POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

فرآیندهای مبتنی بر غشا مورد استفاده در تصفیه فاضلاب شهری برای استفاده مجدد از آب- پیشرفته‌ترین و تحلیل عملکردی

چکیده

استفاده مجدد از فاضلاب به عنوان یک مفهوم پایدار، قابل اعتماد و بازیابی انرژی به عنوان یک رویکرد امیدوارکننده برای کاهش کمبود آب در سراسر جهان است. با این حال، بازار استفاده مجدد از آب باید با تلاش‌های طولانی مدت توسعه یابد زیرا در حال حاضر تنها کمتر از 4% از کل فاضلاب در سراسر جهان برای استفاده مجدد از آب تصفیه شده است. علاوه بر این، آب بازیافتی باید معیارهای ایمنی بهداشتی، ظاهر، پذیرش زیست محیطی و امکان‌سنجی اقتصادی را بر اساس دستورالعمل‌های استفاده مجدد از آب محلی خود برآورده کند. علاوه بر این، فاضلاب شهری به عنوان یک منبع آب جایگزین برای استفاده مجدد غیر شرب یا قابل شرب، به طور گسترده‌ای توسط فرایندهای مختلف تصفیه غشایی برای کاربردهای مجدد، تصفیه شده است. با جمع‌آوری موارد استفاده مجدد در مقیاس آزمایشگاهی و آزمایشی تا حد امکان، هدف این بررسی، ارائه خلاصه‌ای جامع از فرایندهای تصفیه مبتنی بر غشا است که عمدتاً بر عملکرد فیلتراسیون هیدرولیکی، ظرفیت حذف آلاینده‌ها، هدف استفاده مجدد، پتانسیل مقاومت در برابر رسوب، بازیابی منابع و مصرف انرژی کمتر متمرکز است. پیشرفت‌ها و محدودیت‌های فرایندهای مختلف غشایی به تنهایی یا همراه با سایر فرایندهای ممکن مانند فرایندهای ضدعفونی و فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته نیز برجسته شده است. چالش‌های پیش روی فن‌آوری‌های مبتنی بر غشا برای کاربردهای استفاده مجدد از آب، از جمله موانع نهادی، تخصیص مالی و درک عمومی، به‌عنوان حوزه‌هایی بیان می‌شوند که نیاز به تحقیق و توسعه بیشتر دارند.

کلمات کلیدی: فرآیندهای غشایی[1]، استفاده مجدد از فاضلاب شهری[2]؛ کارایی ضد عفونی[3]؛ رسوب کردن[4]؛ بازیابی آب[5].

Keywords: membrane processes; municipal wastewater reuse; disinfection efficiency; fouling;

[1] Membrane Processes
[2] Municipal Wastewater Reuse
[3] Disinfection Efficiency
[4] Fouling
[5] Water Recovery

water recovery.

چالش‌ها، چشم اندازها و نتیجه‌گیری

درحالیکه استفاده مجدد از فاضلاب شهری یک رویکرد امیدوارکننده برای کاهش آلودگی آب و کاهش کمبود آب ارائه می‌شود، نسبت فاضلاب استفاده مجددشده بسیار کم است. حجم کل استفاده مجدد از آب تقریباً 14.2 billion m^3/y است که در بازار جهانی آب در سال ۲۰۱۷ گزارش شده است که کمتر از 4% از حجم کل فاضلاب خانگی (250-350 billion m^3/y) است [1-2]. در واقع، نسبت استفاده مجدد در بین کشورها و مناطق مختلف بر اساس شرایط واقعی به طور قابل توجهی متفاوت است. در مناطقی که دچار کم آبی شدید می‌باشند، مانند منطقه عربی، 23% از فاضلاب جمع‌آوری شده، بیشتر برای آبیاری و تغذیه آب زیرزمینی مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد [3]. دولت سنگاپور با اراده مستقل از تقاضای آب، به 40% استفاده مجدد از کل فاضلاب می‌رسد. برخی از کشورها مانند اسرائیل و تونس در استفاده مجدد از فاضلاب با نرخ استفاده مجدد بیش از 80% پیشتاز هستند. علاوه بر این، ایالات متحده آمریکا به عنوان پیشگام در مفاهیم و فناوری استفاده مجدد از زباله، بیش از یک پنجم ظرفیت آب استفاده مجدد را در سراسر جهان دارد، درحالیکه تنها نرخ ملی استفاده مجدد از آب را 9.7% ارائه می‌دهد. در اروپا، تقریباً 2.4% از کل پساب فاضلاب تصفیه شده شهری مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد. در این شرایط جهانی، رویکرد استفاده مجدد از آب، بازاری امیدوارکننده با پتانسیل بالا خواهد بود. همانطور که پارلمان اروپا با پیشنهاد خود در ماه می سال ۲۰۲۰ تخمین زد، افزایش استفاده مجدد از آب در آبیاری کشاورزی از 1.7 billion m^3/y به 6.6 billion m^3/y تا سال ۲۰۲۵ می‌تواند تنش آبی را تا 5% کاهش دهد [4]. به طور کلی، اجرای تاسیسات فاضلاب مستلزم هزینه سرمایه‌گذاری قابل توجهی است. تحت مدیریت یکپارچه منابع آب یک منطقه، اجرای استفاده مجدد از فاضلاب ممکن است به کمک‌های مالی یا یارانه‌های دولتی نیاز داشته باشد. متأسفانه، موانع نهادی، تخصیص مالی و اولویت‌های مختلف سازمانی می‌تواند پیشرفت پروژه‌های استفاده مجدد از آب را در برخی موارد دشوار کند.

