POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

حذف آلاینده‌های نگران‌کننده در حال ظهور توسط غشا در زمینه آب و فاضلاب: یک بررسی به روز-شده

چکیده

این مطالعه، حذف آلاینده‌های نگران‌کننده در حال ظهور توسط غشاها در آب و فاضلاب را بررسی می‌کند که در سال ۲۰۱۸ بسیار مورد توجه قرار گرفت. این مطالعه، بررسی گسترده‌ای از فناوری‌های غشایی-به‌ویژه، اسمز مستقیم[۱](FO)، اسمز معکوس[۲](RO)، نانوفیلتراسیون[۳](NF)، اولترافیلتراسیون[۴](UF) و میکروفیلتراسیون[۵](MF) - به عنوان راه حل‌های قوی که می‌تواند برای هدف قرار دادن آلاینده‌های نگران‌کننده در حال ظهور[۶] (CECs) در تصفیه آب و فاضلاب استفاده شود. مقاله حاضر با تاکید بر فوریت حفظ کیفیت آب در میان افزایش تقاضا و نگرانی‌های مربوط به CEC، بر نیاز حیاتی برای به دست آوردن درک جامع‌تر از اثرات CEC، استراتژی‌های موثر برای حذف آن‌ها و اقدامات نظارتی ضروری تاکید می‌نماید. تأثیر متقابل بین خواص غشا، شرایط عملیاتی و آلاینده‌ها بر اهمیت طراحی غشا و بهینه‌سازی مناسب در دستیابی به حذف کارآمد CEC تأکید می‌کند. هدف اصلی این مطالعه، ایجاد دانش موجود در زمینه تصفیه غشایی CECها و برجسته‌کردن مسیرهای تحقیقاتی آینده بود. این مقاله نه‌تنها پیشرفت‌های اخیر به‌دست‌آمده را ترکیب می‌کند، بلکه راه‌های تحقیقاتی حیاتی، از جمله اصلاحات سطح پیشرفته، مواد جدید، پارامترهای عملیاتی بهینه و ملاحظات پایداری را برجسته می‌کند. دستیابی به گام‌های آینده در این زمینه‌ها احتمالاً کارایی و پایداری فناوری‌های غشایی را در مبارزه با CEC در سیستم‌های آب افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آلاینده‌های نگران‌کننده نوظهور، اسمز مستقیم، نانوفیلتراسیون، اسمز معکوس، اولترافیلتراسیون، تصفیه آب و فاضلاب[۷].

---

[1] Forward Osmosis
[2] Reverse Osmosis
[3] Nanofiltration
[4] Ultrafiltration
[5] Microfiltration
[6] Contaminants Of Emerging Concern
[7] Water And Wastewater Treatment

Keywords: Contaminants of emerging concern, Forward osmosis, Nanofiltration, Reverse osmosis, Ultrafiltration, Water and wastewater treatment.

