

SUVLARNI TOZALASH UCHUN POLIFENILENSULFON VA POLISULFON ARALASHMALARI ASOSIDA MEMBRANALAR ISHLAB CHIQRISH

Qobilova Charos O'ktamovna
Termiz Davlat Universiteti

Annotatsiya Ushbu maqolada suvlarni tozalash uchun polifenilensulfon va polisulfon aralashmalari asosida membranalar ishlab chiqarishning ilmiy-texnologik asoslari yoritiladi. Polifenilensulfon yuqori mexanik mustahkamlik, issiqlikka chidamlilik, gidrolitik barqarorlik va kimyoviy chidamlilikka ega bo'lgan sulfon guruhli muhandislik polimeridir. Polisulfon esa membrana texnologiyasida keng qo'llaniladigan, yuqori bosimga chidamli, termik barqaror va g'ovak strukturasi boshqarilishi mumkin bo'lgan polimer hisoblanadi. Ushbu ikki polimer aralashmasi asosida tayyorlangan membranalar suvni mikrofiltratsiya, ultrafiltratsiya va ayrim hollarda nanofiltratsiya jarayonlarida qo'llash uchun istiqbolli material sifatida baholanadi. Maqolada membrana ishlab chiqarish usullari, fazaviy inversiya jarayoni, polimer nisbatining ta'siri, g'ovaklik, suv o'tkazuvchanlik, ifloslanishga chidamlilik va amaliy qo'llanish imkoniyatlari tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: polifenilensulfon, polisulfon, membrana, suv tozalash, fazaviy inversiya, ultrafiltratsiya, g'ovaklik, sorbsiya, gidrofillik.

Kirish Suv resurslarining ifloslanishi bugungi ekologik va texnologik muammolarning eng dolzarblaridan biridir. Sanoat korxonalarini, maishiy oqova suvlari, qishloq xo'jaligi faoliyati, neft mahsulotlari, og'ir metallar, bo'yoqlar, mikroorganizmlar va organik ifloslantiruvchilar suv sifatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli suvni chuqur tozalash, qayta ishlash va ichimlik yoki texnik maqsadlarda qayta foydalanishga tayyorlash uchun samarali texnologiyalar zarur.

Membrana texnologiyalari suvni tozalashda eng istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Membranalar suv tarkibidagi zarrachalar, kolloidlar, bakteriyalar, organik modda qoldiqlari, og'ir metall komplekslari va boshqa ifloslantiruvchilarni ajratish imkonini beradi. An'anaviy koagulyatsiya yoki cho'ktirish usullariga nisbatan membranali jarayonlar ixcham, nisbatan energiya tejankor, avtomatlashtirishga qulay va yuqori selektivlikka ega.

Polisulfon membranalar suvni tozalash, oqova suvlarni qayta ishlash, oziq-ovqat va biotibbiyot filtratsiyasida keng qo'llaniladi. Polisulfon membranalarining afzalligi ularning kimyoviy va termik barqarorligi, mexanik mustahkamligi hamda boshqariladigan g'ovak struktura hosil qilish imkoniyatidir. Polysulfone membranalar

chiqindi suvlarni qayta ishlash, gemodializ, oziq-ovqat va ichimlik sanoati hamda gaz ajratish kabi sohalarda ishlatilishi mumkinligi qayd etiladi.

Polifenilensulfon esa membrana materiallari orasida yuqori chidamliligi bilan ajralib turadi. PPSU asosidagi membranalar issiqlik, mexanik kuchlanish, gidroliz va ko'plab kimyoviy omillarga nisbatan barqaror bo'lgani sababli suv tozalash jarayonlari uchun istiqbolli hisoblanadi. Tadqiqotlarda PPSU membranalar yuqori termik va mexanik barqarorlik, kimyoviy chidamlilik, zarbaga chidamlilik va gidrolitik barqarorlikka ega ekani ta'kidlanadi.

Shu sababli polifenilensulfon va polisulfon aralashmalari asosida membranalar ishlab chiqarish ikki polimerning afzalliklarini birlashtirish imkonini beradi. Polisulfon membrananing shakllanishi va filtratsion xossalarni yaxshilasa, polifenilensulfon uning mexanik va kimyoviy barqarorligini oshirishi mumkin.

Metodologiya

Ushbu maqola nazariy-tahliliy usulda tayyorlandi. Unda polifenilensulfon va polisulfon asosidagi membranalar tuzilishi, ishlab chiqarish texnologiyasi, suv tozalashdagi ishlash mexanizmi va modifikatsiya usullari tahlil qilindi. Membrana tayyorlashning asosiy usuli sifatida fazaviy inversiya jarayoni ko'rib chiqildi. Bundan tashqari, polimer aralashmasining tarkibi, erituvchi turi, cho'ktirish vannasi, g'ovak hosil qiluvchi qo'shimchalar va membrana yuzasini gidrofillashtirish kabi omillarning suv o'tkazuvchanlik va ifloslanishga chidamlilikka ta'siri izohlandi.

