



Evaluating the Effect of the Wastewater Treatment Process in Water Treatment Plants (Case Study: Tehran's Seventh Drinking Water Treatment Plant)

Hadi Aghebatbekhair¹ | Mahdi Sarai Tabrizi² | Hossein Babazadeh³ |
Hamid Kardan Moghadam⁴

1. Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: hadi.aghebat@srbiau.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: m.sarai@srbiau.ac.ir
3. Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: h_babazadeh@srbiau.ac.ir
4. Ministry of Energy Water Research Institute, Tehran, Iran. E-mail: h.kardan@wri.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 05 May 2022

Received in revised form:
26 June 2022

Accepted: 15 November 2022

Published online:

25 December 2022

Keywords:

Balancing,
Effluent,
Polyelectrolyte,
Recycling,
Treatment plant,
Water resources.

ABSTRACT

The metropolis of Tehran has seven drinking water treatment plants, which according to the water needs, more than one billion cubic meters of water treated by the treatment plants are provided to the customers annually. Five percent of the volume of water entering the treatment plants is converted into wastewater, which is estimated at 50 million cubic meters per year. If managed in the recycling process, it will play an important role in balancing water resources and preventing water loss. Therefore, this study seeks to evaluate the recycling process of water treatment in the field of drinking water supply in Tehran to increase the stability of water supply and demand cycle. For this purpose, in order to effectively regenerate this cycle, it was evaluated in the treatment plant No. seven in Tehran with an incoming water volume of 155 million cubic meters per year. In this regard, the results of evaluation of the recycling process change in the treatment plant showed that by changing the wastewater treatment process and the use of polyelectrolyte, the amount of effluent decreased by 95%. The results showed that the volume of effluent decreased from 7.7 million cubic meters per year to 310,000 cubic meters per year, which in fact, Five percent efficiency of effluent production to three tenths of percent of effluent production in this process change. This change in the effluent system produced in the drinking water treatment plant can greatly contribute to the sustainability of water resources, especially groundwater, given the volume of water resources required by Tehran.

Cite this article: Aghebatbekhair, H., Sarai Tabrizi, M., Babazadeh, H., & Kardan Moghadam, H. (2022). Evaluating the Effect of the Wastewater Treatment Process in Water Treatment Plants (Case Study: Tehran's Seventh Drinking Water Treatment Plant). *Journal of Water and Irrigation Management*, 12 (4), 891-905.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jwim.2022.342583.989>





ارزیابی تأثیر فرایند تصفیه پساب در تصفیه‌خانه‌های آب (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه هفتم آب شرب تهران)

هادی عاقبت‌بخیر^۱ | مهدی سرائی تبریزی^۲ | حسین بابازاده^۳ | حمید کاردان مقدم^۴

۱. گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: hadi.aghebat@srbiau.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: m.sarai@srbiau.ac.ir

۳. گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: h_babazadeh@srbiau.ac.ir

۴. مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، تهران، ایران. رایانامه: h.kardan@wri.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴

کلیدواژه‌ها:

پلی‌الکترولیت،

تصفیه خانه،

تعادل بخشی،

پساب،

منابع آب.

کلانشهر تهران با هفت تصفیه‌خانه آب شرب حجمی بالغ بر یک میلیارد مترمکعب آب تصفیه‌شده را جهت مصرف نیاز دارد. از این حجم نیاز، حدود پنج درصد جریان ورودی آب به تصفیه‌خانه‌ها طی فرایند تصفیه به پساب تبدیل شده که بالغ بر ۵۰ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده می‌شود. مدیریت این حجم آب عملاً از دسترس خارج شده که در مدیریت فرایند بازچرخانی، می‌تواند نقش به‌سزایی در تعادل بخشی منابع آب و جلوگیری از هدررفت آب داشته باشد. لذا این مطالعه به دنبال ارزیابی فرایند بازچرخانی تصفیه آب، در حوزه تأمین آب شرب شهر تهران جهت افزایش پایداری چرخه عرضه و تقاضای آب و همچنین حفظ منابع آبی موجود، ظرفیت سازی منابع آبی جدید است. که یکی از این ظرفیت‌ها استفاده از پساب‌ها می‌باشد. بدین منظور به صورت پایلوت به منظور اثربخشی بازچرخانی این چرخه، در تصفیه‌خانه شماره هفت تهران با حجم آب ورودی ۱۵۵ میلیون مترمکعب در سال مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا نتایج ارزیابی تغییر فرایند بازچرخانی در تصفیه‌خانه نشان داد که با تغییر فرایند تصفیه پساب و استفاده از پلی‌الکترولیت، میزان پساب تولیدی به میزان ۹۵ درصد کاهش یافت. نتایج نشان داد که حجم پساب از مقدار ۷/۷ میلیون مترمکعب در سال به حجم ۳۱۰ هزار مترمکعب در سال کاهش یافته که عملاً کارایی پنج درصدی تولید پساب به ۰/۳ درصد تولید پساب در این تغییر فرایند رسیده است. این تغییر در سیستم پساب تولیدی در تصفیه‌خانه آب شرب می‌تواند با توجه به حجم منابع آب مورد نیاز تهران، تا حد زیادی به پایداری منابع آب به‌ویژه منابع آب زیرزمینی کمک کند.

استناد: عاقبت‌بخیر، ه، سرائی تبریزی، م، بابازاده، ح. و کاردان مقدم، ح (۱۴۰۱). ارزیابی تأثیر فرایند تصفیه پساب در تصفیه‌خانه‌های آب (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه هفتم آب شرب تهران). *تشریح مدیریت آب و آبیاری*، ۱۲ (۴)، ۸۹۱-۹۰۵. DOI: <http://doi.org/10.22059/jwim.2022.342583.989>



۱. مقدمه

تغییرات اقلیمی و رشد جمعیت سبب افزایش نیاز آب شده که این موضوع همراه با افزایش مهاجرت و شهرنشینی در بیش‌تر کشورهای جهان، از موارد مهم افزایش تقاضای آب شرب است. امروزه بسیاری از مناطق بزرگ شهری، حتی در مناطقی که از گذشته به‌عنوان مناطق پرآب (روسیه، ژاپن و اروپا) شناخته می‌شوند، امروزه از کمبود آب شیرین رنج می‌برند. این موضوع در ایران که از نظر اقلیمی در یک مدار خشک و نیمه‌خشک واقع شده و تمرکز زمانی و مکانی بارش در آن بسیار متنوع است باعث عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب شده است. محدودیت منابع آب تجدیدپذیر و افزایش جمعیت باعث کاهش سرانه آب تجدیدپذیر شده و تأمین آب شرب نقاط جمعیتی را از منابع آب متعارف با هزینه‌های کلان مواجه کرده است. نسبت پایین بارش ایران نسبت به میانگین جهانی، استحصال بی‌رویه منابع آب زیرزمینی، آلودگی منابع آب موجود توسط پساب‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی از مهم‌ترین چالش‌های بزرگ در مدیریت بخش تأمین آب کشور است. با توجه به وضعیت بیابان منابع آب کشور و مشکلات تأمین آب، لزوم بهره‌برداری بهینه از منابع آب تجدیدشونده و بهره‌برداری در چرخه بازچرخانی آب دارای اهمیت است. فرایند بازچرخانی آب به‌عنوان یک رویکرد جهت افزایش تأمین نیازهای بخش آب می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مهم در برنامه‌ریزی منابع آب و تعریف آب نامتعارف تلقی شود. در ایران استفاده از منابع آب نامتعارف از نظر اجرایی کم‌تر موردتوجه قرار گرفته و تجربه عملی معدودی برای استفاده ایمن از پساب وجود دارد. جهت رسیدن به مسئله پایداری منابع آب، در موضوع پساب، باید یک تغییر نگرش اساسی ایجاد شود که در این نگرش دیگر نمی‌توان پساب‌ها و فاضلاب‌ها را به‌عنوان یک ماده اضافه و یا غیرمفید به‌شمار آورد. این نگرش مدیریت پسماندها و زباله‌ها را که با مفهوم فاضلاب و پساب است به‌عنوان "منبعی تجدیدپذیر" مطرح است.

