POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

پیشرفت در سیستم‌های فیلتراسیون غشایی ارتعاشی

چکیده

کار حاضر به‌طور سیستماتیک سیستم‌های غشایی ارتعاشی را به‌عنوان معیاری برای کنترل رسوب بررسی می‌کند. فرکانس و دامنه ارتعاش، اندازه منافذ غشا، چگالی انباشته‌شدن ماژول‌های غشا و ویسکوزیته فیلترها پارامترهای عملیاتی کلیدی هستند که بر سرعت برش تأثیر می‌گذارند. شار بحرانی سیستم‌های غشایی ارتعاشی عمدتاً به فرکانس و دامنه ارتعاش، اندازه رسوب‌ها و همچنین افزودن مواد منعقدکننده بستگی دارد. دینامیک سیالات محاسباتی[1] (CFD) محبوب‌ترین ابزار شبیه‌سازی برای مطالعه مکانیکی ارتعاش غشا است. سیستم‌های غشایی ارتعاشی به‌طور گسترده در برداشت ریزجلبک، تصفیه فاضلاب، تولید لبنیات و جداسازی پروتئین از مخمر استفاده شده است، جایی که اشکال پیشرفته ارتعاش، مانند سیستم ارتعاش غشایی القای مغناطیسی[2] (MMV) و سیستم غشای ارتعاش برشی یکنواخت[3] (USVM) برای رفع نیازهای برنامه مربوطه توسعه یافته است. PMMA، ETFE، PPO و FEP واجد شرایط هستند و ممکن است در آینده به‌عنوان مواد غشایی ارتعاشی استفاده شوند.

کلمات‌کلیدی: کنترل رسوب غشایی، غشای ارتعاشی، روش‌های شبیه‌سازی، نرخ برشی شار بحرانی.

Keywords: Membrane fouling control, Vibrating membrane, Simulation methods, Critical flux Shear rate.

نتیجه‌گیری

فناوری غشای ارتعاشی به‌عنوان یکی از امیدوارکننده‌ترین روش‌های کاهش رسوب در نظر گرفته شده است. درک مکانیسم چگونگی نیروی برشی ایجادشده توسط انواع مختلف ارتعاش غشا یک گام کلیدی برای بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها است. پیروی از شکاف‌های دانش استخراج‌شده از این بررسی ممکن است تا حدودی مسیرهای تحقیقات آینده را روشن کند.

[1] Computational fluid dynamics
[2] Magnetic induced membrane vibration
[3] uniform shear vibration membrane

مطالعات قبلی نشان داده‌اند که دمای در حال رشد، فشار و شار محلول را تشدید می‌کند [1] و رسوب غشا را کاهش می‌دهد [3,2]. علاوه بر این، ثابت شده است که شار بحرانی با افزایش دما به دلیل انتشار افزایش‌یافته رسوب‌ها در سطح غشا افزایش می‌یابد [5,4]. در سیستم‌های غشایی ارتعاشی، انتظار می‌رود که شار بحرانی با دمای بالاتر تقویت شود، اما همبستگی‌ها و مکانیسم‌های کمی آن‌ها در شرایط عملیاتی مختلف باید بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

مطالعات قبلی نشان داده‌اند که افزایش فرکانس و دامنه می‌تواند نرخ برش را افزایش دهد. تجزیه و تحلیل بیشتر بر روی داده‌های تجربی نشان می‌دهد که اثر فرکانس بر نرخ برش حساس‌تر از دامنه است. استخراج معادلات نظری حساسیت فرکانس را به توان ۱/۵ کمی بیشتر می‌کند. با این حال، مکانیسم‌های این تفاوت هنوز به‌طور کامل بررسی نشده است.

توزیع برشی یک عامل کلیدی است که توانایی ارتعاش غشا را برای حذف رسوب‌ها در مکان‌های مختلف تعیین می‌کند. تعدادی از مطالعات برای بررسی توزیع برش برای ارتعاش طولی و عرضی انجام شده است. با این حال، برای سیستم‌های غشای ارتعاشی چرخشی، بیشتر مطالعات بر روی حداکثر نرخ برش و نرخ برش متوسط متمرکز شده‌اند، درحالیکه داده‌های توزیع برش در حال حاضر در دسترس نیستند. خواص چندین ماده پیشرفته مانند PMMA، ETFE، PPO و FEP، با معیارهای غشاهای ارتعاشی با پتانسیل هزینه کمتر مطابقت دارد. آزمایش‌های فیلتراسیون با این مواد غشایی باید برای بررسی امکان‌سنجی و کارایی آن‌ها در عمل انجام شود.