Membrana materiallarining kimyoviy xususiyatlari

Polisulfon aromatik halqalar va sulfon guruhlari tutgan yuqori molekulyar polimerdir. Uning zanjirida sulfon guruhlari mavjudligi polimerga termik barqarorlik, qattqlik va kimyoviy chidamlilik beradi. Shu bilan birga polisulfonning nisbatan gidrofobligi membrana yuzasida organik moddalar va bioifloslanish to'planishiga olib kelishi mumkin. Bu holat membrana oqimini kamaytiradi.

Polifenilensulfon ham sulfon guruhli polimerlar oilasiga kiradi. Uning asosiy afzalligi yuqori mexanik mustahkamlik va gidrolitik barqarorlikdir. PPSU ko'plab sanoat sohasida qo'llaniladi va membrana ishlab chiqarish uchun ham istiqbolli material hisoblanadi. 2025-yilgi tadqiqotda PPSU membrana ishlab chiqarish uchun muhim material sifatida ko'rsatilgan, chunki u uzoq muddatli issiqlikka chidamlilik, mexanik mustahkamlik, gidrolizga va organik erituvchilar ta'siridagi yorilish hamda plastifikatsiyaga nisbatan yuqori qarshilikka ega.

Polifenilensulfon va polisulfonni aralashtirish orqali membrananing strukturasi boshqariladi. Bunda aralashma nisbati juda muhim. Agar PPSU miqdori ko'paytirilsa, membrananing kimyoviy va mexanik barqarorligi oshishi mumkin. Agar PSf ulushi ko'proq bo'lsa, membrana hosil qilish texnologiyasi osonlashadi va g'ovak tuzilma

yaxshiroq shakllanishi mumkin. Lekin ortiqcha gidrofoblik suv oqimini kamaytirishi mumkin.

Membrana ishlab chiqarish texnologiyasi

Polifenilensulfon va polisulfon aralashmalari asosidagi membranalar odatda fazaviy inversiya usuli bilan tayyorlanadi. Bu usulda polimerlar mos erituvchida eritiladi, hosil bo'lgan eritma tekis yuzaga quyiladi yoki tolali membrana shaklida chiqariladi, so'ngra koagulyatsiya vannasiga tushiriladi. Koagulyatsiya vannasida erituvchi va nonsolvent almashinadi, natijada polimer cho'kadi va g'ovak membrana hosil bo'ladi.

Membrana tayyorlash jarayoni quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Polifenilensulfon va polisulfonni tanlangan nisbatda erituvchida eritish.
2. Eritmaga g'ovak hosil qiluvchi yoki gidrofillashtiruvchi qo'shimcha qo'shish.
3. Polimer eritmasini bir jinsli holatga keltirish.
4. Eritmani tekis plastinka yuzasiga quyish yoki hollow fiber shaklida chiqarish.
5. Koagulyatsiya vannasida fazaviy inversiyani amalga oshirish.
6. Membranani yuvish, quritish va ishlatishga tayyorlash.
7. Suv oqimi, g'ovaklik, ushlab qolish koeffitsienti va mexanik xossalarni aniqlash.

Fazaviy inversiya jarayonida polimer eritmasi distillangan suv kabi nonsolventga tushirilganda erituvchi tashqariga chiqadi, nonsolvent esa ichkariga kiradi. Natijada polimer qattiqlashadi va membrana hosil bo'ladi. Polimer eritmasining nonsolvent vannasiga kiritilishi transport xossalariga kuchli ta'sir qiluvchi jarayon ekani polisulfon membranalarini bo'yicha tadqiqotlarda ham ko'rsatilgan.

Jadval. PPSU/PSf aralashma membranalarini ishlab chiqarishda asosiy omillar

Omil	Membranaga ta'siri	Kutiladigan natija	Ehtimoliy muammo
PPSU ulushi	Mexanik va kimyoviy barqarorlikni oshiradi	Chidamli membrana hosil bo'ladi	Suv oqimi pasayishi mumkin
PSf ulushi	Membrana shakllanishini osonlashtiradi	Barqaror struktura	g'ovak Gidrofoblik ortishi mumkin
Erituvchi turi	Fazaviy ajralish tezligini belgilaydi	G'ovaklik va qatlam qalinligi boshqariladi	Zaharli erituvchilardan foydalanish xavfi