پساب و فاضلاب نیز از این امر مستثنا نبوده و باید در نگرش جدید به مفاهیم کاهش مقدار تولید فاضلاب و پساب، استفاده دوباره از پساب و فاضلاب، توسط بخش‌های دیگر و بازچرخانی و تغییر فرایند تصفیه پساب، توجه بیش‌تری شود. به هر حال، پساب یک منبع تجدیدپذیر به‌شمار می‌رود که از آن آب قابل‌استفاده در بخش‌های دیگر، موادی نظیر کودها و انرژی می‌توان استخراج کرد (Razeghe and Mansoori, 2016). در ایران تقریباً ۹۰ درصد تصفیه‌خانه‌های آب شرب به روش متعارف فرایند تصفیه را انجام می‌دهند. در این روش بین سه تا پنج درصد حجم تولید آب شیرین، به‌صورت پساب تولید می‌شود (Kayhanian and Tchobanoglous, 2018). نتایج نشان می‌دهد که پساب‌ها را نمی‌توان به‌طور مستقیم وارد طبیعت کرد و یا دوباره استفاده نمود، بلکه باید توسط روش‌هایی تصفیه‌شده تا به استاندارد موردنیاز برای تخلیه و یا استفاده دوباره برسند. در کشور کانادا، شهر تورنتو، پساب حاصل از تصفیه‌خانه‌های آب، از طریق خطوط انتقال جمع‌آوری به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب منتقل و پس از فرایند تصفیه به دریاچه‌های اطراف شهرها می‌ریزند. همچنین در بخش صنعت، پساب حاصل از فعالیت‌های صنعتی در واحدهای صنعتی در طبیعت رها نمی‌شود بلکه دوباره به چرخه استفاده در همان واحد مربوطه بازگردانده می‌شود (Nokes, 2008).

کشور ژاپن، پساب حاصل از تصفیه‌خانه آب را از روی بسترهای پلیمری عبور داده و آب حاصل را دوباره به ابتدای خط تصفیه انتقال می‌دهند (AWWA, 1989). پروژه AQUA-REC^۱ راجع به مفهوم یکپارچه استفاده دوباره از پساب در قالب یک برنامه پنج‌ساله در استرالیا انجام شده است (Wintgens et al., 2006). کشورهای استرالیا و نیوزیلند براساس این برنامه‌ریزی و با استفاده از مدل‌سازی، ارزیابی کمی پتانسیل استفاده دوباره از پساب انجام داده‌اند. پساب حاصل از تصفیه‌خانه‌های آب از طریق خطوط انتقال به تصفیه‌خانه دیگری منتقل شده و پس از جداسازی لجن و ناخالصی، آب دوباره به ابتدای تصفیه‌خانه آب برگشت می‌شود (Lam et al., 2017) در پژوهشی در کشور هنگ‌کنگ استفاده از روش EEA نشان دادند که استفاده دوباره از آب، بهترین برنامه از نظر بهره‌وری اقتصادی برای بازیافت

انرژی، بازیافت منابع آبی و کاهش بار تصفیه فاضلاب است. نتیجه مطالعه فوق نشان داد که چارچوب EPA برای راهنمایی مدیریت آب به سمت پایداری ابزار بسیار مؤثری است و پایه‌ای برای پژوهش‌های آینده در مورد کاربرد سیستم بازیافت آب‌های خاکستری در مقیاس بزرگ است (Lam et al., 2017). در برخی شهرهای اروپا با جمعیت بالا نظیر لندن، برلین و بارسلون، استفاده از روش غیرمستقیم برای مصارف شرب از طریق تزریق در آبخوان و یا ترکیب با منابع آب سطحی صورت می‌گیرد. منافع استفاده دوباره پساب شامل اهداف اقتصادی، اجتماعی، سلامتی و محیطی زیستی هستند که به نوع کاربرد استفاده مجدد از پساب، کیفیت پساب، ریسک سلامتی و میزان تماس با پساب، جغرافیا، اقتصاد منطقه و سایر عوامل بستگی دارند (Heydari, 2019). در آلمان، پساب تصفیه‌خانه‌های آب در حوضچه‌هایی جمع‌آوری شده و پس از اضافه نمودن مواد شیمیایی که موجب ته‌نشینی سریع لجن موجود در آن می‌شود و آب دوباره به ابتدای سیستم تصفیه‌خانه بازگردانده می‌شود (Dehghani and Sohrab, 2016).

در پژوهشی توسط Razeghi and Mansori (2015) با عنوان "برنامه‌ریزی درازمدت استفاده دوباره از آب"، شرایط فعلی و آینده و تسهیلات و امکانات استفاده دوباره از آب را مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این مقاله افزایش جمعیت در کشور و به‌فرض دست‌یافتن به آن و براساس جمعیت ۱۵۵ میلیون نفر در ده سال آینده، می‌توان تحلیل کرد برای توسعه همه‌جانبه براساس اطلاعات و داده‌های در دسترس سالیانه به سرانه آب حدود ۲۰۰۰ مترمکعب نیاز است که برای جمعیت مورد اشاره حدود ۲۰۰ میلیارد متر مکعب در سال خواهد بود. اما در حال حاضر میزان آب تجدیدپذیر در کشور حدود ۱۲۰ میلیارد مترمکعب است که نشانگر کمبود آبی حدود ۸۰ میلیارد مترمکعب برای توسعه کشور است. با فرض جمع‌آوری و تصفیه نه درصد کمبود-فاضلاب‌های اجتماعات شهری، سالیانه حدود شش میلیارد متر مکعب آب نامتعارف وجود خواهد داشت که حدود هفت تا هشت درصد کمبود است. اما این میزان آب نامتعارف تأمین‌کننده حدود هفت درصد از نیاز اجتماعات شهری خواهد بود. پس در صورت تصفیه فاضلاب شهری و استفاده دوباره از آن در جوامع، ممکن است مشکل کمبود آب کمرنگ شود.

