی با نتایج حاصل از تحقیقات (Wu و همکاران، 2018) منطبق می‌باشد. در تحقیق فوق، دلیل اصلی اثر بخشی بیشتر لجن فعال بر پروسه تصفیه بیولوژیکی شکسته شدن پیوندهای شیمیایی بلند در فاضلاب ورودی و کوچکتر شدن آن‌ها در اثر تخریب به‌وسیله ازن عنوان

3- بحث و نتایج

نتایج حاصله بر روی سناریوهای مختلف نشان داد که زمانی که ازرن‌زنی در حوضچه‌های ورودی انجام شود نسبت به حالتی که در حوضچه خروجی انجام گردد کاهش بیشتر بار آلودگی COD و BOD_5 حاصل می‌گردد. همچنین، ازرن‌زنی اولیه، همراه با افزایش زمان ماند پساب در حوضچه بیولوژیکی نتایج مطلوب‌تری را نسبت به سایر تحقیقات انجام شده در این بخش نشان می‌دهد. در ادامه نتایج حاصله سناریوی دوم با استانداردهای فضای سبز و تأسیسات مطابقت داده شده و نتایج حاصله حاکی از این است که علی‌رغم کاهش بار آلودگی پارامترهای مورد نظر اطمینان‌پذیری سیستم برای بهره‌برداری 50% محاسبه می‌گردد. لذا در ادامه مراحل تصفیه از فیلتراسیون و ازرن‌زنی ثانویه و همچنین دستگاه اسمز معکوس نیز بهره‌گیری شده و مشخص گردید پارامترهای تخم انگل، pH ، TSS و BOD_5 بعد از ازرن‌زنی ثانویه و فیلتراسیون به‌طور کامل استاندارد فضای سبز را پوشش داده ولیکن در EC و TDS ، با اختلاف جزئی، بیشتر از حد استاندارد است. همچنین در بخش تأسیسات نیز ضریب اطمینان‌پذیری آب استحصال شده علی‌رغم کاهش بار آلودگی کماکان تغییر ننموده است. لذا با عبور پساب از سیستم اسمز معکوس در این مرحله آب استحصال شده آزمایش و نتایج حاکی از تصفیه کامل و اطمینان‌پذیری 100% برای کاربری تأسیسات گردید. در ادامه با انطباق میزان آب مورد نیاز تأسیسات مشخص گردید نه تنها کلیه نیازهای فضای سبز در مرحله قبل از اسمز معکوس برطرف می‌شود بلکه حتی با عبور آب استحصال شده از سیستم RO کمبود آب برای ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر کماکان نیز وجود دارد، لذا توجیه اقتصادی استفاده از سیستم RO برای تصفیه آب استحصال شده در انتهای مسیر فیلتراسیون و ازرن‌زنی و مقایسه آن با آب‌بهای شهری ارزیابی و ملاحظه گردید. با توجه به نتایج حاصله از هریک از سناریوهای

ملاحظه گردید این است که در صورت عدم گندزدایی اولیه فاضلاب ورودی به لحاظ بسته بودن فضای موجود تصفیه خانه افزایش شدیدی در بوی نامطبوع فاضلاب در ساختمان احساس شده و این مسأله خود سبب تصمیم گیری تعیین سناریوی دوم به عنوان مبنی ادامه مراحل روند فرآیند تصفیه آب استحصال شده گردید. نتایج حاصله مقایسه ای دو سناریوی مختلف فوق در کاهش بار آلودگی فاضلاب ورودی در جدول (5) و شکل (9) نشان داده شده است.