Omil	Membranaga ta'siri	Kutiladigan natija	Ehtimoliy muammo
Koagulyatsiya vannasi	G'ovaklar shakli va o'lchamiga ta'sir qiladi	Mikro/ultrafiltratsiya xossalari shakllanadi	Juda tez cho'kish nuqsonli membrana beradi
G'ovak qiluvchi qo'shimcha	hosil Porozlikni oshiradi	Suv o'tkazuvchanlik ortadi	Mexanik mustahkamlik pasayishi mumkin
Gidrofil modifikator	Yuzaning suv bilan namlanishini yaxshilaydi	Fouling kamayadi	Modifikator yuvilib ketishi mumkin
Quritish sharoiti	Membrana o'lcham barqarorligiga ta'sir qiladi	Bir xil saqlanadi	struktura G'ovaklar yopilishi mumkin

Modifikatsiya va gidrofillashtirish

PPSU va PSf materiallarining asosiy zaif tomoni ularning nisbatan gidrofob xususiyatidir. Suv tozalashda gidrofob yuzaga organik moddalar, oqsillar, neft mahsulotlari va mikroorganizmlar oson yopishadi. Bu holat membrana foulingi deyiladi. Fouling suv oqimini kamaytiradi, energiya sarfini oshiradi va membrana xizmat muddatini qisqartiradi.

Shu sababli PPSU/PSf membranalarni gidrofillashtirish muhim vazifadir. Buning uchun quyidagi yondashuvlar qo'llaniladi:

Birinchisi, polimer massasiga gidrofil qo'shimchalar qo'shish. Masalan, polietilenglikol, polivinilpirrolidon, sulfonlangan polimerlar yoki nanozarrachalar qo'shilishi mumkin.

Ikkinchisi, yuzani kimyoviy modifikatsiya qilish. PPSU membranalarini sulfonlash, aminlash yoki boshqa funksional guruhlar bilan boyitish orqali suv bilan o'zaro ta'sir kuchaytiriladi. PPSU membranalarini modifikatsiya qilishda bulk modifikatsiyalar, jumladan sulfonlash, aminlash va xlorometillash kabi yondashuvlar ishlatilishi mumkinligi sharh maqolalarda ko'rsatilgan.

Uchinchisi, nanokompozit membranalar tayyorlash. TiO_2 , ZnO , grafen oksid, SiO_2 , Fe_3O_4 yoki uglerod nanotubalari membranaga qo'shilsa, suv o'tkazuvchanlik va antifouling xossalari yaxshilanishi mumkin. Polisulfon membranalari suv tozalashda keng qo'llanadi va CNT kabi qo'shimchalar suv o'tkazuvchanligini oshirishi mumkinligi tadqiqotlarda qayd etilgan.

Suv tozalashdagi ishlash mexanizmi

PPSU/PSf membranalarini suvni asosan mexanik elash, adsorbsiya, gidrofil-gidrofob o'zaro ta'sir va sirt zaryadi orqali tozalaydi. Mikrofiltratsiya membranalarini yirik zarrachalar, loyqa, bakteriyalar va kolloidlarni ushlab qoladi. Ultrafiltratsiya membranalarini esa oqsillar, makromolekulalar, bo'yoqlar va ayrim viruslarni ajratishi mumkin. Nanofiltratsiya darajasida esa ikki valentli ionlar, organik mikrozzarrachalar va ayrim og'ir metal komplekslari ushlab qolinadi.

Membrananing asosiy ko'rsatkichlari quyidagilardan iborat:

Suv oqimi — ma'lum vaqt ichida membrana orqali o'tgan suv miqdori.

Ushlab qolish darajasi — membrananing ifloslantiruvchi modda yoki zarrachani ushlab qolish foizi.

G'ovaklik — membrana hajmida g'ovaklar ulushi.

Kontakt burchagi — membrana yuzasining gidrofil yoki gidrofobligini bildiradi.

Mexanik mustahkamlik — membrananing bosim va cho'zilishga chidamliligi.

Antifouling xususiyati — membrananing ifloslanishga qarshilik qobiliyati.

Amaliy qo'llanish imkoniyatlari

PPSU/PSf aralashma membranalarini quyidagi suv tozalash jarayonlarida ishlatilishi mumkin:

Maishiy oqova suvlarni qayta ishlash.

To'qimachilik sanoati oqova suvlarini bo'yoqlardan tozalash.

Oziq-ovqat sanoatida kolloid va organik moddalarni ajratish.

Ichimlik suvida loyqa, bakteriya va kolloid zarrachalarni kamaytirish.

Neft-suv emulsiyalarini ajratish.

Og'ir metall ionlari bilan ifloslangan suvni oldindan tozalash.

