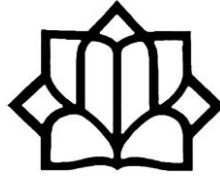


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کاشان

پژوهشکده علوم و فناوری نانو

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته علوم و فناوری نانو (نانو شیمی)

عنوان:

**تأثیر حضور کیتوسان بر مورفولوژی و عملکرد غشاهای نانوفیلتراسیون کامپوزیتی
لایه نازک بر پایه پلی اکریلونیتریل سنتز شده به روش پلیمریزاسیون بین سطحی**

استاد راهنما:

دکتر احمد اکبری

توسط:

زهرا دریکوندی

شهریور ۱۳۹۳

تقدیم به:

مقدسترین واژه‌ها در لغت نامه دلم، آیت صبر، مادر مهر بانم

که زندگی را مدیون مهر و عطوفت آن می دانم

و پدر عزیزم مشوق و حامی من در طول تمام زندگی

تشکر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگاران بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی‌هایش پایان‌نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم میدانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید.

ابتدا از استاد گران‌قدر و مهربانم جناب آقای دکتر احمد اکبری که راهنمایی پایان‌نامه اینجانب را بر عهده داشتند و با صبر و شکیبایی بسیار مرا با رهنمودهای ارزشمند و سازنده خویش، مورد لطف قرار دادند، کمال تشکر را دارم.

از استاد محترم جناب آقای پروفیسور مسعود صلواتی نیاسری که داوری پایان‌نامه اینجانب و زحمت نمایندگی تحصیلات تکمیلی جلسه دفاع را بر عهده داشتند سپاسگزاری می‌نمایم. همچنین از جناب آقای سید مجید مجللی که مرا در انجام و به پایان رساندن این پروژه یاری رساندند تشکر فراوان دارم. در پایان از کلیه عزیزانی که مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نمودند، قدردانی و تشکر می‌نمایم.

چکیده

هدف از انجام این تحقیق افزایش آب‌دوستی و به دنبال آن افزایش شار و کاهش میزان گرفتگی غشاهای نانوفیلتراسیون پلی‌آمیدی با استفاده از پلیمر آب‌دوست کیتوسان می‌باشد. ساخت غشا شامل دو مرحله است: غشای اولترافیلتراسیون اولیه توسط فرآیند وارونگی فاز تهیه شد و سپس سطح آن به روش پلیمریزاسیون بین‌سطحی اصلاح گردید. در ادامه غشاهای تهیه شده با روش غوطه‌وری مجدداً اصلاح شدند. اثر غلظت‌های مختلف استفاده از محلول کیتوسان و همچنین اثر زمان غوطه‌وری غشا در محلول کیتوسان به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی عملکرد غشاهای اصلاح شده و اصلاح نشده با محلول کیتوسان، غشاها با محلول ppm ۱۰۰۰ از نمک‌های مختلف تست شدند و میزان شار و احتباس آن‌ها اندازه‌گیری شد. با افزایش غلظت محلول کیتوسان در غشاهای نانوفیلتراسیون پلی‌آمیدی آب-دوستی و شار آب از $39/2$ به $59/6$ $L/m^2.h$ افزایش پیدا کرد. همچنین به منظور بررسی عملکرد ضدگرفتگی از محلول ستیل تری متیل آمونیوم برماید (CTAB) استفاده شد که نتایج بهبود عملکرد ضدگرفتگی را بعد از اضافه کردن کیتوسان به سطح غشا نشان می‌دهند. اسپکتروسکوپی FT-IR حضور لایه پلی‌آمیدی و کیتوسان را بر روی سطح غشا تصدیق می‌کند. تصاویر SEM و AFM نشان می‌دهند که متناسب با افزایش غلظت محلول کیتوسان زبری غشاها کاهش پیدا می‌کند. (مقدار میانگین زبری (S_a) بعد از اضافه کردن محلول w/v ۰/۳ کیتوسان از ۵۹/۹ به ۲۰/۷ کاهش پیدا می‌کند).