شده است. همچنین در این تحقیق با زمان ماند 2 تا 5 ساعت برای بیشترین بار آلودگی (COD=300PPM) در بخش خروجی مقدار COD کمتر از 50 میلی گرم در لیتر گزارش شده است. لیکن در بررسی انجام شده در پروژه حاضر زمان ماند طولانی که در حوضچه شماره 2 حاصل گردید (HRT=37 HOUR). اثر بخشی به مراتب بهتری نسبت به نتایج حاصله در آن تحقیق را به دست آورده است. اما نکته اساسی دیگر که در تصفیه خانه برج سپهر



شکل 9- مقایسه درصد کاهش بار آلودگی پارامترها در سناریوی اول و دوم

جدول 5- مقایسه نتایج درصد کاهش بار آلودگی سناریوی اول و دوم

پارامتر	فاضلاب ورودی مقدار	سناریوی اول مقدار	فاضلاب ورودی مقدار	سناریوی دوم مقدار	درصد کاهش آلودگی	
					سناریوی اول	سناریوی دوم
EC	1275	921	1105	875	20/81	27/76
pH	8/25	6/64	7/89	6/98	11/53	19/52
TDS	850	613	737	582	21/03	27/88
TSS	413	40	417	11	97/36	90/31
کدورت	284/5	18/7	314/6	10/5	96/66	93/43
رنگ	1430	73	826	55	93/34	94/9
BOD ₅	428	45	410	14	96/59	89/49
COD	712	75	680	24	96/47	89/47
تخم انگل	9	3	3	1	66/67	66/67

استحصال از آب تصفیه خانه مدنظر باشد با ترکیب احجام مختلف با غلظت های مورد نظر تعیین و در مقایسه با استاندارد تأسیسات ضریب اطمینان پذیری سیستم را به نحو قابل ملاحظه ای افزایش داد. این موضوع سبب صرفه جویی در مصرف آب شهری در ماه های مختلف می گردد. محاسبات مربوط به این بخش با استفاده از روش سیمپلکس می باشد.

3-1- برنامه ریزی و مدیریت منابع آبی استحصال شده

ترکیب آب استحصال شده از حوضچه شماره 4 با آب شهری جهت استفاده در تأسیسات با توجه به این که در این بخش نظر با این که پارامترهای TSS، COD در آب شهری و حوضچه بیولوژیکی با توجه به آزمایشات اخذ شده مشخص و حجم دبی آب مازاد بر نیاز فضای سبز نیز معلوم است می توان به گونه ای که حداکثر

برداشت از منابع آب شهری و در نهایت مقادیر صرفه‌جویی حاصل شده در مصارف آب شهری به شرح جدول (7) محاسبه می‌گردد. با ارزیابی نتایج فوق که برای حداکثر استفاده از آب استحصال شده از تصفیه‌خانه در بخش تأسیسات تعیین گردیده است برای پوشش حداقل پارامتر TDS که معادل 500 میلی‌گرم در لیتر است باید حداکثر 81% از آب تصفیه‌خانه برداشت نمود و لیکن برای تحقق پارامتر COD که معادل 20 میلی‌گرم در لیتر است، باید حداکثر 56% از آب تصفیه‌خانه را با آب شهری ترکیب نمود که در نتیجه برای هم‌زمان دو شرط فوق باید از مقدار 56% بهره‌گیری نمود. بنابراین میزان برداشت از منابع آب شهری و در نهایت مقادیر صرفه‌جویی حاصل شده در مصارف آب شهری به شرح جدول (6) محاسبه می‌گردد.

در ماه‌های آبان تا اردیبهشت که آب مازاد بر نیاز فضای سبز وجود دارد. پس از محاسبه دبی مورد نیاز برای ترکیب با آب شهری آب مازاد باقی‌مانده جهت تغذیه منابع زیرزمینی به چاه عمیق موجود در محوطه تزریق گردد. با ارزیابی نتایج فوق که برای حداکثر استفاده از آب استحصال شده از تصفیه‌خانه در بخش تأسیسات تعیین گردیده است برای پوشش حداقل پارامتر TDS که معادل 500 میلی‌گرم در لیتر است باید حداکثر 81% از آب تصفیه‌خانه برداشت نمود و لیکن برای تحقق پارامتر COD که معادل 20 میلی‌گرم در لیتر است باید حداکثر 56% از آب تصفیه‌خانه را با آب شهری ترکیب نمود که در نتیجه برای هم‌زمان دو شرط فوق باید از مقدار 56% بهره‌گیری نمود. بنابراین میزان