با توجه به مطالعات انجام‌شده و لزوم استفاده از توان حداکثری در تأمین آب شرب، تغییر در فرایند تصفیه آب شرب می‌تواند در افزایش بهره‌وری این موضوع تأثیرگذار باشد. این موضوع سبب می‌شود تا اختلاف بین عرضه و تقاضای آب در چرخه تأمین آب کاهش یافته و پایداری سیستم تأمین آب شهری افزایش یابد. از طرفی نیز این موضوع سبب می‌شود تا علاوه بر افزایش حجم عرضه آب شیرین سبب کاهش پساب تولیدشده در تصفیه‌خانه‌های آب شرب می‌شود. این موضوع می‌تواند قدرت برنامه‌ریزی و تأمین آب را برای تصمیم‌گیری مدیران متولی در بخش آب شرب را افزایش و ضریب پایداری تأمین آب را نیز افزایش دهد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

شهر تهران به‌عنوان یک کلان‌شهر با حجم بالای جمعیت ساکن و پویا، نیازمند تأمین آب شرب به‌منظور توسعه پایدار مدنظر می‌باشد. روند افزایشی جمعیت در این کلان‌شهر با وسعت ۷۳۰ کیلومترمربع، سبب شده تا تهران همواره با تنش آبی مواجه باشد و این موضوع در طی سالیان اخیر سبب به راه‌اندازی طرح‌های مختلف انتقال آب برای تأمین آب شرب شده است (Geographical organization, 2021). بیش‌ترین میزان آب شرب کلان‌شهر تهران از منابع آب سطحی و از طریق پنج سد بزرگ تأمین می‌شود و ۳۵ درصد منابع آب از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. شبکه انتقالی آب از منابع آب سطحی، به‌وسیله خطوط انتقال به هفت تصفیه‌خانه آب شرب منتقل و پس از تصفیه وارد مدار شبکه توزیع آب شهری می‌شود. تصفیه‌خانه‌های شماره یک، دو، شش از دو سد کرج و طالقان، تصفیه‌خانه شماره پنج از سد لار

و دو تصفیه‌خانه شماره سه و چهار از سد لتیان آب و تصفیه‌خانه شماره هفت در پایین‌دست سد ماملو و خارج از شهر تهران تأمین آب می‌شود. در شکل (۱) موقعیت منابع تأمین آب، خطوط انتقال اصلی و تصفیه‌خانه‌های تأمین آب شرب تهران نمایش داده شده است (Iran Ministry of Energy, 2011).

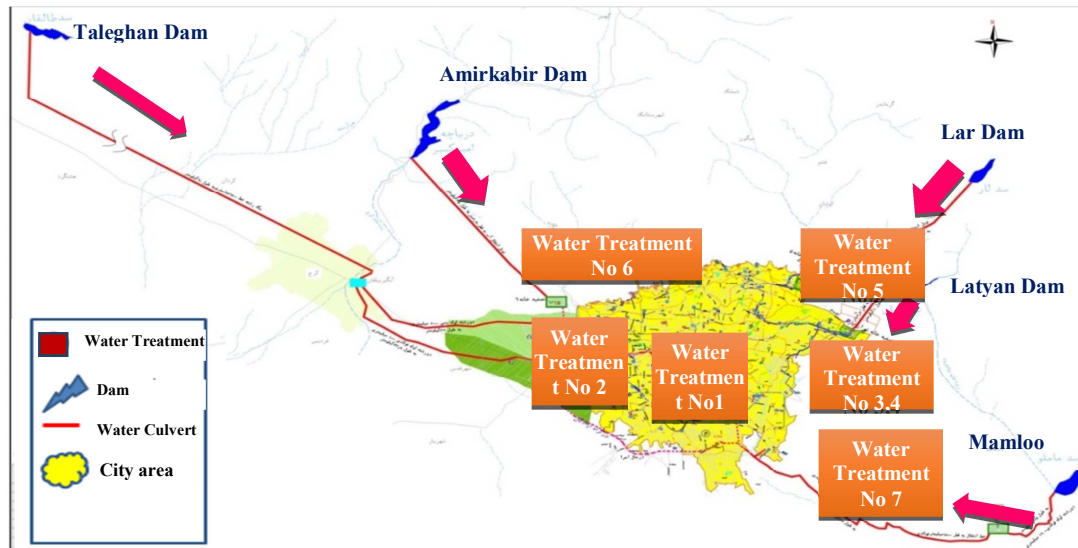


Figure 1. Location of dams and treatment plants in Tehran

۲.۲. فرایند تصفیه متعارف آب شیرین

یکی از مهم‌ترین مفاهیم در بحث بهره‌برداری از منابع آب برای مصرف شرب، تصفیه آب است. مجموعه عملیاتی که به منظور آماده کردن آب برای مصارف موردنظر اجرا می‌شود، تصفیه آب و مجموعه تأسیسات و تجهیزاتی که عملیات تصفیه آب را در بر می‌گیرد، تصفیه‌خانه نامیده می‌شود. بنابراین برای تهیه آب مناسب برای شرب و مصارف عمومی شهری مجموعه‌ای از تأسیسات طی یک فرایند مورد استفاده قرار گرفته تا آب دریافتی از منابع آب را با کیفیتی قابل قبول در چهارچوب استاندارد آب آشامیدنی تحویل نماید. مراحل کلی فرایند تصفیه آب در شکل (۲) به صورت شماتیکی ارائه شده است که پس از انتقال آب به تصفیه‌خانه، مواد معلق از آب جدا شده و پس از آن ته‌نشینی مقدماتی ذرات اتفاق می‌افتد. در مرحله بعد، تصفیه به صورت حذف مواد معلق ریز از آب و عبور جریان آب از فیلترهای طبیعی (صافی‌های شنی) و در نهایت نیز ضدعفونی کردن آب انجام می‌شود.