کلمات کلیدی: نانوفیلتراسیون، غشای پلی‌آمیدی، اصلاح سطح، کیتوسان، ضدگرفتگی

کردن، پلیمریزاسیون بین‌سطحی

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول، مطالعه فرآیندهای غشایی و بررسی گرفتگی در غشاهای نانوفیلتراسیون

مقدمه	۲
۱-۱- تعریف غشا	۳
۲-۱- مکانیسم‌های جداسازی غشایی	۴
۱-۲-۱- غربال مولکولی	۴
۲-۲-۱- نفوذ مولکولی	۵
۳-۲-۱- اختلاف بار یونی	۵
۳-۱- انواع فرآیندهای غشایی	۵
۴-۱- عوامل تعیین مشخصات در غشاهای فیلتراسیون	۸
۱-۴-۱- ضریب نفوذپذیری	۸
۲-۴-۱- میزان احتباس	۸
۳-۴-۱- آستانه شکست	۹
۵-۱- ساختار غشاهای نانوفیلتراسیون	۹
۶-۱- روش تهیه غشاهای پلیمری	۱۰
۱-۶-۱- تهیه فیلم پلیمری به روش جدایی فازی	۱۰
۷-۱- تهیه غشاهای مرکب (کامپوزیتی)	۱۳

- ۱-۷-۱- پلیمریزاسیون بین سطحی (پلیمریزاسیون در سطح مشترک)..... ۱۴
- ۱-۷-۲- عوامل موثر بر عملکرد غشاهای کامپوزیتی تهیه شده به روش پلیمریزاسیون
بین سطحی ۱۹
- ۸-۱- گرفتگی غشاهای نانوفیلتراسیون ۲۰
- ۹-۱- توسعه ضد گرفتگی کردن غشاهای نانوفیلتراسیون ۲۶
- ۱-۹-۱- انتخاب مونومرهای جدید برای پلیمریزاسیون بین سطحی ۲۶
- ۲-۹-۱- بهبود فرآیند پلیمریزاسیون بین سطحی ۲۷
- ۳-۹-۱- اصلاح سطح غشاهای متداول نانوفیلتراسیون ۲۸
- ۱-۳-۹-۱- روش فیزیکی ۲۹
- ۲-۳-۹-۱- روش شیمیایی ۳۱
- ۴-۹-۱- تهیه غشاهای نانوفیلتراسیون با استفاده از نانو ذرات معدنی ۳۵
- ۱-۴-۹-۱- رسوب ذرات معدنی بر روی سطح غشا به صورت مستقیم ۳۶
- ۲-۴-۹-۱- اتصال ذرات معدنی از طریق فرآیند پلیمریزاسیون بین سطحی ۳۷
- ۱۰-۱- کیتوسان ۳۸
- ۱۱-۱- بررسی مقالات ۴۰
- ۱۱-۱- شرح پروژه ۴۴

فصل دوم، بخش تجربی: روش کار و آزمایشات

- ۱-۱- تجهیزات و مواد مورد استفاده ۴۶
- ۲-۲- فرآیند تهیه غشا ۴۷

- ۴۷-۱-۲-۲ ساخت غشای پلیمری پلی‌اکریلونیتریل به روش وارونگی فاز.....
- ۵۰-۲-۲-۲ تهیه غشاهای پلیمری پلی‌اکریلونیتریل مناسب.....
- ۵۰-۳-۲-۲ اصلاح سطح غشا با روش پلیمریزاسیون بین‌سطحی.....
- ۵۳-۳-۲-۲ ارزیابی عملکرد غشا.....
- ۵۵-۴-۲-۲ بررسی مورفولوژی غشا.....
- ۲-۴-۲-۱ بررسی مورفولوژی غشاهای تهیه شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM).....
- ۵۵.....
- ۲-۴-۲-۲ بررسی زبری سطح توسط میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM).....
- ۵۶-۳-۴-۲ بررسی ساختار شیمیایی سطح غشا.....
- ۵۶.....
- ۵-۲-۵-۲ بررسی اثر pH بر عملکرد غشا.....

فصل سوم، بحث و نتیجه‌گیری

- ۵۹.....مقدمه
- ۵۹-۱-۳-۱ غشای پلیمری پلی‌اکریلونیتریل.....
- ۶۲-۲-۳-۲ اصلاح غشا به روش پلیمریزاسیون بین‌سطحی.....
- ۶۲-۱-۲-۳-۱ سنتز مونومر تری‌مزوئیل کلرید.....
- ۶۳-۲-۲-۳-۲ بهینه‌سازی غلظت مونومر تری‌مزوئیل کلراید.....
- ۶۵-۱-۲-۲-۳-۱ عملکرد غشای پلی‌آمیدی بهینه شده.....
- ۶۶-۳-۳-۱ استفاده از مواد آب‌دوست در تهیه غشاهای پلی‌آمیدی.....