چاپ سه بعدی در تولید غشا منجر به ساختارهای ضخیم‌تر و استحکام کششی بالاتر می‌شود [6]. مطالعات قبلی نشان داده است که مقاومت کششی غشاهای ساخته‌شده با روش چاپ سه بعدی تا ۱۰ برابر بیشتر از غشاهای معمولی است [8,7]. استحکام کششی عالی مواد غشایی به‌طور کلی عملکرد ارتعاشی آن‌ها را ارتقا می‌دهد [9]. گزارش شده است که کشش غشا با فرکانس ارتعاش همبستگی مثبت دارد که تاثیر آن با افزایش فرکانس ارتعاش قوی‌تر می‌شود [10]. به‌طور مشابه، بین ضخامت غشا و فرکانس ارتعاش همبستگی مثبت وجود دارد [12,11]. چاپ سه بعدی می‌تواند اثرات منفی وارونگی فاز سنتی را که اغلب منجر به ساختارهای منفذ نامتقارن یا نامنظم در غشاها می‌شود، از بین ببرد. همچنین از مسائل مربوط به کشش جلوگیری می‌کند، که فقط برای غشاهای پلیمری با خاصیت کریستالینیتی بالا کار می‌کند[13]. علاوه بر این، چاپ سه بعدی می‌تواند هزینه‌های ساخت غشا را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. به عنوان مثال، هزینه ساخت غشای Nafion با روش چاپ سه بعدی در مقایسه با روش سنتی (۰/۲۵ دلار) تنها یک دهم (۰/۰۲۲ دلار) است [14,15]. فناوری پرینت سه بعدی دقت بالایی را در طراحی، ساخت و کنترل خواص غشا در مقایسه با سایر روش‌ها ارائه می‌دهد. کل فرآیند ساخت غشا

را می‌توان در یک ماشین یا فرآیند واحد تکمیل کرد [16]. اگرچه ترکیب فناوری پرینت سه بعدی با غشاهای ارتعاشی جالب است، اما هنوز مقالات تحقیقاتی در مورد این موضوع تا حد دانش ما وجود داشته است.

بیشتر تحقیقات در زمینه سیستم‌های غشایی ارتعاشی محدود به مقیاس آزمایشگاهی است، جایی که محلول‌های خوراک و فیلتر مصنوعی هستند. درحالیکه بررسی نمونه ها از صنعت وجود ندارد [17-20]. مطالعات بیشتر در سیستم‌های آزمایشی و مقیاس کامل برای بهینه‌سازی پارامترهای طراحی و عملیاتی و در نتیجه اجرای موفقیت‌آمیز سیستم‌های فیلتراسیون غشایی ارتعاشی مورد نیاز است.

Reference

Zhao Y, Zhang Y, Xing B, Xu W, Yin Z. Developments in vibrating membrane filtration systems. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2025 Jan 15.

Other Reference

1. You SJ, Wang XH, Zhong M, Zhong YJ, Yu C, Ren NQ. Temperature as a factor affecting transmembrane water flux in forward osmosis: Steady-state modeling and experimental validation. Chemical Engineering Journal. 2012 Aug 1;198:52-60.
2. Chu H, Zhao F, Tan X, Yang L, Zhou X, Zhao J, Zhang Y. The impact of temperature on membrane fouling in algae harvesting. Algal Research. 2016 Jun 1;16:458-64.
3. Phuntsho S, Vigneswaran S, Kandasamy J, Hong S, Lee S, Shon HK. Influence of temperature and temperature difference in the performance of forward osmosis desalination process. Journal of membrane science. 2012 Oct 1;415:734-44.
4. Martín-Pascual J, Leyva-Díaz JC, López-López C, Muñio MM, Hontoria E, Poyatos JM. Effects of temperature on the permeability and critical flux of the membrane in a moving bed membrane bioreactor. Desalination and Water Treatment. 2015 Mar 1;53(13):3439-48.
5. van der Marel P, Zwijnenburg A, Kemperman A, Wessling M, Temmink H, van der Meer W. An improved flux-step method to determine the critical flux and the critical flux for irreversibility in a membrane bioreactor. Journal of membrane science. 2009 Apr 15;332(1-2):24-9.
6. Palanisamy G, Jung HY, Sadhasivam T, Kurkuri MD, Kim SC, Roh SH. A comprehensive review on microbial fuel cell technologies: Processes, utilization, and advanced developments in electrodes and membranes. Journal of cleaner production. 2019 Jun 1;221:598-621.
7. Al-Husaini IS, Yusoff AR, Lau WJ, Ismail AF, Al-Abri MZ, Wirzal MD. Iron oxide nanoparticles incorporated polyethersulfone electrospun nanofibrous membranes for effective oil removal. Chemical engineering Research and design. 2019 Aug 1;148:142-54.
8. Yuan S, Strobbe D, Kruth JP, Van Puyvelde P, Van der Bruggen B. Super-hydrophobic 3D printed polysulfone membranes with a switchable wettability by self-assembled candle