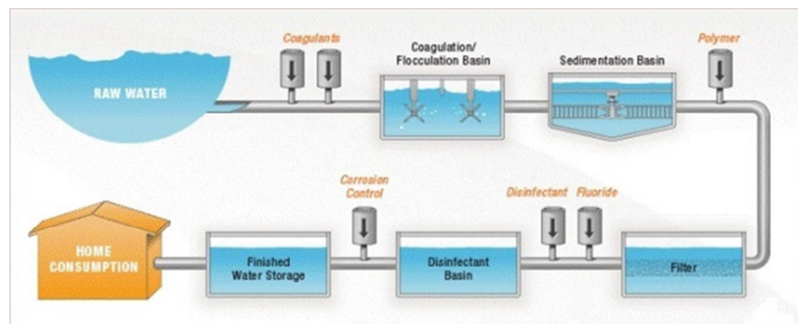


Figure 2. Water treatment process in drinking water treatment plants

تصفیه متعارف، ترکیبی از فرایندهای اختلاط، لخته‌سازی، ته‌نشینی و صاف‌کردن آب است که این نوع تصفیه امکان حذف مؤثر کدورت آب را در هر حد و اندازه مناسب فراهم می‌سازد. موفقیت یک فرایند تصفیه اصولاً به مرحله ته‌نشینی بستگی داشته که بتواند بیش‌تر ذرات معلق را قبل از ورود آب به صافی‌ها حذف کند. بعد از مرحله ته‌نشینی، آبی که وارد صافی می‌شود در گذشته دو فرایند دلمه‌سازی^۲ و لخته‌سازی^۳ به‌صورت یک روند در فرایند تصفیه تلقی می‌شده، اما امروزه پس از شناخت مکانیسم هر یک از آن‌ها، هر کدام به‌صورت جداگانه تعریف شده‌اند. در حال حاضر نیز به سبب آنکه در غالب طرح‌ها، دو روند لخته‌سازی و ته‌نشینی^۴ در یک واحد ساختمانی انجام می‌گیرد به این دو فرایند متوالی، زلال‌سازی^۵ گفته می‌شود. در عمل، دلمه‌های تشکیل شده در واحد اختلاط زلال‌ساز، بر اثر به‌هم‌زنی با پره‌های افقی یا قائم، به هم نزدیک شده و لخته‌های بزرگ قابل ته‌نشینی ایجاد می‌کند. رسوب‌دادن لخته‌های تشکیل شده در قسمت ته‌نشینی واحد زلال‌ساز انجام می‌گیرد. ته‌نشینی به عوامل متعددی مانند بار وارده، کیفیت آب، درجه حرارت آب، اندازه لخته‌ها و چگونگی جریان آب بستگی دارد. حدود ۹۰ تا ۹۸ درصد لخته‌های تشکیل شده در این واحد ته‌نشین شده که لجن حاصل تحت عنوان پساب از این بخش خارج می‌شود. فرایندهای انعقاد، ذره‌سازی و ته‌نشینی، اغلب مواد کلوئیدی موجود در آب را حذف می‌کند که باعث ایجاد کدورت می‌شوند. حذف بیش‌تر و مؤثرتر این ذرات با استفاده از صافی یا فیلتر امکان‌پذیر است. فیلترکردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تصفیه آب است.

۳.۲. تشریح فرایند بازچرخانی در تصفیه‌خانه

بازچرخانی آب به‌عنوان راه کاری مناسب برای کاهش کمبود آب در جهت تأمین نیازهای رو به رشد است. یکی از مؤثرترین رویکردها در این حوزه، بازچرخانی پساب تولیدشده توسط تصفیه‌خانه‌های آب است. اگر بتوان به نحو مؤثری پساب تولیدی در تصفیه‌خانه‌های آب را تصفیه کرد، روزانه از هدررفت مقادیر قابل توجهی آب به شکل پساب، جلوگیری می‌شود و نیز به مقدار معادل، از منابع آب پاک صرفه‌جویی می‌شود.

در این راستا با بررسی منابع تجدیدشونده در فرایند تصفیه آب لزوم استفاده دوباره پساب حاصل از شست‌وشوی صافی‌های این فرایند می‌تواند بین سه تا پنج درصد از حجم آب خام ورودی به تصفیه‌خانه‌های آب را تحت تأثیر قرار دهد. در حال حاضر، هیچ‌گونه بهره‌وری مناسب از این پساب انجام نگرفته و پساب در کانال‌ها و مسیل‌ها رها می‌شود. اهمیت موضوع زمانی بیش‌تر نمایان می‌شود که با بررسی و ارائه راه‌کارهای بهینه و تغییر فرایندهای تصفیه پساب، می‌توان باعث کاهش تولید حجم پساب شده و این موضوع گام مهمی در صرفه‌جویی کمی آب به‌شمار می‌رود. یکی از روش‌های کاهش تولید حجم پساب در تصفیه‌خانه‌های آب شرب، جداسازی لجن از آب می‌باشد. فرایند جداسازی، را می‌توان با روش‌های مختلفی، مثل روش لاگن تبخیری، روش فیلتر پرس، روش افزودن مواد منعقدکننده، روش فیلتر سرامیکی و روش میکرو استرینر، انجام داد. هرکدام از روش‌های مذکور دارای مزایا و معایبی هستند و شرایط خاص خود را دارند در این پژوهش، روش انعقاد لجن موردبررسی واقع شده است. مواد منعقدکننده کاربردی در صنعت آب معمولاً یا آلوم^۶ (سولفات آلومینیوم $(Al_2(SO_4)_3)$) هستند یا کلروفوریک $(FeCl_3)^7$ و یا پلی‌الکترولیت‌ها. آلوم‌ها و کلروفوریک در مراحل تصفیه آب شرب، نیز نقش دارند و دارای بارالکتریکی مثبت هستند. بنابراین برای انعقاد لجن پساب باید از مواد منعقدکننده با بار منفی استفاده شود. پلی‌الکترولیت‌ها^۸ دارای ترکیبی الکترولیتی و پلیمری هستند. این ماده هنگامی که در حلال‌های قطبی مانند آب حل می‌شود تعداد بسیاری گروه باردار (الکتریکی) که به‌صورت کوالانسی به آن‌ها چسبیده است و با نام‌های دیگری نظیر

پلی پرون آمید، پلی کرباماتیلن، پلی آکریل آمید PAM خوانده می‌شود و در سه دسته آنیونیک، کاتیونیک و نانیونیک وجود دارد. به منظور حذف و از بین بردن کلوئیدها و ناخالصی‌های معلق در آب و فاضلاب و پساب در روش انعقاد و لخته‌سازی، استفاده می‌شوند. فرمول شیمیایی آن $(-CH_2CHCONH_2)$ است. مثلاً اگر پلی‌اکریل‌اسید را به آب اضافه شود، هیدروژن‌های اسیدی با مولکول‌های آب واکنش داده و H_3O^+ تولید می‌شود و از آن طرف پلیمرها به مواد کلوئیدهای آب می‌چسبند و تولید کمپلکس‌های بزرگ‌تر می‌کند (شکل ۳).

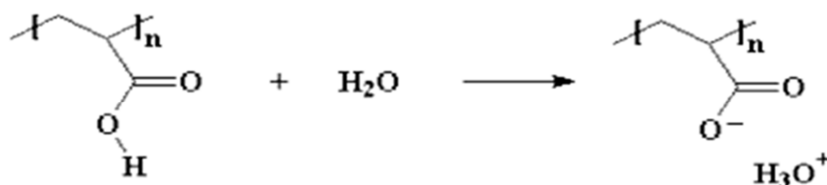


Figure 3. Chemical process of using polyelectrolyte in water treatment

انتخاب صحیح نوع فلوکولانت وابسته به بار الکتریکی کلوئیدهای معلق در محلول دارد. اگر کلوئیدها بدون بار باشند، نانیونیک و اگر بار الکتریکی کلوئیدها منفی باشد، باید از کاتیونیک استفاده شود و همچنین اگر بار الکتریکی کلوئیدها مثبت باشد، باید از آنیونیک استفاده شود. نیروی جاذبه الکتروستاتیک برای ایجاد فلاک یا لخته بین ذرات معلق کلوئیدها و فلوکولانت‌ها بسیار دارای اهمیت است زیرا، این نیرو با استفاده از نیروی جاذبه بین بارهای ناهم‌نام کلوئیدها و فلوکولانت‌ها به وجود می‌آید.