- ۳-۳-۱- اثر پلیمر کیتوسان بر عملکرد غشای پلی آمیدی ۶۶
- ۳-۳-۲- نحوه استفاده از پلیمر کیتوسان و نشست آن بر سطح غشای پلی آمیدی ۶۷
- ۳-۴- بررسی اثر غلظت محلول کیتوسان بر عملکرد غشاهای پلی آمیدی ۶۸
- ۳-۵- بررسی اثر زمان غوطه‌وری غشا در محلول کیتوسان بر روی عملکرد غشای پلی آمیدی ۷۰
- ۳-۶- بررسی اثر پلیمر کیتوسان بر روی خواص ضد گرفتگی غشاهای نانوفیلتراسیون ۷۲
- ۳-۷- بررسی دانسیته بار یونی در سطح غشا ۷۲
- ۳-۷-۱- اثر pH بر روی عملکرد غشای پلی آمیدی بهینه ۷۳
- ۳-۷-۲- اثر pH بر روی عملکرد غشای پلی آمیدی اصلاح شده با محلول کیتوسان ۷۵
- ۳-۸- شناسایی ترکیبات در غشاهای بهینه شده ۷۶
- ۳-۹- آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی ۷۹
- ۳-۱۰- آنالیز میکروسکوپ نیروی اتمی ۸۳
- ۳-۱۱- نتیجه‌گیری ۸۷
- ۳-۱۲- پیشنهادات ۸۸
- مراجع ۸۹

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- ساختار یک غشا کامپوزیت به صورت شماتیک	۱۰
شکل ۱-۲- شماتیکی از یک غشای کامپوزیتی ساخته شده به روش پلیمریزاسیون بین-سطحی	۱۵
شکل ۱-۳- ساختار پیوند عرضی پلی اتیلن ایمین با تولوئن-۲ و ۴- دی ایزوسیانات	۱۶
شکل ۱-۴- واکنش پلیمریزاسیون بین سطحی در حضور رباینده اسید	۱۸
شکل ۱-۵- تصاویر SEM از گروه‌های رسوبی اصلی مشاهده شده بر روی سطح غشاها ..	۲۱
شکل ۱-۷- نمایی از مکانیسم‌های ضد گرفتگی a- لایه آب خالص b- دافعه الکترو استاتیکی c- دافعه فضایی	۲۶
شکل ۱-۸- لایه مرزی پلی آمیدی ناشی از TMC و MPD از طریق پلیمریزاسیون بین سطحی	۲۷
شکل ۱-۹- اصلاح سطح غشای پلی آمیدی اولیه بر اساس گروه‌های آسید کلرید واکنش نداده در سطح	۲۸
شکل ۱-۱۰- اصلاح سطح غشای پلی آمیدی از طریق پیوند رادیکالی	۳۲
شکل ۱-۱۱- اصلاح سطح غشای پلی آمیدی بر اساس واکنش شیمیایی بین گروه‌های آمین ابتدایی و اصلاح کننده‌های اپوکسی انتهایی	۳۳
شکل ۱-۱۲- اصلاح غشای اسمز معکوس پلی آمیدی از طریق فعالسازی سطح با پلاσμα و به دنبال آن پیوند زدن روی سطح و پلیمریزاسیون	۳۴

