

چکیده

در این پژوهش ابتدا مروری بر مدل های تراوایی موجود برای غشاهای مخلوط ماتریس و به ویژه غشاهای نانوکامپوزیت پلیمری انجام و سپس دو مدل جدید برای تراوایی مؤثر غشاهای نانوکامپوزیت پیشنهاد شده است. در این مدل ها وجود لایه فصل مشترک در سطح نانوپرکن ها لحاظ شده و اثر دو پدیده مهم- ایجاد حجم تهی و افزایش حجم آزاد- در این لایه بررسی شده است. کارآیی مدل های پیشنهادی برای پیش بینی داده های آزمایشگاهی با استفاده از ۵ سری داده آزمایشگاهی نشان داده شده و همچنین برتری این مدل ها در مقایسه با مدل دوفازی بروگمن و حالت حدی آن مدل که تنها مدل ارائه شده برای نانوکامپوزیت هاست، به اثبات رسیده است.

واژگان کلیدی: مدلسازی، تراوایی، نانوکامپوزیت، پلیمر، لایه فصل مشترک، غشا

فهرست مطالب

د فهرست علائم و اصطلاحات.....

ح فهرست جدولها.....

ط فهرست تصویرها و شکلها.....

فصل اول: مقدمه

۲ ۱ - مقدمه.....

فصل دوم: مروری بر ادبیات موضوع

۶ ۲-۱ غشاهای پلیمری.....

۶ ۲-۱-۱ تاریخچه.....

۷ ۲-۱-۲ مشخصه های غشا.....

۷ ۲-۱-۲-۱ تراوایی (P).....

۷ ۲-۲-۱-۲-۲ گزینش پذیری (α_{AB}).....

۸ ۲-۱-۳ طبقه بندی غشاهای پلیمری.....

۸ ۲-۱-۳-۱ غشاهای متخلخل.....

۸ ۲-۱-۳-۲ غشاهای نامتخلخل یا چگال.....

۹ ۲-۳-۱-۳ غشاهای نامتقارن.....

۱۰ ۲-۱-۴ مکانیسم انتقال.....

۱۰ ۲-۱-۴-۱ مکانیسم انتقال در غشاهای متخلخل.....

۱۲ ۲-۱-۴-۲ مکانیسم انتقال در غشاهای نامتخلخل یا چگال.....

۱۴ ۲-۲ غشاهای پلیمری چگال.....

۱۴ ۲-۲-۱ روش های جذب.....

- ۱۴.....قانون جذب هنری.....۱-۱-۲-۲
- ۱۵.....جذب لانگموئیری.....۲-۱-۲-۲
- ۱۵.....جذب به روش دوگانه.....۳-۱-۲-۲
- ۱۶.....جذب به روش فلوری هاگینز.....۴-۲-۲-۲
- ۱۶.....BET جذب به روش.....۵-۱-۲-۲
- ۱۷.....مدل های انتقال گاز در پلیمرها.....۲-۲-۲
- ۱۷.....مدل های میکروسکوپی.....۱-۲-۲-۲
- ۱۸.....پلیمرهای لاستیکی ($T > T_g$).....۱-۱-۲-۲-۲
- ۲۱.....پلیمرهای شیشه ای ($T < T_g$).....۲-۱-۲-۲-۲
- ۲۱.....مدل جذب دوگانه.....۱-۲-۱-۲-۲-۲
- ۲۶.....مدل ماتریس پلیمر-گاز.....۲-۲-۱-۲-۲-۲
- ۲۸.....مقایسه مدل جذب دوگانه(مدل اول) و مدل ماتریس پلیمر-گاز.....۳-۲-۱-۲-۲-۲
- ۲۹.....مدل های مولکولی.....۲-۲-۲-۲
- ۳۱.....رفتار رقابتی بین تراوایی (P) و گزینش پذیری (α_{AB}).....۳-۲-۲
- ۳۳.....غشاهای مخلوط ماتریس(MMMs).....۳-۲-۲
- ۳۵.....مدل های نفوذ در غشاهای مخلوط ماتریس.....۱-۳-۲
- ۳۵.....مدل های دوفازی.....۱-۱-۳-۲
- ۴۱.....مدل های سه فازی.....۲-۱-۳-۲
- ۴۴.....تعیین پارامترهای لایه فصل مشترک.....۱-۲-۱-۳-۲
- ۴۴.....محاسبه تراوایی لایه فصل مشترک.....۱-۱-۲-۱-۳-۲
- ۴۹.....محاسبه ضخامت لایه فصل مشترک.....۲-۱-۲-۱-۳-۲
- ۵۰.....غشاهای نانوکامپوزیت.....۲-۳-۲

۵۳.....۱-۲-۳-۲-مکانیسم انتقال در غشاهای نانوکامپوزیت.....

۵۵.....۲-۲-۳-۲-مدل نفوذ در غشاهای نانوکامپوزیت.....

۵۷.....۳-۲-۳-۲-تغییر مکانیسم نفوذ.....

فصل سوم: مدلسازی تراوایی گازها در غشاهای نانوکامپوزیت پلیمری

۵۹.....۳-مدلسازی تراوایی گازها در غشاهای نانوکامپوزیت پلیمری.....