۴.۲. روش کار

قبل از اجرای طرح اصلی در مقیاس تصفیه خانه، ابتدا تحقیقات آزمایشگاهی انجام شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده روی پساب تصفیه‌خانه هفتم آب شرب تهران، به لحاظ بار الکتریکی، مشخص شد که ذرات کلوئیدی پساب، دارای بار منفی می‌باشند. بنابراین جهت فرایند لخته‌سازی، از پلی‌الکترولیت آنیونی استفاده شده است. پس از نمونه برداری از پساب و انتقال آن به آزمایشگاه، نمونه‌ها در بشرهای یک لیتری و در دستگاه جار تست قرار داده شد (شکل ۵). سپس مطابق شکل (۴) تنظیمات گرادیان G با توجه به فلاگ‌های پساب و ظروف مدور، روی ۶۰ تنظیم شد.

آنگاه با استفاده از استاندارد EPA قسمت محاسبات لجن، مقدار $1/5$ ppm پلی‌الکترولیت آنیونی به نمونه اضافه شد و به مقدار ۳۰ دقیقه در حالت میکس قرار گرفت تا فلاگ‌ها تشکیل شوند پس از آن نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در حالت آرامش نگهداری شدند تا فلاگ‌ها ته‌نشین شوند. در مرحله بعد توسط پمپ در محیط آزمایشگاه آب حاصل از لجن ته‌نشین شده جدا و به بشر دیگری منتقل شد.

۵.۲. پیاده‌سازی فرایند بازچرخانی تصفیه پساب به روش پلی‌الکترولیت در تصفیه‌خانه هفتم آب تهران

فرایند بازچرخانی و استفاده دوباره از پساب در تصفیه‌خانه آب با توجه به رویکرد تعریف شده براساس فرایند لخته‌سازی توسط پلی‌الکترولیت، پس از تصویب طرح توسط کمیته پژوهش و نتایج آزمایشگاهی و موافقت کمیته فنی به صورت آزمایشی در مدول اول تصفیه‌خانه شماره هفت تهران، در سه مرحله به شرح ذیل اجرا شد.

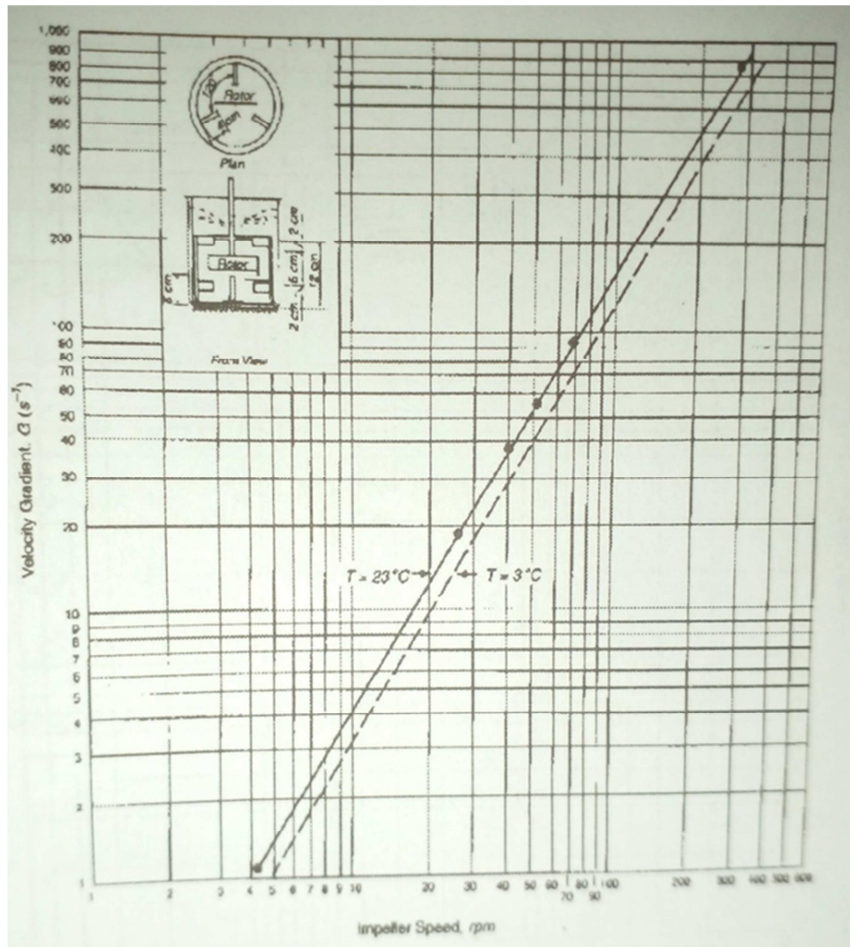


Figure 4. Laboratory gradient curve for a flat vane stirrer in a circular jar

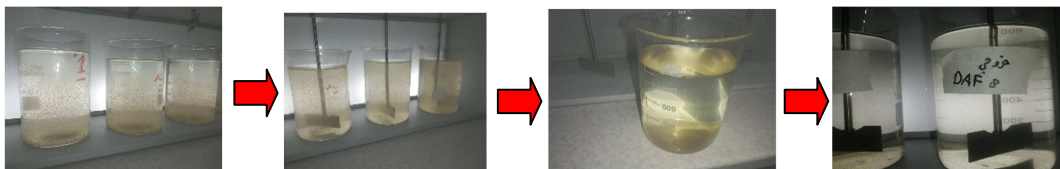


Figure 5. Flocculation steps of the effluent of the seventh drinking water treatment plant in Tehran in the laboratory

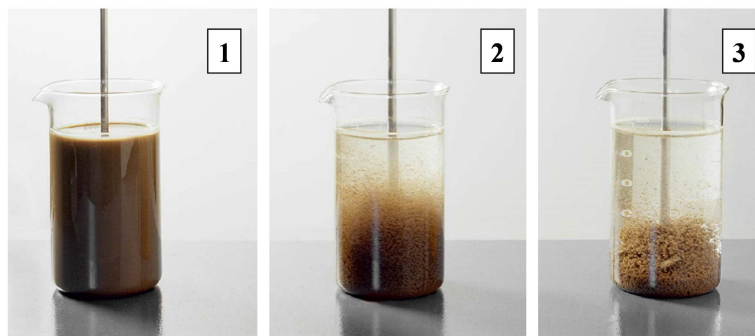


Figure 6. Overview of flocculation

مرحله اول: پساب تولیدشده از تصفیه‌خانه آب به بخش اکولایزیشن یا مخزن همگن ساز منتقل می‌شود، در این بخش پساب در داخل مخزن، به وسیله پمپ‌هایی، به هم زده می‌شود تا از ته‌نشینی لجن جلوگیری شود و به صورت همگن درآید.

مرحله دوم: در این مرحله، کمک منعقدکننده‌ها یا همان پلی‌الکترولیت‌ها افزوده شده و دوباره هم‌زده می‌شوند و به مخزن دوم در این مرحله منتقل می‌شوند تا فرایند لخته‌سازی شروع شود و فلاگ‌ها تشکیل شوند. سپس فلاگ‌های به‌وجودآمده، ته‌نشین شده و از آب حاصل جدا می‌شوند.

مرحله سوم: در این مرحله آب حاصل از مرحله قبل، به مخزن آرامش و مخزن نگهداری منتقل می‌شوند تا بتوان با زمان‌بندی و دبی مشخص به ابتدای خط آب خام تصفیه‌خانه منتقل شود.