- شکل ۱-۱۳- تصویر مفهومی ساختار غشاهای (a) TFC و (b) TFN ۳۷
- شکل ۱-۱۴- واکنش سنتز کیتوسان از کیتین ۳۸
- شکل ۱-۱۵- ساختار پلیساکاریدها: سلولوز، کیتین و کیتوسان ۳۹
- شکل ۱-۱۶- اصلاح سطح غشاهای پلیآمیدی توسط EDC برای پیوند با مشتقات PEG .. ۴۱
- شکل ۲-۱- نمای فرآیند ریخته‌گری محلول پلیمری توسط فیلم‌کش ۴۹
- شکل ۲-۲- نمای شماتیک فرآیند انعقاد ۴۹
- شکل ۲-۳- غلطک سطح غشا جهت حذف محلول اضافی ۵۲
- شکل ۲-۴- غشا پلیمری پلی‌اکریلونیتریل آماده شده برای انجام پلیمریزاسیون بین‌سطحی ۵۲
- شکل ۲-۷- نمای شماتیک تست عملکرد غشا ۵۴
- شکل ۳-۱- وجود بزرگ‌حفره‌ها در زیرلایه تهیه شده با پلیمر پلی‌اکریلونیتریل و حلال ۶۱
- شکل ۳-۲- واکنش بین ۱و۳و۵- بنزن تری‌کربوکسیلیک اسید و تیونیل کلراید ۶۲
- شکل ۳-۳- نمای شماتیک از سیستم بازروانی ۶۳
- شکل ۳-۴- تغییرات شار و احتباس نمک Na_2SO_4 بر حسب تغییرات غلظت تری‌مزوئیل - کلرید ۶۵
- شکل ۳-۵- تغییرات احتباس نمک‌های مختلف بر اساس تغییرات غلظت محلول کیتوسان ۶۸
- شکل ۳-۶- تغییر شار آب بر اساس تغییرات غلظت محلول کیتوسان ۶۹
- شکل ۳-۷- تغییرات شار نمک‌های مختلف بر اساس تغییرات غلظت محلول کیتوسان ۶۹

شکل ۳-۸- تغییرات شار آب و احتباس نمک‌های مختلف بر اساس تغییرات زمان غوطه‌وری	۷۱
در محلول کیتوسان	
شکل ۳-۹- اثر زمان فیلتراسیون محلول CTAB غشا پلی‌آمیدی در حضور و عدم حضور	۷۲
پلیمر کیتوسان	
شکل ۳-۱۰- تغییرات احتباس چهار نمک مختلف با تغییر pH خوراک برای غشای پلی-	۷۴
آمیدی	
شکل ۳-۱۱- تغییرات احتباس نمک‌های مختلف با تغییر pH خوراک برای غشای دارای	۷۵
مقدار بهینه محلول کیتوسان	
شکل ۳-۱۲- طیف FT-IR غشای زیرلایه	۷۷
شکل ۳-۱۳- طیف FT-IR غشای پلی‌آمیدی	۷۸
شکل ۳-۱۴- طیف FT-IR غشای پلی‌آمیدی با مقدار بهینه محلول کیتوسان	۷۹
شکل ۳-۱۵- تصویر SEM مربوط به سطح مقطع الف) غشای پلی‌آمیدی، ب) غشای	۸۰
پلی‌آمیدی اصلاح شده با محلول کیتوسان	
شکل ۳-۱۶- تصاویر SEM سطح غشاها با دو بزرگنمایی متفاوت	۸۲
شکل ۳-۱۷- تصاویر دوبعدی و سه بعدی AFM غشای زیرلایه	۸۴
شکل ۳-۱۸- تصاویر دوبعدی و سه بعدی AFM غشای کامپوزیتی پلی‌آمیدی	۸۴
شکل ۳-۱۹- تصاویر دوبعدی و سه بعدی AFM غشای اصلاح شده با محلول ۰/۱٪ w/v	۸۵
کیتوسان	
شکل ۳-۲۰- تصاویر دوبعدی و سه بعدی AFM غشای اصلاح شده با محلول	۸۵
۰/۲٪ w/v کیتوسان	

شکل ۳-۲۱- تصاویر دوبعدی و سه بعدی AFM غشای اصلاح شده با محلول

۰/۳٪w/v کیتوسان ۸۵

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

- جدول ۱-۱- دسته‌بندی فرآیندهای غشایی بر اساس نیروی محرکه و نوع غشای مورد استفاده ۶
- جدول ۱-۲- مشخصات فرآیندهای فیلتراسیون با نیروی محرکه فشار ۶
- جدول ۱-۳- پارامترهای زبری سطح غشاهای بهینه ۸۶

فصل اول

مطالعه فرآیندهای غشایی و بررسی گرفتگی در

غشاهای نانوفیلتراسیون

مقدمه

با توجه به گسترش بحران کمبود آب، روش‌های تصفیه آب به منظور حذف مناسب و موثر آلودگی‌های مختلف از منابع آب در حال توسعه و پیشرفت هستند. فرآیندهای غشایی نظیر نانوفیلتراسیون^۱ (NF) و اسمز معکوس^۲ (RO) به طور فزاینده‌ای در احیا تصفیه آب آشامیدنی استفاده می‌شوند. مطالعات متعددی بر روی کارایی حذف مواد دارویی و دیگر مواد آلی با این غشاها (NF و RO) انجام شده است.