در حال حاضر، تولید آب استفاده مجدد از تصفیه‌های مختلف مبتنی بر غشا اهداف متعدد مصرف آب را برآورده می‌کند. با این حال، تصمیم نهایی برای ترویج استفاده مجدد از فاضلاب به عوامل اقتصادی، مقررات و سیاست‌های دولتی و مهم‌تر از همه، پذیرش عمومی منعکس‌کننده تقاضای آب، امنیت و الزامات تامین آب قابل اطمینان در شرایط محلی بستگی دارد. دستورالعمل‌های استفاده مجدد از فاضلاب حتی برای همان هدف استفاده مجدد از آب در جهان یکسان نمی‌باشد. "راهنمای استفاده ایمن از پساب، فضولات و آب خاکستری در کشاورزی و آبزی پروری" که توسط WHO در سال ۲۰۰۶ منتشر شد، به عنوان مرتبط‌ترین سند تنظیم‌کننده استفاده مجدد از فاضلاب در نظر گرفته می‌شود که به طور گسترده توسط بسیاری از کشورها پذیرفته‌شده یا به آن اشاره شده است [5] . علاوه بر این، برخی کشورها استانداردهای استفاده مجدد قوی‌تری را ایجاد می‌کنند که تضمین‌های بیشتری

برای استفاده مجدد ایمن ارائه می‌کند. به عنوان مثال، استاندارد استفاده مجدد در کشور فرانسه، تنظیم میکروارگانیسم‌ها، از جمله انتروکوک مدفوعی[1]، فازهای خاص FNA و اسپور باکتری‌های بی‌هوازی سولفاته[2] را نسبت به WHO تکمیل می‌کند [6]. با این حال، پس از بررسی مقاله نوشته‌شده توسط M. Gurel و همکارانش [7]، مشاهده می‌شود که در ایالات متحده، محدودیت‌های کیفیت از یک ایالت به ایالت دیگر متفاوت است و اجرای یک استاندارد واحد به دلیل شرایط ملی و/یا محلی دشوار به نظر می‌رسد. به موازات شواهد علمی و فناوری‌های پیشرفته، بهبود مستمر استانداردها و دستورالعمل‌های استفاده مجدد موجود با بازنگری/گسترش ضروری است. علاوه بر این، کنترل و نظارت در هنگام استفاده مجدد به همراه بازخورد عمومی برای ارزیابی ایمنی ضروری می‌باشد. همچنین شایان به ذکر است که اختلافات فرهنگی و مذهبی افکار عمومی و پذیرش استفاده مجدد از پساب را، جهت می‌دهد. علاوه بر این، برخی از کشورهای در حال توسعه هنوز استفاده مستقیم از پساب تصفیه‌شده را بدون مطابقت با استانداردها و خطرات مرتبط اجرا می‌کنند. در این صورت پیشنهاد می‌شود استانداردهای کیفی فاضلاب به صورت گام به گام، در بازه‌های زمانی مناسب و با توجه به قابلیت‌های تصفیه برای کشورهای در حال توسعه وضع شود.