مرحله چهارم: در این مرحله لجن یا فلاگ‌های حاصل از مرحله دوم، به بسترهای لجن خشک‌کن منتقل می‌شوند. پس از موافقت کمیته پژوهش شرکت آب و فاضلاب با پیشنهاد طرح مذکور، مطالعات میدانی جهت جانمایی و امکان‌سنجی به لحاظ شرایط محیطی و زمین مناسب، انجام شد و پس از گذراندن مراحل اداری، مراحل اجرایی و پیاده‌سازی این فرایند توسط پیمانکار، در تصفیه‌خانه شماره هفت آب شرب تهران انجام شد. این مراحل در سال ۱۳۹۸ در مدول اول به بهره‌برداری رسید. در شکل (۷) فرایند بازچرخانی در تصفیه‌خانه شماره هفت تهران نمایش داده شده است.

۳. نتایج و بحث

با وجود این‌که روش‌های گوناگونی برای بازچرخانی و استفاده دوباره از پساب تصفیه‌خانه‌های آب وجود دارد در کشور ایران به آن توجه خاصی نشده است. در تصفیه‌خانه‌های آب تهران تاکنون روش‌هایی هم‌چون فیلترپرس، میکرواسترینر، فیلترهای سرامیکی و لاگن‌های تبخیری جهت تصفیه پساب موردبررسی و آزمون واقع شده‌اند که هر کدام از روش‌ها دارای نقاط قوت و ضعفی هستند. در جدول (۱) ارزیابی مقایسه‌ای بین این روش‌ها انجام شده است.



Figure 7. Aerial image of the seventh Tehran water treatment plant



Figure 8. Stages of wastewater treatment of the seventh drinking water treatment plant in Tehran

Table 1. Comparison of sludge treatment process types

Sort	Type of wastewater treatment	Advantages	Disadvantages
1	Filter press	High efficiency of sludge treatment. Need less space	High energy consumption. High fraternity interest cost Need to rinse the machine again with water
2	Micro strainer	Easy to operate No need for special structures and large land	High maintenance cost High energy consumption Clogged pores by concentrated sludge particles
3	Ceramic filter	High efficiency. No need for a sludge dryer bed. Do not spend high energy	High cost of porous ceramics Rinse the ceramics with water High maintenance cost
4	Evaporative lagoon	No high maintenance costs Do not spend high energy	Low efficiency- Need a suitable place and land to execute the structure- Requires a long time to settle the sludge-Sludge discharge every year- High maintenance cost
5	Polyelectrolyte	High efficiency- Low time for sludge deposition- Easy operation- No high energy consumption- Long life	Need for land to execute the structure

از مقایسه فرایندها در جدول (۱) می‌توان به این نتیجه رسید که روش پلی‌الکترولیت در تصفیه لجن، دارای مزایای بیشتری نسبت به سایر روش‌ها است و بازدهی بیشتری در طول فرایند تصفیه لجن، دارد. البته این روش دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد که مهم‌ترین آن مسئله مکان اجرای پروژه به لحاظ محدودیت زمین در شهر تهران است. مسئله دوم حمل لجن از تصفیه‌خانه به بیرون است که باید طبق استانداردهای سازمان محیط زیست در تمامی زمینه‌های

نقل و انتقال از مبدأ تا مقصد باید رعایت شود. مسئله سوم استفاده بیش از حد از پلی‌الکترولیت، موجب بروز بیماری‌هایی همچون سرطان می‌شود. با توجه به این‌که این روش تاکنون در تصفیه‌خانه‌های آب شرب کشور هنوز اجرا نشده است، نمی‌توان مقایسه‌ای بین تهران و سایر شهرها انجام داد.



(A)



(B)

Figure 9. (A) Press and (B) Ceramic filters



Figure 10. Micro strainer

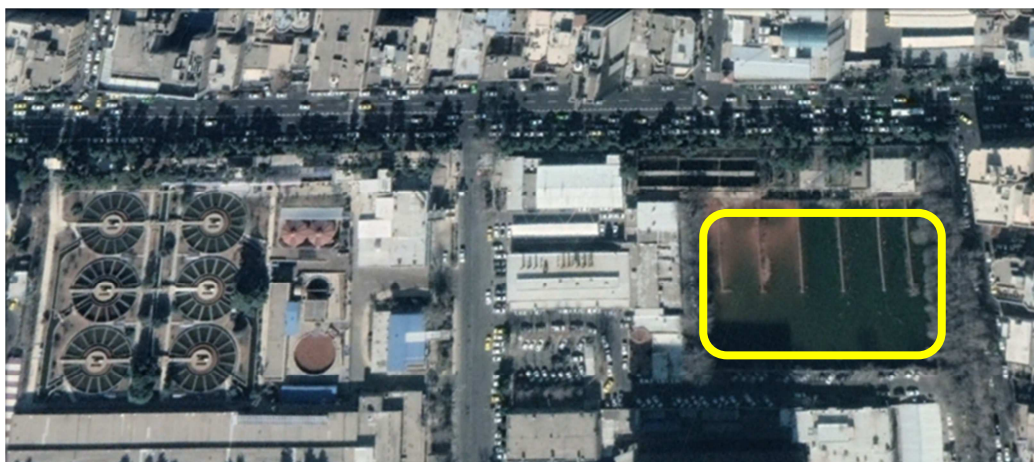


Figure 11. Evaporative lagoon system

ارزیابی میزان مقدار تولید پساب در یک دوره چهار ساله در جدول (۲) آنالیز شده است. تا نیمه نخست سال ۹۸ فقط یک مدول از تصفیه‌خانه هفتم در مدار بهره‌برداری با تولید شش میلیون و ۴۰۰ مترمکعب آب در ماه قرار داشت و پس از آن مدول دوم نیز وارد مدار بهره‌برداری شد که علت اختلاف احجام در جدول (۳) به این علت می‌باشد. به‌منظور تعیین میزان پساب تولیدی در تصفیه‌خانه هفتم بر اثر تغییر فرایند تصفیه آب با استفاده از دیتاهای ابزار دقیق نصب‌شده در محل، اندازه‌گیری در حوضچه‌ها و برآورد میزان پساب در مدار آنالیز انجام گرفت.

به‌طور متوسط حدود ۸۵ درصد پساب تولیدی در تصفیه‌خانه‌های آب، ناشی از شست‌وشوی فیلترها و مابقی آن ناشی از تخلیه زلال‌سازها در سیستم تصفیه است. حجم آب شست‌وشوی معکوس معمولاً سه تا پنج درصد دبی تولیدی تصفیه‌خانه است. یکی از مسائل مهم در بحث مدیریت پساب تصفیه‌خانه، تخمین صحیح از میزان پساب تولیدی و به‌کارگیری روشی جهت کاهش تولید آن است. میزان تولید پساب را می‌توان هم براساس اجرای تجهیزات ابزار دقیق مانند فلومتر در خروجی زلال‌سازها و صافی‌های شنی اندازه‌گیری کرد. در این شرایط تصفیه‌خانه هفتم که هر مدول آن ۲/۵ مترمکعب در ثانیه توان تولید را دارد حجمی بالغ بر ۷/۷۷ میلیون مترمکعب تولید پساب را خواهد داشت. مقایسه مقدار پساب تولیدشده در تصفیه‌خانه هفتم، پس از نصب سامانه تصفیه پساب، با سایر تصفیه‌خانه‌های آب تهران می‌تواند کمک شایانی به روشن‌تر شدن مقدار تولید پساب در کل شهر تهران نماید. همان‌گونه که در جدول (۳) دیده می‌شود میزان آب ورودی به سایر تصفیه‌خانه‌های تهران و تولید پساب آن‌ها تا قبل از سال ۹۸ با مقیاس سالانه به‌دست آمده است. برای روشن‌تر شدن این مقایسه می‌توان از تشابه تولید پساب تصفیه‌خانه‌های پنج و هفت تهران که شبیه به هم هستند، کمک گرفت.