یکی از معایب استفاده از غشاهای نانوفیلتراسیون بحث گرفتگی^۳ این نوع غشاها توسط رسوبات می‌باشد و از آنجاییکه رسوبات آب‌گریز بسیاری در طبیعت وجود دارند، در این پژوهش هدف، ساخت و توسعه غشاهای نانوفیلتراسیون پلی‌آمیدی با خاصیت آب‌دوستی بالا می‌باشد تا از گرفتگی این غشاها توسط مواد آب‌گریز جلوگیری شود. در این تحقیق، از خواص آب‌دوستی پلیمر کیتوسان برای اصلاح سطح غشاهای پلی‌آمیدی و ایجاد سطحی با خاصیت ضدگرفتگی^۴ بالا استفاده شده است.

^۱ -Nanofiltration; NF

^۲ -Reverse osmosis; RO

^۳ - Fouling

^۴ - Antifouling

۱-۱- تعریف غشا

در یک تعریف عمومی، غشا می تواند یک مرز گزینشی^۱ بین دو فاز باشد، در یک فرآیند غشایی عموماً دو فاز وجود دارند که به وسیله غشا (فازسوم) به طور فیزیکی از یکدیگر جدا می شوند. غشا نسبت به یکی از اجزا انتخاب گر است. در این صورت انتقال آن جز از یک فاز به فاز دیگر توسط غشا انجام خواهد شد. به این ترتیب یکی از فازها غنی از آن جز و دیگری تهی از آن خواهد شد، گزینش پذیری انتقال جرم بین دو فاز را کنترل می کند [۱]. یک غشا می تواند ضخیم یا نازک باشد، ساختار آن می تواند همگن یا ناهمگن و متقارن^۲ یا نامتقارن^۳ باشد، غشا می تواند خنثی یا باردار (آنیونی یا کاتیونی) باشد، می تواند از جنس پلیمرهای آلی یا مواد معدنی (فلزی یا سرامیکی) و یا بیولوژیکی (فسفولیپیدها) باشد. در عمومی ترین جمله گفته می شود که " غشا یک سد است که دو فاز را از هم جدا می کند و انتقال اجزا شیمیایی مختلف را محدود می کند. " [۲].

فرآیندهای جداسازی بر پایه غشا نسبت به فرآیندهای جداسازی معمولی از لحاظ هزینه و انرژی با صرفه و کارا می باشند [۱]. تکنولوژی غشایی در جداسازی غیر حرارتی مهم می باشد و به منظور جلوگیری از محدودیت های ناشی از ترمودینامیک و همچنین در جداسازی مواد حساس به دما مورد توجه قرار گرفته است [۳].

به طور خلاصه دو عمل اصلی که توسط غشا انجام می گیرد عبارتند از : نفوذپذیری یا تراوش^۴ و انتخاب گری یا گزینش پذیری. انتقال جرم در طول یک غشا ممکن است به وسیله

¹ -Selective

² -Symmetric

³ -Asymmetric

⁴ -Permeability

نفوذ یا جابجایی حاصل شود. جابجایی می تواند در اثر اختلاف پتانسیل الکتریکی، غلظت، فشار یا درجه حرارت انجام شود [۱].

یک غشا به طور معمول توسط دو ویژگی مهم مشخص می شود؛ یکی دبی جریان خروجی بر واحد سطح یا شار و دیگری درصد مولکولی که از غشا عبور نمی کند یا احتباس [۴].

۱-۲- مکانیسم های جداسازی غشایی

به طور کلی سه نوع مکانیسم جداسازی توسط غشاها وجود دارد در زیر هر یک از آنها به طور مختصر بیان شده اند :

۱-۲-۱- غربال مولکولی

این مکانیسم مربوط به غشاهای متخلخل و دارای حفره است. اندازه اجزای انتقال یافته به وسیله این مکانیسم باید از اندازه حفرات موجود در غشا کوچکتر باشد. بنا بر تعریف آیوپاک، غشاهای متخلخل بر اساس اندازه قطر حفره ها به سه دسته تقسیم می شوند :

- غشا با حفره کوچک^۱: قطر متوسط حفره ها در این نوع غشاها کمتر از ۲ نانومتر است.
- غشا با حفره متوسط^۲: قطر متوسط حفره ها در این نوع غشاها بین ۲ تا ۵۰ نانومتر است.
- غشا با حفره بزرگ^۳: قطر متوسط حفره ها در این نوع غشاها بزرگتر از ۵۰ نانومتر است.