فرایندهای ضدرسوب همیشه کانون تحقیقاتی در فیلتراسیون غشایی است. در این زمینه، یک روش تمیزکردن دوره‌ای برای هر سیستم فیلتراسیون غشایی ضروری است. علاوه بر این، بسیاری از مطالعات بر تقویت روش‌های ضد رسوبی غشاها با انتخاب مونومرهای جدید، بهبود فرایند پلیمریزاسیون سطحی، غشای ترکیبی آلی/غیر آلی، و به طور ویژه، اصلاح سطح غشاهای معمولی با روش‌های فیزیکی و شیمیایی متمرکز شده‌اند[8-10]. به‌طور کلی، عملکرد نفوذ غشا اصلاح‌شده را می‌توان به طور قابل توجهی بدون از بین بردن خواص نگهداری آن بهبود بخشید و عملکرد ضد رسوبی آن نسبت به حالت اصلاح نشده مطلوب‌تر می‌باشد [11-12]. بنابراین، غشای اصلاح‌شده یک گزینه امیدوارکننده برای تصفیه آب تولید شده است، به ویژه اگر در زمینه استفاده مجدد از فاضلاب یا مطابق با مقررات دفع استفاده شود.

تغییرات کیفیت فاضلاب از نظر سبک زندگی، تغییرات فصلی و دوره‌های اوج مصرف، در نهایت می‌تواند بر عملکرد تصفیه، مانند کیفیت پساب، نرخ بار آلی و مکانیسم‌های رسوب تاثیر بگذارد [13-15]. علاوه بر این، اگرچه بسیاری از مطالعات همانطور که در بخش‌های آخر ذکر شد، اهداف استفاده مجدد را با موفقیت به دست آوردند، گزارش‌های منتشر شده هنوز فاقد عملیات طولانی‌مدت و/یا مقیاس بزرگ (مقیاس صنعتی) و نظارت بر عملکرد فیلتراسیون و بهینه‌سازی استراتژی‌های کنترل رسوب می‌باشند. در این موارد، مطالعات باید بسیار دقیق‌تر بر

[1] anaerobic bacteria
[2] Spore of sulfating anaerobic bacteria

شرایط واقعی فاضلاب مورد نظر متمرکز شود، تا حد امکان عوامل تاثیر بالقوه را مورد توجه قرار دهد و شرایط عملیاتی را تحت شرایط غیر ایده‌آل بهینه‌سازی کند.

با انجام تحقیقات طولانی مدت، می‌توان به طور منطقی پیش‌بینی کرد که استفاده مجدد از آب غیرقابل شرب، به احتمال زیاد موفقیت‌آمیز بوده و میزان آشنایی و اعتماد مورد نیاز مردم برای پذیرش را ایجاد می‌کند [16]. در بازار جهانی استفاده مجدد از آب، 97.7% از تولید آب برای مصارف غیر شرب مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد که 52% آن برای آبیاری و 20% برای چرخش مجدد آب در فرایندهای صنعتی است. از سوی دیگر، تنها 2.3% از تولید آب برای مصارف آشامیدنی و بیشتر برای استفاده مجدد غیرمستقیم قابل شرب استفاده می‌شود [17]. به عنوان مثال، NEWater اعلام کرد در برنامه استفاده مجدد از آب آشامیدنی سنگاپور، نمی‌توان مستقیماً مورد استفاده قرار داد، در عوض، قبل از اینکه به طور جمعی در تصفیه‌خانه‌های آب برای استفاده آشامیدنی تصفیه شود، باید در مخازن تخلیه شود تا با آب باران مخلوط شود [18]. دلیل پایین بودن توزیع استفاده مجدد از آب آشامیدنی (2.3%) عمدتاً می‌تواند ناشی از نگرانی‌های عمومی در مورد خطرات بهداشتی و هزینه گران فرایندهای تصفیه پیشرفته باشد. با این حال، تولید آب کاملا تصفیه‌شده، زمانی که با موفقیت در کاربردهای عملی‌تر مورد استفاده قرار گیرد (به عنوان مثال، آب آشامیدنی)، ممکن است حمایت کافی برای جبران هزینه‌های بالای تصفیه را به دست آورد. در فرایند جمع‌آوری مراجع، مقالات تحقیقاتی منتشرشده بیشتری یافته شد که بر فرایندهای NF/RO با هدف دستیابی به سطوح قابل قبول استفاده مجدد آب قابل شرب، در مقایسه با فرایندهای تصفیه مبتنی بر MF/UF/MBR تمرکز داشتند. با توسعه علم پیشرفته، که با افزایش تقاضا برای آب آشامیدنی با کیفیت بالا، رشد جمعیت و منابع محدود هدایت می‌شود، انتظار می‌رود که در آینده شاهد گسترش کاربردهای استفاده مجدد از آب آشامیدنی، به‌ویژه در مناطق کم‌آب باشیم [19]. این امر مستلزم دسترسی مطمئن به اطلاعات علمی معتبر برای عموم، تصمیم گیرندگان و رسانه‌های محلی، به منظور بهبود درک منابع آب در منطقه و تجزیه و تحلیل هزینه‌ها/منافع گزینه‌های تصفیه آب می‌باشد.