Table 2. Maximum and average amounts of effluent produced per month in the seventh treatment plant

Statistical parameter	Effluent Volume (M ³ /m)				Inlet water (M ³ /m)			
	Years							
	1396	1397	1398	1399	1396	1397	1398	1399
Max	311040	324000	19440	38880	6220800	6480000	6480000	12960000
Medium	259200	321408	19051	38102	5184000	6428160	6350400	12700800

Table 3. The volume of water entering the 7 treatment plants in Tehran and wastewater production. Before the year 98

Effluent volume Cubic meters per year	Water production volume Cubic meters per year	Tehran water treatment plants
4199040	83980800	1
13996800	279936000	2
12441600	248832000	3 & 4
7776000	155520000	5
4665600	93312000	6
7776000	155520000	7
50544000	1010880000	Total

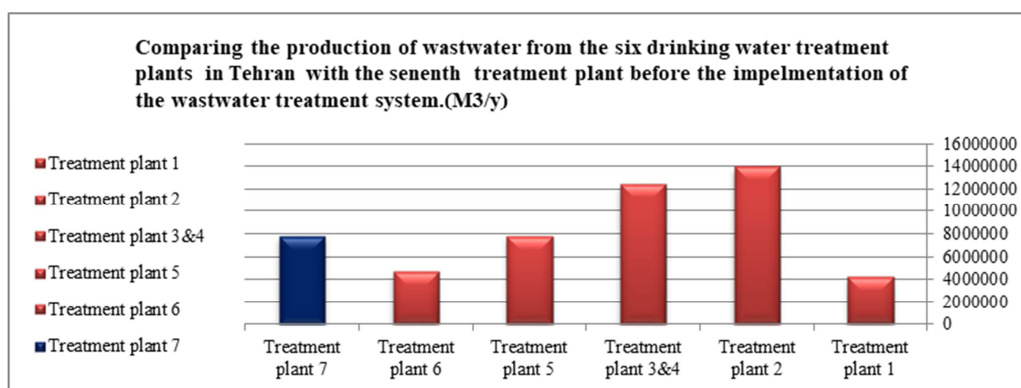


Figure 12. Comparison of the effluent of 6 water treatment plants in Tehran with the treatment plant of 7 Tehran before the implementation of the effluent treatment system of the seventh treatment plant

همان‌گونه که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود، مقدار تولید پساب در هر یک از تصفیه‌خانه‌های آب پنج و هفت قبل از اجرای فرایند تصفیه پساب تصفیه‌خانه هفتم بالغ بر هفت میلیون مترمکعب در سال است. بعد از اجرای فرایند بازچرخانی در تصفیه‌خانه هفتم نیز مقدار تولید پساب اندازه‌گیری شد و مطابق شکل (۱۳) کاهش چشم‌گیری در تولید پساب حاصل شد. حجم تولید پساب تصفیه‌خانه از مقدار ۷۷۷۶۰۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۹۷ به مقدار ۳۱۱۰۴۰ مترمکعب رسید که این رقم برابر با ۰/۳ درصد حجم آب ورودی تصفیه‌خانه می‌باشد.

مطابق جدول (۴) در صورت اجرای این فرایند در سایر تصفیه‌خانه‌ها، مقدار ۵۰ میلیون مترمکعب پساب حاصل به سه میلیون متر مکعب در سال کاهش داده می‌شود که این حجم آب، کمک شایانی در تعادل‌بخشی منابع آب خواهد داشت.

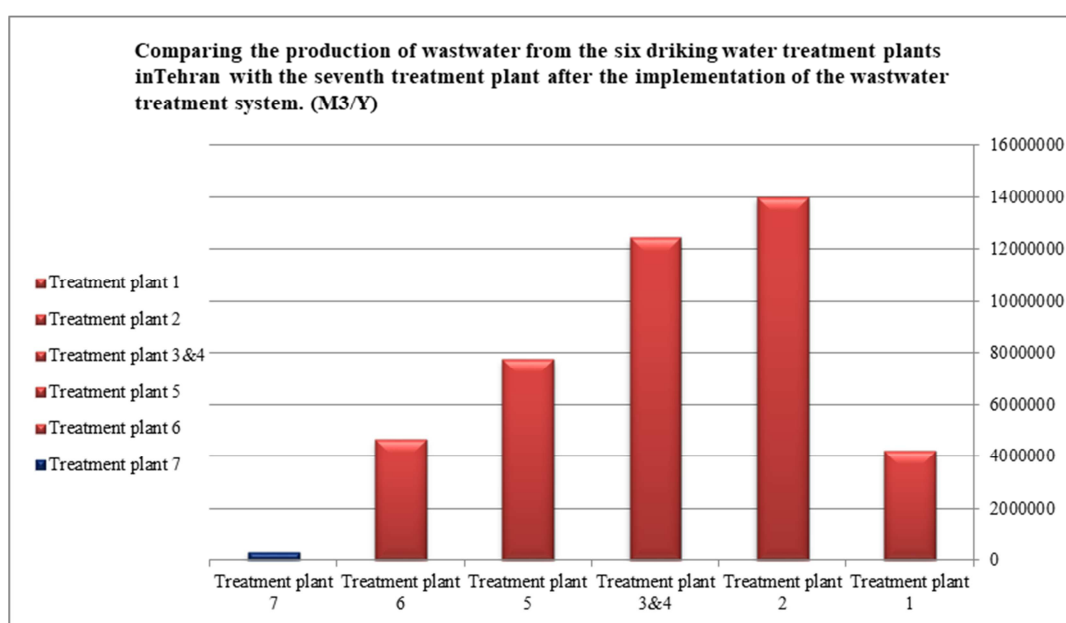


Figure 13. Comparison of effluent production of 6 water treatment plants with the seventh treatment plant after the implementation of the wastewater treatment system

Table 4. Estimation of effluent production in conditions with changing treatment process - cubic meters per year

Effluent production volume in terms of system upgrade	Effluent volume in pre-upgrade conditions	Water production volume	Tehran water treatment plants
251942.4	4199040	83980800	1
839808	13996800	311040000	2
746496	12441600	248832000	3 & 4
466560	7776000	155520000	5
279936	4665600	93312000	6
466560	7776000	155520000	7
3051302.4	50855040	1010810000	Total

۴. نتیجه‌گیری

وضعیت بهره‌برداری از تصفیه‌خانه هفتم آب شرب تهران نشان می‌دهد که در این تصفیه‌خانه سالانه بیش از حجم ۱۵۵ میلیون مترمکعب آب وارد فرایند تصفیه می‌شود که از این حجم آب، بیش از هفت میلیون مترمکعب پساب تا