جدول 6- مقادیر و تخصیص منابع آبی برای مصارف

شرح	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
مقدار آبی برای مصارف تأسیسات از آب شهری تأمین می‌شود	4/7	6/9	9/4	16/4	41/7	15/7	8/9	0	0	0	0	0
آب مازاد بر نیاز جهت تزریق در منابع زیرزمینی	20	19/9	11/7	4/1	0	2	10/3	29	29/3	44	38	34/3
آب مورد نیاز برای ترکیب با آب شهر جهت مصرف تأسیسات	6	8/8	11/9	20/9	20/7	20	11/4	0	0	0	0	0
آب مازاد بر مصارف فضای سبز	26	28/7	23/7	25	20/7	22	21/7	29	29/3	44	38	34/3
مصارف تأسیسات	10/7	15/7	21/3	37/3	62/3	35/7	20/3	0	0	0	0	0
مصارف فضای سبز	11	15	20/3	25	31/3	24/3	20/7	15	11/3	0	0	5/3
میانگین آب استحصال شده	37	43/7	44	50	52	46/3	42/3	44	40/7	44	38	39/7

4- نتیجه‌گیری

با توجه به یکنواختی و عدم وجود تغییرات عمده در بار آلودگی تولید شده در فاضلاب برج سپهر و همچنین پتانسیل بالای فضای فیزیکی تصفیه و وجود حوضچه‌های با حجم قابل توجه، روش تصفیه فاضلاب مبتنی بر روش لجن فعال مدنظر قرار می‌گیرد. روش ازن‌زنی با توجه به قابلیت‌های بیشتر و قدرت بالای ضدعفونی کننده به جای روش کلرزنی جایگزینی مناسب بوده و نتایج حاصله از پیش ازن‌زنی فاضلاب بر روی فاضلاب خام ورودی نتایج بهتری را در کاهش بار آلودگی نشان داده است. نتایج حاصل از انجام آزمایشات بروی پارامترهای مورد نظر نشان می‌دهد

تصفیه فاضلاب با شرایط ذیل نتایج مطلوبی را جهت استحصال مجدد آب در بخش‌های فضای سبز و تأسیسات حاصل نموده است. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که در شرایط فعلی استحصال آب از دستگاه اسمز معکوس برای تصفیه فاضلاب جهت بهره‌برداری در تأسیسات نسبت به آب شهری مقرون به صرفه نیست. با اجرای این طرح تصفیه در برج سپهر، سالانه بیش از 15500 مترمکعب آب استحصال شده و به چرخه مصرف بازگشت داده می‌شود که سبب صرفه‌جویی بیش از 8300 مترمکعب در سال از مصارف آب شهری و تزریق سالانه 7200 مترمکعب به منابع آب زیرزمینی خواهد بود.