soot for efficient gravity-driven oil/water separation. Journal of Materials Chemistry A. 2017;5(48):25401-9.
9. Thiam BG, El Magri A, Vanaei HR, Vaudreuil S. 3D printed and conventional membranes—a review. Polymers. 2022 Mar 3;14(5):1023.
10. Lee YC. Low-frequency membrane tension measurement of framed membranes in semiconductor manufacturing. Sensors and Actuators A: Physical. 2023 Jun 1;355:114312. Fan Y, Ni Z, Hang Z, Yang J, Feng C, Yang J. Nonlinear free vibration analysis of ionic liquid enhanced soft composite membrane. International Journal of Mechanical Sciences. 2024 Jan 1;261:108675.
11. Chakravarty UK. On the resonance frequencies of a membrane of a dielectric elastomer. Mechanics Research Communications. 2014 Jan 1;55:72-6.
12. Ji D, Xiao C, Chen K, Zhou F, Gao Y, Zhang T, Ling H. Solvent-free green fabrication of PVDF hollow fiber MF membranes with controlled pore structure via melt-spinning and stretching. Journal of Membrane Science. 2021 Mar 1;621:118953. You J, Preen RJ, Bull L, Greenman J, Ieropoulos I. 3D printed components of microbial fuel cells: Towards monolithic microbial fuel cell fabrication using additive layer manufacturing. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2017 Feb 1;19:94-101.
13. Wang YP, Liu XW, Li WW, Li F, Wang YK, Sheng GP, Zeng RJ, Yu HQ. A microbial fuel cell–membrane bioreactor integrated system for cost-effective wastewater treatment. Applied Energy. 2012 Oct 1;98:230-5.
14. Low ZX, Chua YT, Ray BM, Mattia D, Metcalfe IS, Patterson DA. Perspective on 3D printing of separation membranes and comparison to related unconventional fabrication techniques. Journal of membrane science. 2017 Feb 1;523:596-613.
15. Espina VS, Jaffrin MY, Ding LH. Comparison of rotating ceramic membranes and polymeric membranes in fractionation of milk proteins by microfiltration. Desalination. 2009 Sep 15;245(1-3):714-22.
16. Laurio MV, Yenkie KM, Eusebio RC, Hesketh RP, Savelski MJ, Slater CS. Mathematical modeling of vibratory shear-enhanced nanofiltration in the preconcentration of coffee extracts for soluble coffee manufacturing. Journal of Food Process Engineering. 2021 Oct;44(10):e13815.
17. Jiang S, Chu H, Sun J, Zhang W, Yang M, Chen Y, Zhou X, Zhang Y. Membrane fouling behavior and its control in a vibration membrane filtration system related to EOM secreted by microalgae. Journal of Membrane Science. 2023 Mar 5;669:121296.
18. Bilad MR, Mezohegyi G, Declerck P, Vankelecom IF. Novel magnetically induced membrane vibration (MMV) for fouling control in membrane bioreactors. Water research. 2012 Jan 1;46(1):63-72.
19. Wang C, Ding M, Ng TC, Ng HY. Enhanced dissolved methane recovery and energy-efficient fouling mitigation via membrane vibration in anaerobic membrane bioreactor. Resources, Conservation and Recycling. 2022 Sep 1;184:106404.

20. Hu Y, Cheng H, Ji J, Li YY. A review of anaerobic membrane bioreactors for municipal wastewater treatment with a focus on multicomponent biogas and membrane fouling control. Environmental Science: Water Research & Technology. 2020;6(10):2641-63.

DOI: https://doi.org/10.1016/j.jiec.2025.01.017

مترجم: علیرضا کرفی