PPSU asosidagi ultrafiltratsiya membranalarini suvni tozalash, metallarni ajratish, oqsil ajratish va neft-suv aralashmalarini ajratish kabi jarayonlarda ishlatilishi mumkinligi ilmiy manbalarda qayd etilgan.

Muhokama

Polifenilensulfon va polisulfon aralashmasi asosidagi membranalar suv tozalash uchun kuchli texnologik imkoniyatga ega. Biroq ularning ishlashi faqat polimer tanloviga emas, balki membrana mikrostrukturasi bog'liq. G'ovaklar juda katta bo'lsa, ifloslantiruvchilar o'tib ketadi. G'ovaklar juda kichik bo'lsa, suv oqimi pasayadi va bosim talabi ortadi. Shuning uchun optimal membrana "yuqori oqim — yuqori ushlab qolish — past fouling — yaxshi mexanik mustahkamlik" muvozanatini ta'minlashi kerak.

PPSU qo'shilishi membrananing uzoq muddatli ishlashini yaxshilashi mumkin, lekin uning yuqori ulushi membranani zichroq va kamroq suv o'tkazuvchi qilishi ehtimoli bor. PSf esa membranani shakllantirish uchun qulay, ammo gidrofoblik muammosi

mavjud. Demak, bu ikki polimer aralashmasida eng muhim masala optimal nisbatni topishdir.

Amaliy ishlab chiqarish uchun yana bir muhim masala — erituvchilar ekologik xavfsizligi. Membrana ishlab chiqarishda ko'pincha NMP, DMAc yoki DMF kabi erituvchilar ishlatiladi. Ular samarali, lekin ekologik va sog'liq uchun xavfli bo'lishi mumkin. Kelajakda yashil erituvchilar yoki kam toksik erituvchi tizimlarga o'tish kerak.

Xulosa

Suvlarni tozalash uchun polifenilensulfon va polisulfon aralashmalari asosida membranalar ishlab chiqarish istiqbolli ilmiy-amaliy yo'nalish hisoblanadi. PPSU yuqori mexanik, kimyoviy va gidrolitik barqarorlik beradi, PSf esa membrana hosil qilish, g'ovak tuzilmani boshqarish va filtratsion xossalarni shakllantirishda qulay materialdir. Ushbu ikki polimerning aralashmasi suvni mikrofiltratsiya, ultrafiltratsiya va ayrim maxsus holatlarda nanofiltratsiya uchun mos membranalar yaratishga imkon beradi.

Biroq bunday membranalarni samarali qilish uchun uchta masala hal qilinishi kerak. Birinchisi, polimerlar nisbatini optimallashtirish. Ikkinchisi, membrana yuzasini gidrofillashtirish va foulingni kamaytirish. Uchinchisi, ekologik xavfsiz ishlab chiqarish sharoitlarini tanlash. Ayniqsa fazaviy inversiya jarayonida erituvchi, koagulyatsiya vannasi, qo'shimchalar va quritish sharoiti membrana sifatini belgilovchi asosiy omillardir.

Kelajakda PPSU/PSf membranalarini grafen oksid, TiO₂, ZnO, SiO₂, chitosan, polidopamin yoki boshqa gidrofil modifikatorlar bilan boyitish orqali ularning suv o'tkazuvchanligi, selektivligi va antifouling xossalarini oshirish mumkin. Eng kuchli natija oddiy aralashma membranadan emas, balki gidrofil, nanokompozit va funksional qatlamli PPSU/PSf membranalaridan kutiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Shukla A.K. va boshqalar. Recent Advancements in Polyphenylsulfone Membrane Modification Methods. **Membranes**, 2022.
2. Raeva A. va boshqalar. Increasing the Permeability of Polyphenylene Sulfone Membranes. **Polymers**, 2024.
3. Dmitrieva E.S. va boshqalar. Hydrophilization of Porous Membranes Based on Polyphenylene Sulfone. **Separation and Purification Technology**, 2025.
4. Al-Jadir T. va boshqalar. Fabrication and Characterization of Polyphenylsulfone-Based Membranes. **Journal of Ecological Engineering**, 2022.
5. Hirani B., Goyal P.S. Synthesis and Water Permeation Studies of Polysulfone Based Composite Membranes Having Vertically Aligned CNTs, 2021.

6. Umarov B.B. **Fizik kimyo**. Toshkent: O'zbekiston milliy ensiklopediyasi, 2017.
7. G'ulomov M.G. **Kimyoviy texnologiya asoslari**. Toshkent: Fan, 2018.
8. To'rayev X.X. **Materialshunoslik asoslari**. Toshkent: Fan va texnologiya, 2021.