در نهایت، چندین مطالعه ارزیابی چرخه حیات احیای فاضلاب را به‌عنوان یک رویکرد غیرمتمرکز برای مدیریت فاضلاب شهری انجام داده‌اند [20-22]. آن‌ها تاکید کردند که احیای فاضلاب محلی از نظر زیست محیطی نسبت به سیستم متمرکز مشترک، به‌ویژه برای مصارف غیر شرب، کشاورزی و شهری، با مزیت‌های زیست محیطی و اقتصادی، ارجحیت دارد. استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده به ویژه زمانی مفید است که بتواند جایگزین آب شیرین شده گردد [23]. بنابراین، ارزیابی چرخه حیات جامع تکنیک‌های مبتنی بر غشا در تصفیه فاضلاب شهری، به‌ویژه در سناریوهای مختلف (کشورهای در حال توسعه در مقابل کشورهای توسعه یافته؛ کشورهایی که با کمبود آب مواجه هستند در مقابل کشورهای دارای آب کافی؛ کشورهایی که برق به عنوان منبع انرژی دارند در مقابل کشورهای دارای انرژی تجدید پذیر کافی) باید انجام شود.

این مقاله، توضیحی جامع در زمینه وضعیت جهانی استفاده مجدد از آب، مقررات استفاده مجدد و عملکرد تصفیه مبتنی بر غشا در استفاده مجدد از فاضلاب شهری ارائه می‌دهد. فرایندهای تصفیه مبتنی بر غشا، مانند فیلتراسیون غشایی مستقیم و سیستم‌های غشایی هیبریدی، عمدتاً در این بررسی ارزیابی شده‌اند. مزایا و محدودیت‌های آن‌ها در اهداف استفاده مجدد، در جدول فهرست شده است. فرایندهای جداسازی غشایی اغلب کیفیت برتری را نسبت به فاضلاب تصفیه‌شده برای برآورده کردن دستورالعمل‌های استفاده مجدد محلی ارائه می‌دهند. این کار بر عملکرد فرایندهای مختلف تصفیه مانند: ظرفیت حذف آلاینده‌ها، حذف میکروارگانیسم‌ها، پتانسیل رسوب غشایی، بهره‌وری، اهداف استفاده مجدد، نرخ بازیافت آب و مصرف انرژی، تأکید کرد. علاوه بر این، تحقیقات آینده با تمرکز بر حذف میکروآلاینده، استراتژی‌های مکانیسم رسوب[1]، بازیابی منابع و ارزیابی چرخه عمر استراتژی‌های تصفیه شهری مبتنی بر غشا، برای کاربردهای آب قابل شرب و غیر قابل شرب، همچنان به بررسی سیستماتیک بیشتری نیاز خواهد داشت.

Reference

Yang J, Monnot M, Ercolei L, Moulin P. Membrane-based processes used in municipal wastewater treatment for water reuse: state-of-the-art and performance analysis. Membranes. 2020 Jun 25;10(6):131.

DOI: http://dx.doi.org/10.3390/membranes10060131

Other Reference

1. Lautze J, Stander E, Drechsel P, da Silva AK, Keraita B. Global experiences in water reuse. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 2014.
2. Tejero IF, Zuazo VH, editors. Water scarcity and sustainable agriculture in semiarid environment: tools, strategies, and challenges for woody crops. Academic Press; 2018 Jan 3.
3. Water UN. Wastewater—The untapped resource; The United Nations world water development report; 2017.
4. European Parliament. European Parliament Legislative Resolution of 13 May 2020 on the Council Position at First Reading with a View to the Adoption of a Regulation of the European Parliament and of the Council on Minimum Requirements for Water Reuse (15301/2/2019–C9-0107/2020–2018/0169 (COD)).
5. European Parliament. European Parliament Legislative Resolution of 13 May 2020 on the Council Position at First Reading with a View to the Adoption of a Regulation of the European Parliament and of the Council on Minimum Requirements for Water Reuse (15301/2/2019–C9-0107/2020–2018/0169 (COD)).
6. Yang J, Monnot M, Ercolei L, Moulin P. Membrane-based processes used in municipal wastewater treatment for water reuse: state-of-the-art and performance analysis. Membranes. 2020 Jun 25;10(6):131.