۶۰.....۱-۱-ارائه مدل جدید شبه دوفازی بر پایه مدل بروگمن.....

۶۲.....۲-۳-ارائه مدل جدید شبه سه فازی بر پایه مدل بروگمن.....

۶۶.....۳-۳-مدلسازی فرایند.....

فصل چهارم: نتایج و بحث

۶۸.....۴-نتایج و بحث.....

۷۲.....۱-۴-بررسی کارآیی دو مدل جدید در پیش بینی نتایج تجربی.....

۷۲.....۱-۱-۴-تحلیل نتایج مربوط به سری اول داده ها.....

۷۴.....۲-۱-۴-تحلیل نتایج مربوط به سری دوم داده ها.....

۷۷.....۳-۱-۴-تحلیل نتایج مربوط به سری سوم، چهارم و پنجم داده ها.....

۸۲.....۲-۴-مقایسه دو مدل ارائه شده با مدل هایی که تاکنون برای نانوکامپوزیت ها پیشنهاد شده..

۸۳.....۱-۲-۴-تحلیل نتایج مربوط به سری اول داده ها.....

۸۵.....۲-۲-۴-تحلیل نتایج مربوط به سری دوم داده ها.....

۸۸.....۳-۲-۴-تحلیل نتایج مربوط به سری سوم، چهارم و پنجم داده ها.....

فصل پنجم: نتایج و پیشنهادها

۹۶.....۱-۵-نتایج.....

۹۷.....۲-۵-پیشنهادها.....

۹۸.....مراجع.....

فهرست علائم و اصطلاحات

S : ضریب حلالیت

D : ضریب نفوذ (m^2/s)

D_D : ضریب نفوذ مولکولهای حل شده در پلیمر

D_H : ضریب نفوذ مولکولهای دیگر

P : تراوایی (Barrer)

α_{AB} : گزینش پذیری

λ : متوسط مسیر پویش آزاد

r : شعاع حفره

η : ویسکوزیته گاز

R : ثابت جهانی گازها

T : دما

T_g : دمای گذار شیشه ای

M : وزن مولکولی

P : فشار

P_1 : فشار جزئی گاز در سمت خوراک

P_2 : فشار جزئی گاز در سمت نفوذکننده

L : طول حفره

G_{SiV} : جریان ویسکوز

G_{Iom} : جریان مولکولی گاز

k_D : ثابت هنری

C'_H : ثابت اشباع حفره یا ثابت مشخصه مکانهای خالی

b : ثابت پیوستگی حفره

α : فعالیت ترمودینامیکی جزء در مخلوط

P^0 : فشار بخار اشباع در دمای آزمایشگاه

ϕ_1 : کسر حجمی نفوذ کننده در پلیمر

χ : پارامتر بر هم کنش آنتالپیک پلیمر و حل شونده

v_{occ} : حجمهای اشغال شده واندروالسی

v_f : حجم آزاد موجود

v_{Tot} : مجموع حجمهای اشغال شده واندروالسی (v_{occ}) و حجم آزاد (v_f) موجود

F_i : مشخصه ثابت سامانه گاز - پلیمر

v_i^* : حداقل اندازه المان حجم آزاد که میتواند نفوذ کننده را در خود جای دهد یا حجم مولکولی گاز

A_i^* : پارامتر وابسته به شکل و اندازه نفوذ کننده

f : کسر حجمی آزاد

x_1 : پارامتر بر همکنش فلوری - هاگینز (Flory-Huggins)

p_1^0 : فشار تعادلی بخار مایع - گاز در دمای T

f_1 : کسر حجمی آزاد جزء ۱

f_g : کسر حجمی آزاد در دمای گذار شیشه‌ای

β_f : ضریب انبساط حجم آزاد

C_D : غلظت مولکولهای حل شده در پلیمر به وسیلهی فرآیند حلالیت معمولی

C_H : غلظت مولکولهای به دام افتاده به وسیلهی جذب سطحی روی مواضع معین (فضاهای خالی یا

حفره ها)

P^0 : فشار بخار حالت مرجع

μ° : پتانسیل شیمیایی در فشار P^o و دمای T

v : حجم مولی جزئی اجزاء

k : ثابت تناسب

J_C : پتانسیل شیمیایی ترم غلظت

J_P : پتانسیل شیمیایی ترم فشار

P_0 : فشار جزئی گاز در سمت خوراک

k_1 : ثابت سرعت واکنش سطحی جذب

α : یک ثابت

S_0 و D_0 : ضرایب انتقال در غلظت حدی صفر

$T_g(0)$: دمای گذار شیشه‌های پلیمر خالص

$T_g(C)$: دمای گذار شیشه‌های سامانه پلیمر-گاز

P_C : تراوایی نفوذ کننده در فاز پیوسته

P_d : تراوایی نفوذ کننده در فاز پراکنده

ϕ_m : حداکثر کسر حجمی پرکن

P_{eff} : تراوایی مؤثر غشا مخلوط ماتریس

ϕ_t : آستانه تراوش (کسر حجمی پرکن)

t : توان بحرانی

ϕ : کسر حجمی کل فاز پراکنده (ذرات + سطح مشترک) در کامپوزیت

ϕ_s : کسر حجمی پرکن در حجم مخلوط ذره و سطح مشترک (در یک ذره و سطح مشترک تنها)