- v.2018.12.076
- Jones ER, "Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse", *Earth System Science Data*, 2021, 13 (2), 237-254.
- Joshua NE, Odiyo JO, Olatunde SD, "Impact of wastewater on surface water quality in developing countries: a case study of south africa", *Water Quality, Hlanganani Tutu*, Intech Open, 2017. <https://doi.org/10.5772/66561> [Preprint]
- Kummu M, Guillaume JH, De Moel H, Eisner S, Flörke M, Porkka M, Siebert S, Veldkamp TI, Ward PJ, "The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability", *Scientific Reports*, 2016, 6 (1), 38495. <https://doi.org/10.1038/srep38495>
- Leyva-Díaz JC, Martín-Pascual J, Poyatos JM, "Moving bed biofilm reactor to treat wastewater", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2017, 14 (4), 881-910. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1169-y>
- Maghrebi M, Noori R, Mehr AD, Lak R, Darougeh F, Razmgir R, Farnoush H, Taherpour H, Moghaddam SM, Araghi A, Kløve B, "Spatiotemporal changes in Iranian rivers' discharge", *Elem Sci Anth*, 2023, 11 (1), 2.
- Molinos-Senante M, Gómez T, Garrido-Baserba M, Caballero R, Sala-Garrido R, "Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: A composite indicator approach", *Science of the Total Environment*, 2014, 497, 607-617.
- Muga HE, Mihelcic JR, "Sustainability of wastewater treatment technologies", *Journal of Environmental Management*, 2008, 88 (3), 437-447.
- Noori R, Maghrebi M, Jessen S, Bateni SM, Heggy E, Javadi S, Noury M, Pistre S, Abolfathi S, AghaKouchak A, "Decline in Iran's groundwater recharge", *Nature Communications*, 2023, 14 (1), 6674.
- Partani S, Rashidi A, Jarahi H, Jafari A, Arzhanghi A, "Evaluation of the ecological risk of heavy metals in the sediments of coastal wetlands Case study: coastal wetlands of Chabahar Bay, mangrove ecosystem", *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 2023. [Preprint]. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.360884.669517>
- Patil PD, Bhanghe VP, Shende SS, Ghorpade PS, "Greywater characterization of an Indian household and potential treatment for reuse", *Water-Energy Nexus*, 2022, 5, 1-7.
- Pennellini S, Awere E, Kakavand N, Bonoli A, "Assessment of secondary wastewater treatment technologies for agricultural reuse in Rafah, Gaza Strip: Application of evidential reasoning method", *Cleaner Engineering and Technology*, 2023, 13, 100611. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100611>
- Qadir M, Jiménez GC, Farnum RL, Dodson LL, Smakhtin V, "Fog Water Collection: Challenges beyond Technology", *Water*, 2018, 10 (4). <https://doi.org/10.3390/w10040372>
- 5 مراجع**
- Abdel-Shafy HI, Al-Sulaiman AM, Mansour MSM, "Greywater treatment via hybrid integrated systems for unrestricted reuse in Egypt", *Journal of Water Process Engineering*, 2014, 1, 101-107.
- Albalawneh A, Chang TK, "Review of the greywater and proposed greywater recycling scheme for agricultural irrigation reuses", *International Journal of Research-Granthaalayah*, 2015, 3 (12), 16-35.
- Assalin MR, Almeida ES, Durán N, "Combined system of activated sludge and ozonation for the treatment of Kraft E1 effluent", *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 2009, 6 (3), 1145-1154.
- Cairncross S, "Hygiene, sanitation, and water: what needs to be done?", *PLoS medicine*, 2010, 7 (11), p. e1000365.
- Cao N, Yang M, Zhang Y, Hu J, Ike M, Hirotsuji J, Matsui H, Inoue D, Sei K, "Evaluation of wastewater reclamation technologies based on in vitro and in vivo bioassays", *Science of The Total Environment*, 2009, 407 (5), 1588-1597. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitoten.v.2008.10.048>
- Connor R, "The united nations world water development report 2017, wastewater: the untapped resource", 2017.
- Dezotti M, Lippel G, Bassin JP, Bassin JP, Dezotti M, "Moving bed biofilm reactor (MBBR)", *Advanced Biological Processes for Wastewater Treatment: Emerging, Consolidated Technologies and Introduction to Molecular Techniques*, 2018, 37-74.
- Eisenberg D, Soller J, Sakaji R, Olivieri A, "A methodology to evaluate water and wastewater treatment plant reliability", *Water Science and Technology*, 2001, 43 (10), 91-99. <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0589>
- Ghaderi M, Attarzadeh A, "Removal of 4-Nitrophenol Contaminant by Moving Bed Biofilm Reactor with Media Bee Cell 2000 And Shock Study", *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2022. [Preprint]. <https://doi.org/10.22034/jcee.2022.51946.2153>
- Goswami S, Mazumder D, "Comparative study between activated sludge process (ASP) and moving bed bioreactor (MBBR) for treating composite chrome tannery wastewater", *Materials Today: Proceedings*, 2016, 3 (10), 3337-3342.
- Haeri H, Pajoum Shariati F, Qaderi F, "Using of moving bed biofilm reactor containing kaldness media in treatment of produced water", *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2021, 51.2 (103), 41-49. <https://doi.org/10.22034/jcee.2020.25824.1621>
- Hazrati H, Rostamizadeh M, Atashzar M, "Effect of solid retention time on membrane fouling in the membrane bioreactor systems for treating synthetic wastewater", *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2021, 50.4 (101), 25-32. <https://doi.org/10.22034/jcee.2020.24656.1598>
- Jones E, "The state of desalination and brine production: A global outlook", *Science of The Total Environment*, 2019, 657, 1343-1356. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitoten>