[1] Fouling Mechanism Strategies

7. Ait-Mouheb N, Bahri A, Thayer BB, Benyahia B, Bourrié G, Cherki B, Condom N, Declercq R, Gunes A, Héran M, Kitir N. The reuse of reclaimed water for irrigation around the Mediterranean Rim: a step towards a more virtuous cycle? Regional environmental change. 2018 Mar;18: 693-705.
8. Gurel M, Iskender G, Ovez S, Arslan-Alaton I, Tanik A, Orhon D. A global overview of treated wastewater guidelines and standards for agricultural reuse. Fresenius Environmental Bulletin. 2007 Jan 1;16(6):590-5.
9. Li Y, Su Y, Zhao X, Zhang R, Liu Y, Fan X, Zhu J, Ma Y, Liu Y, Jiang Z. Preparation of antifouling nanofiltration membrane via interfacial polymerization of fluorinated polyamine and trimesoyl chloride. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2015 Aug 26;54(33):8302-10.
10. Kang GD, Cao YM. Development of antifouling reverse osmosis membranes for water treatment: A review. Water research. 2012 Mar 1;46(3):584-600.
11. Rana D, Matsuura T. Surface modifications for antifouling membranes. Chemical reviews. 2010 Apr 14;110(4):2448-71.
12. Alzahrani S, Mohammad AW. Challenges and trends in membrane technology implementation for produced water treatment: A review. Journal of Water Process Engineering. 2014 Dec 1;4:107-33.
13. Li YS, Yan L, Xiang CB, Hong LJ. Treatment of oily wastewater by organic–inorganic composite tubular ultrafiltration (UF) membranes. Desalination. 2006 Sep 5;196(1-3):76-83.
14. Rashid SS, Liu YQ. Assessing environmental impacts of large centralized wastewater treatment plants with combined or separate sewer systems in dry/wet seasons by using LCA. Environmental Science and Pollution Research. 2020 May;27(13):15674-90.
15. Aygun A, Nas B, Berktay A. Influence of high organic loading rates on COD removal and sludge production in moving bed biofilm reactor. Environmental Engineering Science. 2008 Nov 1;25(9):1311-6.
16. Santasmasas C, Rovira M, Clarens F, Valderrama C. Grey water reclamation by decentralized MBR prototype. Resources, conservation and recycling. 2013 Mar 1;72:102-7.
17. Marks JS. Taking the public seriously: the case of potable and non potable reuse. Desalination. 2006 Feb 5;187(1-3):137-47.
18. Aitken V, Bell S, Hills S, Rees L. Public acceptability of indirect potable water reuse in the south-east of England. Water Science and Technology: Water Supply. 2014 Oct 1;14(5):875-85.
19. Yang J, Monnot M, Ercolei L, Moulin P. Membrane-based processes used in municipal wastewater treatment for water reuse: state-of-the-art and performance analysis. Membranes. 2020 Jun 25;10(6):131.
20. Burgess J, Meeker M, Minton J, O'Donohue M. International research agency perspectives on potable water reuse. Environmental Science: Water Research & Technology. 2015;1(5):563-80.
21. Meneses M, Pasqualino JC, Castells F. Environmental assessment of urban wastewater reuse: Treatment alternatives and applications. Chemosphere. 2010 Sep 1;81(2):266-72.

22. Pasqualino JC, Meneses M, Castells F. Life cycle assessment of urban wastewater reclamation and reuse alternatives. Journal of Industrial Ecology. 2011 Feb;15(1):49-63.
23. Jeong H, Broesicke OA, Drew B, Crittenden JC. Life cycle assessment of small-scale greywater reclamation systems combined with conventional centralized water systems for the City of Atlanta, Georgia. Journal of Cleaner Production. 2018 Feb 10;174:333-42.

مترجم: علیرضا کرفی