نتیجه گیری و زمینه های تحقیقات آینده

در پی حفظ کیفیت آب در میان فشارهای دوگانه تقاضای فزاینده و نگرانی‌ها در زمینه CECها، یافتن راه-حل‌های جامع ضروری است. بررسی حاضر بر ضرورت درک تأثیرات CEC بر سیستم‌های آب، حمایت از استراتژی‌های حذف مؤثر و اقدامات نظارتی تأکید می‌کند. فن‌آوری‌های غشایی، مانند - FO، RO، NF، UF، و MF- به عنوان ابزارهای امیدوارکننده‌ای برای حفظ کیفیت آب ظاهر می‌شوند، بنابراین تحقیقات مداوم و اقدامات پیشگیرانه برای حفظ این منبع حیاتی برای نسل‌های آینده ضروری است. درک عوامل محوری مؤثر بر اثربخشی غشاهای FO در حذف CEC ضروری است. خواص فیزیکوشیمیایی به طور قابل توجهی جذب CEC را بر غشاهای FO تعیین می‌کند، جایی که برهمکنش‌های آبگریز به‌ویژه برای CECهای خنثی، غالب است. عواملی مانند وزن مولکولی و آبگریزی با افزایش دفع و جذب مرتبط هستند. علاوه بر این، شرایط کیفیت آب، مانند pH و غلظت املاح، به‌ویژه بر عملکرد غشا و رسوب‌زدگی تأثیر می‌گذارد. خواص غشا و شرایط عملیاتی، از جمله انتخاب املاح و فعالیت‌های میکروبی نیز بر حذف CEC و دینامیک رسوب غشا تأثیر می‌گذارد. این پیچیدگی‌ها نیاز به ملاحظات دقیق در طراحی سیستم و پارامترهای عملیاتی برای بهینه‌سازی فرایندهای FO را برجسته می‌سازد. کارایی غشاهای RO در حذف CECها به عوامل موثر مختلفی بستگی دارد: به عنوان مثال، خواص مولکولی مانند اندازه، آبگریزی و بار به طور قابل توجهی مکانیسم‌های حذف CEC، از جمله حذف اندازه، برهمکنش‌های آبگریز و دافعه‌های الکترواستاتیک را برجسته می‌کنند. شرایط کیفیت آب، از جمله pH، غلظت نفوذی و فشار نیز نقش مهمی در راندمان حذف CEC ایفا می‌کنند، بنابراین بر تعاملات الکترواستاتیکی و حذف بر اساس اندازه تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این، ویژگی‌های غشایی مانند تغییرات سطحی و آب دوستی متفاوت بر نفوذپذیری، نرخ دفع و تمایل به رسوب‌پذیری تأثیر می‌گذارد. غشاهای RO رفتار پیچیده‌ای را نشان می‌دهند که بر اساس ساختار، آب‌دوستی و ویژگی‌های سطحی شکل می‌گیرد، بنابراین اثربخشی خود را در حذف CECهای مختلف شکل می‌دهد. کارایی غشاهای NF در حذف CECها به عوامل متعددی بستگی دارد. در حالی‌که آلاینده‌های آبگریز به طور کلی نرخ حذف بالایی را نشان می دهند اما ترکیبات آبدوست کارایی متفاوتی را نشان می‌دهند که تحت تأثیر پارامترهایی مانند زمان نگهداری لجن[1] (SRT) و زمان نگهداری هیدرولیک[2] (HRT) قرار می‌گیرند. مطالعات موجود بر رفتار انتخابی ترکیباتی مانند ایبوپروفن تأکید می‌کنند که اهمیت هندسه مولکولی را در جذب سطحی

[1] sludge retention times
[2] hydraulic retention time

نشان می‌دهد. شرایط کیفیت آب، به ویژه pH، به‌طور قابل توجهی بر حذف دارویی تأثیر می‌گذارد و در نتیجه بر فعل و انفعالات آبگریز و دافعه الکترواستاتیک تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، ویژگی‌های غشای NF، مانند ضخامت و یکپارچگی نانوذرات، به طور قابل‌توجهی راندمان، شار و نرخ دفع را تحت تأثیر قرار می‌دهند و در نتیجه بر اهمیت طراحی و ترکیب غشا در حذف CEC تأکید می‌کنند.

غشاهای UF توانایی حذف موثر CECهای مختلف را، تحت تأثیر خواص مولکولی و طراحی غشا، نشان می‌دهند. ترکیب کربن فعال پودری در ماتریس‌های غشایی به طور قابل توجهی حذف ترکیبات دارویی، به‌ویژه ترکیبات آبگریز را افزایش می‌دهد، بنابراین تاثیر تغییرات غشا برجسته می‌گردد. علاوه بر این، تعدادی از مطالعات، اهمیت شرایط کیفیت آب مانند حضور جامدات معلق حل‌شده و pH را نشان می‌دهند که هم تجزیه‌زیستی[1] و هم رسوب غشایی را کنترل می‌کنند؛ این موارد از عوامل مهمی هستند که بر حذف آلاینده‌ها در فرایندهای UF تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این، تأثیر متقابل بین ویژگی‌های غشا مانند ترکیب و ساختار آن، علاوه بر شرایط عملیاتی مانند فشار و نرخ شار غشایی، به طور قابل‌توجهی بر راندمان حذف تأثیر می‌گذارد و در نتیجه نیاز به طراحی غشا و بهینه‌سازی عملیاتی را برجسته می‌کند.