- .03.184
Zhang Y, Shen Y, "Wastewater irrigation: past, present, and future", *WIRES Water*, 2019, 6 (3), e1234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wat2.1234>
- Rakesh S, Ramesh DP, Murugaragavan R, Avudainayagam S, Karthikeyan S, "Characterization and treatment of grey water: a review", *IJCS*, 2020, 8 (1), 34-40.
- Ramothokang TR, Drysdale GD, Bux F, "Isolation and cultivation of filamentous bacteria implicated in activated sludge bulking", *Water Sa*, 2003, 29 (4), 405-410.
- Salem HS, Yihdego Y, Muhammed HH, "The status of freshwater and reused treated wastewater for agricultural irrigation in the Occupied Palestinian Territories", *Journal of Water and Health*, 2021, 19 (1), 120-158.
- Sato T, Yamamoto S, Endo T, Zahoor A, "Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use", *Agricultural Water Management*, 2013, 130, 1-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007>
- Taheriyoun M, Bahrami M, Moradinejad S, "Reliability analysis of a municipal wastewater treatment plant using fault tree analysis", *Iran-Water Resources Research*, 2014, 10 (2), 1-11. https://www.iwrr.ir/article_13426.html
- Talvitie J, Mikola A, Koistinen A, Setälä O, "Solutions to microplastic pollution-removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies", *Water Research*, 2017, 123, 401-407. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>
- Wada Y, Wisser D, Eisner S, Flörke M, Gerten D, Haddeland I, Hanasaki N, Masaki Y, Portmann FT, Stacke T, Tessler Z, "Multimodel projections and uncertainties of irrigation water demand under climate change", *Geophysical Research Letters*, 2013, 40 (17), 4626-4632. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/grl.50686>
- Wu C, Zhou Y, Sun X, Fu L, "The recent development of advanced wastewater treatment by ozone and biological aerated filter", *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25, 8315-8329.
- Yahya MN, Gökçekuş H, Ozsahin DU, Uzun B, "Evaluation of wastewater treatment technologies using TOPSIS", *Desalin Water Treat*, 2020, 177, 416-422.
- Yaseri AM, Qaderi F, Khataei B, "Treatment of wastewater containing hard degradable pollutants through the advanced oxidation process (ozonation)", *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2023 [Preprint]. <https://doi.org/10.22034/jcee.2023.53797.2192>
- Zhang S, Wu C, Zhou Y, Wang Y, He X, "Effect of wastewater particles on catalytic ozonation in the advanced treatment of petrochemical secondary effluent", *Chemical Engineering Journal*, 2018, 345, 280-289. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2018>

EXTENDED ABSTRACT

Evaluation of Treatment Processes; Recovery and Recycling of Water from Human Wastewater in Tall Towers Using Automation Methods; A Case Study of The Project in the Sepehr Tower, Tehran

Sadegh Partani ^{a,*}, Hamid Yahyai Abadi ^b, Ali Jafari ^a

^a Faculty of Engineering, University of Bojnord, Bojnord 05832201455, Iran

^b Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Central Tehran branch, Tehran, Iran

Received: 06 November 2023; **Review:** 23 December 2023; **Accepted:** 03 January 2024

Keywords:

Wastewater, Treatment processes, Ozonation, Recovery.

1. Introduction

Considering the rapid population growth and increasing demand for clean and reliable water, wastewater treatment plants play a significant role in providing a reliable water source. Therefore, the use of unconventional water sources has rapidly grown in recent decades (Taheriyoun, et al, 2014). Discharging wastewater requires treatment and alternative evaluation for proper environmental monitoring and protection of our natural water resources. Assessing the reliability of treatment processes and treatment facilities should be an important part of the planning and design process for water resource projects, wastewater treatment, and especially wastewater reuse projects. Wastewater should be treated before disposal or reuse in order to comply with regulations and guidelines at various national levels. Generally, complete wastewater treatment consists of three main stages: primary treatment (removal of suspended and floating solids), secondary treatment (biological decomposition of organic matter) and tertiary treatment (removal of nutrients and toxic compounds) (Jones, 2021).