سال ۱۳۹۸ تولید می‌شد. با اجرای سیستم تصفیه پساب، حجم تولید پساب به کم‌ترین مقدار رسید. نتایج به‌دست‌آمده طی یک دوره چهار ساله اندازه‌گیری نشان می‌دهد که مقدار کلی تولید پساب از نظر حجمی، روند کاهشی دارد. به طوری که بیش‌ترین درصد تولید پساب اندازه‌گیری شده در تغییر فرایند تصفیه پساب، مربوط به سال ۹۷ و کم‌ترین میزان مربوط به سال ۹۹ با ۰/۳ درصد بوده است. با ایجاد یک سیستم تصفیه پساب در تصفیه‌خانه هفتم، تولید پساب به میزان ۷۴۶۴۹۶۰ مترمکعب در سال کاهش یافت. تغییر فرایند تصفیه آب در این تصفیه‌خانه که به صورت پایلوت مورد بهره‌برداری قرار گرفته است نشان می‌دهد که میزان پساب اندازه‌گیری شده به میزان ۰/۳ درصد کاهش یافته است و این موضوع حاکی از افزایش حجم آب قابل بهره‌برداری در این تصفیه‌خانه است.

بر این اساس پیش‌بینی و پیاده‌سازی این تغییر فرایند در سایر تصفیه‌خانه‌های آب شرب تهران مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که از کل حجم یک میلیارد مترمکعب آب ورودی به تصفیه‌خانه‌های آب شرب حدود ۵۰ میلیون مترمکعب آب به صورت پساب تولید و از دسترس خارج می‌شود. این حجم پساب در مقایسه با افزایش ارتقای کیفی تصفیه‌خانه‌ها در جهت تصفیه پساب، کاهش حدود ۴۸ میلیون مترمکعبی پساب و افزایش آب تحویلی در شبکه توزیع آب شهری را نشان می‌دهد. با توجه به نیاز آبی شهر تهران و حومه که برآوردهای سالانه مربوط به سال ۱۴۰۰ حاکی از نیاز یک و نیم میلیارد مترمکعب است، نشان می‌دهد که حدود پنج درصد از این حجم، پساب (۴۸ میلیون مترمکعب در سال)، قابلیت جایگزینی با چاه‌های آب شرب را دارد که عملاً امکان کاهش بهره‌برداری از آبخوان تهران - کرج را فراهم می‌سازد. اگر با فرض این که آبدهی هر چاه ۱۵ لیتر بر ثانیه باشد و با احتساب قطع برق و خارج از مدار بودن و افت دبی چاه، اگر هر چاه در ۲۴ ساعت فقط ۱۵ ساعت روشن باشد، از هر چاه می‌توان در سال ۳۸۸ هزار مترمکعب آب استحصال نمود. بنابراین برای تولید ۴۸ میلیون مترمکعب در سال، باید ۱۲۳ حلقه چاه، حفر و تجهیز شود. هزینه حفر و تجهیز یک حلقه چاه با عمق متوسط ۲۰۰ متر در تهران، برابر با دو میلیارد تومان است. یعنی هزینه حفر و تجهیز ۱۲۳ حلقه چاه برابر ۲۴۶ میلیارد تومان است. از طرفی اگر این حجم ۴۸ میلیون مترمکعب مدیریت شود، می‌توان بسیاری از چاه‌های برخی از مناطق تهران را از مدار خارج کرد، بدین ترتیب نقش به‌سزایی در تعادل بخشی منابع آبی زیرزمینی خواهد گذاشت. پیشنهاد این فرایند با توجه به وجود امکانات مکانی و سازه‌ای برای سایر تصفیه‌خانه‌های تهران داده شده است تا بتوان شاهد و کاهش مصرف آب از منابع آبی باشیم. این فرایند می‌تواند کمک شایانی در تعادل بخشی منابع آبی نماید.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Aqua-recyc
2. Coagulation
3. Flocculation
4. Sedimentation
5. Clarification
6. Aluminium sulfate
7. Iron(3) chloride
8. Polyelectrolyte

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع مورد استفاده

- AWWA. (1997). Criteria Development Water Treatment Plant Residual Mono-fills".
- Colson, G., & De Bruyn, C. (1989). Models and methods in multiple objectives decision making. In *Models and methods in multiple criteria decision making* (pp. 1201-1211). Pergamon.
- Dehghani, S., & Sohrab, F. (2016). Virtual Water Commerce Wastewater Use in Agriculture: Opportunities, Challenges and Solutions.
- Drew, D., Skitmore, M., & Lo, H. P. (2001). The effect of client and type and size of construction work on a contractor's bidding strategy. *Building and environment*, 36(3), 393-406.
- Geographical organization of the country. (2021). Comprehensive report.
- German company BHU. (2013). Report on wastewater treatment methods.
- Guitoun, A., & Martel, J.M. (1998). Tentative Guidelines to Help Choosing an Appropriate MCDA Method. *European Journal of Operational Research*, 109, 501-21.
- Heydari, A. (2019). Water resources management and wastewater recycling, a solution for drinking water supply in dry areas.
- Howard, R.A., & Matheson, J.E. (1984). Influence Diagrams. In: Howard RA, Decisions Group. PP. 720-62.
- Hwang, C. L., & Masud, A. S. M. (2012). *Multiple objective decision making—methods and applications: a state-of-the-art survey* (Vol. 164). Springer Science & Business Media.
- Kayhanian, M., & Tchobanoglous, G. (2018a). Potential application of reclaimed water for potable reuse: part 1- introduction to potable water reuse. *Journal of Water and Wastewater*, 116(4), 3-22. (In Persian)
- Lam, C., Leng, L., Chen, P., Lee, P., & Hsu, S. (2017). Eco-efficiency analysis of non-potable water systems in domestic Buildings, *Applied Energy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.095>
- Ministry of Energy, Tehran Water and Sewerage Company. (2021). Report on the supervision of the operation of the project.
- Nokes, C. (2008). An Introduction to Drinking water Contaminants, Treatment and Management for Users of the National Environmental Standard for Sources of Human Drinking Water. *Environmental Science and Research Ltd*.
- Razeghe, N., & Mansoori, R. (2015). Long-term water reuse planning *Water Recycling*, 2 (1), Spring 1931, 1-5 (In Persian)
- Razeghe, N., & Mansoori, R. (2016). Long-term planning for water reuse. *Journal of Water Recycling*, 2(1). (In Persian)
- Standard No. 1053. (2020). Characteristics of drinking water.
- Technical criteria for reviewing and approving urban water treatment plans. (2017). Journal 3-112 of *the Program and Budget Organization*.
- Wintgens, T., Bixio, D., Thoeye, C., Jeffrey, P., Hochstrat, R., & Melin, T. (2006). Reclamation and reuse of municipal wastewater in Europe-Current status and future perspectives. Analyzed by The *Aquarec Research Project*, http://Www.Iwrm-Net.Eu/Sites/Default/Files/Aquarec_Policy%20brief_Final_A4.Pdf.