غشاهای MF در حذف CECهای مختلف از طریق فعل و انفعالات مولکولی و تغییرات غشایی موثر هستند. فعل و انفعالات مبتنی بر بار و پیوند هیدروژنی به طور قابل توجهی به راندمان حذف بالای داروها کمک می‌کند، در حالی‌که فعل و انفعالات آبگریز اهمیت متفاوتی را، به‌ویژه برای داروهای استروئیدی نشان می‌دهند. علاوه بر این، شرایط کیفیت آب به طور قابل توجهی بر راندمان MF تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، نمک‌ها و به‌ویژه نمک‌های دوظرفیتی، به دلیل انسداد سطحی و تداخل با پیوند هیدروژنی، مانع جذب دارو می‌شوند. خواص غشا، از جمله عملکردهای سطحی و مواد نیز بر حذف CEC تأثیر گذار است. اصلاحات آب‌دوست، حذف آلاینده‌های خاص را بهبود می‌بخشد، در حالی‌که غشاهای سرامیکی مقرون به صرفه برای حذف آلاینده‌های سمی امیدوارکننده می‌باشند. پارامترهای عملیاتی مانند نرخ جریان خوراک و غلظت، راندمان حذف را تحت تأثیر قرار می‌دهند، به‌طوریکه نرخ جریان کمتر و غلظت‌های بهینه، نرخ حذف را افزایش می‌دهند، اما نرخ‌های جریان بالاتر به دلیل زمان اقامت کوتاه‌تر، کارایی را کاهش می‌دهند. طرح‌های جدید غشایی ظرفیت‌های جذب متنوعی را برای آلاینده‌های هدف ارائه می‌دهند، بنابراین کاربرد بالقوه غشاهای MF مناسب را در حذف کارآمد CEC در زمینه‌های مختلف نشان می‌دهند.

[1] biodegradation

مسیرهای تحقیقات آتی در فناوری غشایی، شامل مطالعات پژوهشی در سطح پیشرفته برای افزایش گزینش‌پذیری و مقاومت در برابر رسوب، بررسی مواد جدید و کاربردهای نانوتکنولوژی برای ساخت غشا، بهینه‌سازی پارامترهای عملیاتی برای فرایندهای کارآمد انرژی و روشن‌کردن اثرات زیست محیطی و پایداری طولانی‌مدت سیستم‌های تصفیه آب مبتنی بر غشا علاوه بر این، ارزیابی جامع پیامدهای زیست‌محیطی و اقتصادی از طریق تحلیل‌های چرخه حیات برای ارزیابی پایداری سیستم‌های تصفیه آب مبتنی بر غشا در مقایسه با روش‌های مرسوم ضروری است. این تجزیه و تحلیل، بینش عمیق‌تری در زمینه قابلیت اقتصادی فناوری‌های غشایی و اثرات بلندمدت آن‌ها بر تخصیص منابع، مصرف انرژی و تولید زباله ارائه می‌دهد. بررسی اینکه چگونه پیشرفت در فناوری غشایی می‌تواند بر چارچوب‌های نظارتی و توسعه سیاست در زمینه تصفیه آب و فاضلاب تأثیر بگذارد ضروری است. با بررسی دقیق تأثیرات بالقوه پیشرفت‌های تکنولوژیکی بر چشم‌اندازهای نظارتی، می‌توان مقررات و استانداردهای صنعتی آتی را بهتر پیش‌بینی کرده و شکل داد. ادامه تحقیق و توسعه در این زمینه‌ها، اثربخشی و پایداری فناوری‌های غشایی را در رسیدگی به چالش‌های ایجاد شده توسط CEC در سیستم‌های آبی ارتقا می‌دهد.

Reference

Kim S, Jun BM, Jung B, Park CM, Jang M, Nam SN, Yoon Y. Removal of contaminants of emerging concern by membranes in water and wastewater: An updated review. Environmental Engineering Research. 2025 Feb;30(1).

DOI: https://doi.org/10.4491/eer.2024.103

مترجم: علیرضا کرفی