¹ - Micro porous
² - Meso porous
³ - Macro porous

۱-۲-۲- نفوذ مولکولی

در غشاهای بدون حفره یا متراکم، مکانیسم جداسازی نفوذ مولکولی در درون فضاهای خالی موجود در ماکرومولکول‌های سازنده غشاست. در این حالت هر چه ضخامت غشا بیشتر باشد نفوذپذیری حلال در غشا کاهش می‌یابد. همچنین نسبت مناطق بی‌نظم (آمورف) به مناطق منظم (کریستالی) تاثیر بسزایی در عملکرد غشا خواهد داشت. در واقع انتقال جرم در درون غشاهای پلیمری آمورف بیشتر از پلیمرهای کریستالی یا دارای اتصال عرضی است. لذا بهتر است پلیمرهای به کار رفته در تولید غشاها، پلیمری یا دارای اتصالات عرضی نباشند. از طرفی با کاهش این خواص استحکام مکانیکی غشا نیز کاهش می‌یابد. لذا سعی می‌شود یک حالت بهینه در این زمینه فراهم شود. غشاهای متراکم عمدتاً در تصفیه گاز یا فرآیند اسمز معکوس مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱-۲-۳- اختلاف بار یونی

این مکانیسم بیشتر در غشاهای تعویض یونی دیده می‌شود. در این مکانیسم کنترل و هدایت جداسازی بر اساس بار یونی مولکول در محلول و همچنین دانسیته بار یونی موجود در سطح غشا می‌باشد.

۱-۳- انواع فرآیندهای غشایی

همان طور که گفته شد، در فرآیندهای غشایی انتقال جرم بوسیله انواع مختلفی از نیروی محرکه انجام می‌گیرد که بر اساس آن، نوع فرآیند و حتی غشای مورد استفاده می‌تواند متفاوت باشد. در اکثر فرآیندها نیروی محرکه اختلاف فشار بین دو طرف غشاست. در جدول

۱-۱ خلاصه‌ای از فرآیندهای غشایی و نوع نیروی محرکه و غشای مورد استفاده به طور خلاصه آورده شده است.

فرآیندهای فیلتراسیون با نیروی محرکه فشار بر اساس اندازه جز جدا شده و اندازه حفره به چهار نوع فرآیند تقسیم می‌شوند که در هر یک مکانیسم انتقال جرم و همچنین محدوده فشار اعمال شده متفاوت است. در جدول ۱-۲ خلاصه‌ای از مشخصات این فرآیندها آورده شده است [۴].

جدول ۱-۱- دسته‌بندی فرآیندهای غشایی بر اساس نیروی محرکه و نوع غشای مورد استفاده

فرآیند	فازهای موجود در دو طرف غشا	نیروی محرکه (نوع اختلاف پتانسیل)	ساختار غشا
میکروفیلتراسیون	مایع-مایع	فشار	غشا با حفره‌های بزرگ
اولترافیلتراسیون	مایع-مایع	فشار	غشا با حفره‌های متوسط
نانوفیلتراسیون	مایع-مایع	فشار	غشا با حفره‌های کوچک
اسمز معکوس	مایع-مایع	فشار	غشای متراکم
دیالیز	مایع-مایع	غلظت	غشا با حفره‌های متوسط
تبخیر	مایع-بخار	فعالیت شیمیایی	غشای متراکم
الکترودیالیز	مایع-مایع	پتانسیل الکتریکی	غشای تعویض یونی

جدول ۱-۲- مشخصات فرآیندهای فیلتراسیون با نیروی محرکه فشار

فرآیند	شعاع حفره (نانومتر)	محدوده فشار (بار)	مکانیسم انتقال
اسمز معکوس	< 0.5	۲۰-۸۰	نفوذ-حلالیت
نانوفیلتراسیون	۰.۵ - ۲	۵-۳۰	نفوذ-حلالیت جابجایی دافعه یونی
اولترافیلتراسیون	۲ - ۵۰	۰.۵-۱۰	جابجایی غربال مولکولی
میکروفیلتراسیون	> 50	۰.۱-۵	جابجایی غربال مولکولی