2. Methodology

The study location in this research is the administrative tower of Sepah Bank in Tehran. The mentioned building is a 32-story tower with an area of approximately 32,500 square meters, located at the intersection of Semeia Street and Malek al-Shoara Bahar Street. It houses around 1,400 administrative personnel and serves over 400 visitors daily. The tower has approximately 3,500 square meters of green space surrounding it and consumes an average of 76 cubic meters of water per day throughout the year. At the beginning of the project, the wastewater treatment plant in this building used the chlorination method to treat the incoming wastewater and discharged it into the surrounding water stream after settling. In this section, while collecting statistics and information on the water consumption of green spaces and facilities, and determining the parameters of the study's water quality, relevant standards were established. By making structural changes in the layout and design of the space, such as eliminating chlorination and replacing it with ozonation, and incorporating a biological treatment pond, the results of the studied wastewater treatment methods were evaluated. Initially, by obtaining information on the raw wastewater and recording statistical data on pollution load, pH, COD, and

temperature using relevant sensors, the experiences of previous implemented projects were evaluated. The activated sludge method was used due to the potential physical space available and the possibility of extending the retention time. Two different scenarios were defined for ozonation, considering constant air supply, ozone injection dosage, and pH of the wastewater in the inlet pond, and initial raw test results were obtained through automation sensors.

3. Results and discussion

The obtained results on different scenarios showed that when ozonation is performed in the inlet ponds, a greater reduction in COD and BOD₅ pollution load is achieved compared to when it is done in the outlet ponds. Additionally, the results indicated that initial ozonation, along with an increase in the retention time of wastewater in the biological pond, yielded better results compared to other studies conducted in this area. Furthermore, the results of the second scenario were compared with the standards of green spaces and facilities. The results showed that despite the reduction in the desired parameters' pollution load, the system's reliability for 50% operation was calculated. Therefore, in the subsequent treatment stages, secondary ozonation, filtration, and reverse osmosis were utilized. It was determined that the parameters of egg parasites, BOD₅, pH, and TSS were fully compliant with the standards after secondary ozonation and filtration. However, there was a slight difference in EC and TDS beyond the standard limit. Additionally, in the facilities section, the reliability coefficient of the reclaimed water did not change despite the reduction in pollution load. Therefore, by passing the wastewater through the reverse osmosis system, the water was tested and the results indicated complete treatment and 100% reliability for facility use. Furthermore, by determining the required water quantity for the facilities, it was found that not only all the needs of the green spaces were met before reverse osmosis, but there was also water stress for the months of Khordad, Tir, Mordad, Shahrivar, and Mehr.

4. Conclusions

Based on the uniformity and lack of significant changes in the pollution load produced in the wastewater of the Sepeher Tower, and also the high potential of the physical treatment space and the existence of ponds with considerable volume, the activated sludge wastewater treatment method is considered. Ozone treatment, due to its greater capabilities and high disinfectant power, is a suitable replacement for chlorine treatment, and the results of pre-ozone treatment of wastewater on the raw incoming wastewater have shown better results in reducing pollution load. The results of the experiments on the desired parameters show that wastewater treatment under the following conditions has yielded desirable results for reclaiming water in green spaces and facilities. By implementing this treatment plan in the Sepeher Tower, more than 15,500 cubic meters of water are reclaimed annually and returned to the consumption cycle, resulting in savings of more than 8,300 cubic meters per year from municipal water usage and injection of 7,200 cubic meters annually into groundwater resources.

5. References

- Taheriyoun M, Bahrami M, Moradinejad S, "Reliability analysis of a municipal wastewater treatment plant using fault tree analysis", *Iran-Water Resources Research*, 2014, 10 (2), 1-11.
- Jones ER, "Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse", *Earth System Science Data*, 2021, 13 (2), 237-254.