ϕ_l : کسر حجمی لایه‌ی سطح مشترک

r_d : شعاع ذره

l_l : ضخامت لایه‌ی سطح مشترک

P_1 : تراوایی لایه سطح مشترک

P_{2nd} : مجموع تراوایی لایه‌های سطح مشترک و ذره‌های تنها

δ : نسبت شعاع بیرونی لایه‌های سطح مشترک به شعاع ذره

$D_{A,K}$: ضریب نفوذ نودسن بر حسب cm^2/s

d_g : قطر مولکولی گاز بر حسب A°

P_{rig} : تراوایی ناحیه‌ی پلیمری صلب شده

β : فاکتور بیتحرکی زنجیره

P_{blo} : تراوایی پوسته‌ی ذره پرکن که با زنجیره‌ی پلیمری مسدود شده

β' : فاکتور کاهش متوسط به واسطه انسداد جزئی حفره

S_{eff} : ضریب حلالیت غشا مخلوط ماتریس

D_{eff} : ضریب نفوذ غشا مخلوط ماتریس

D_0 : ضریب نفوذ در پلیمر خالص

S_0 : ضریب حلالیت در پلیمر خالص

τ : ضریب پیچش

ϕ_D : کسر حجمی توده ذره

ϕ_1 : کسر حجمی لایه‌های سطح مشترک

P_C : تراوایی ماتریس پلیمری

P_{3rd} : تراوایی کامپوزیت فاز سوم

ϕ_3 : کسر حجمی توده ذره در فاز سوم

l_1 : ضخامت لایه‌های حجم‌های تهی اطراف ذره

فهرست جدولها

صفحه	عنوان
۱۶.....	جدول ۱-۲: گونه های مختلف جذب در غشاهای پلیمری.....
۷۰.....	جدول ۱-۴: مشخصات و شرایط عملیاتی داده های آزمایشگاهی مورد استفاده.....
.....	جدول ۲-۴: تراوایی گاز در غشا مخلوط ماتریس پلی سولفون / سیلیکا به عنوان تابعی از کسر حجمی سیلیکا.....
۷۱.....
.....	جدول ۳-۴: تراوایی گاز در غشا نانوکامپوزیت OiT2-PTMSP به عنوان تابعی از کسر حجمی TiO2.....
۷۱.....
.....	جدول ۴-۴: تراوایی گاز در غشا نانوکامپوزیت FS-PCIPA به عنوان تابعی از کسر حجمی FS.....
۷۲.....
.....	جدول ۵-۴: تراوایی گاز در غشا نانوکامپوزیت FS-PTMSDPA به عنوان تابعی از کسر حجمی FS.....
۷۲.....
.....	جدول ۶-۴: تراوایی گاز در غشا نانوکامپوزیت FS-PTMSP به عنوان تابعی از کسر حجمی FS.....
۷۳.....

فهرست تصویرها/شکلها

صفحه	عنوان
۱۳.....	شکل ۱-۲: انواع غشا بر حسب پارامتر تخلخل و مکانیسم های نفوذ.....
۱۶.....	شکل ۲-۲: طبقه بندی مکانیسم انتقال گاز درون غشا بر حسب اندازه حفرات.....
۲۱.....	شکل ۳-۲: ایزوترمهای حاصل از گونههای مختلف جذب.....
۳۳.....	شکل ۴-۲: مدل‌های گوناگون نفوذ مولکولی.....
۳۵.....	شکل ۵-۲: نمودار رفتار رقابتی رابسون.....
۳۷.....	شکل ۶-۲: تصویری از چگونگی پراکندگی ذرات در پلیمر.....
۴۶.....	شکل ۷-۲: تصویری از ذره و لایه‌ی سطح مشترک اطراف آن در کامپوزیت سه فازی.....
۴۹.....	شکل ۸-۲: تصویری فرضی از حضور حجم‌های تهی در سطح مشترک پلیمر- ذره.....
۵۸.....	شکل ۹-۲: تشکیل حجم تهی در غشاهای نانوکامپوزیت BOPP _{dp} / Silica.....
۶۶.....	شکل ۱-۳: فازهای سه گانه در غشا نانوکامپوزیت پلیمری.....
	شکل ۱-۴: مقایسه تراوایی گازها در غشا نانوکامپوزیت پلی سولفون- سیلیکا پیش بینی شده
۹۱.....	با مدل شبه سه فازی بروگمن و مدل شبه دوفازی بروگمن با مقادیر آزمایشگاهی.....
	شکل ۲-۴: مقایسه تراوایی گازها در غشا نانوکامپوزیت TiO ₂ - PSMTTP پیش بینی شده با مدل شبه
۹۳.....	سه فازی بروگمن و مدل شبه دوفازی بروگمن با مقادیر آزمایشگاهی.....
	شکل ۳-۴: مقایسه تراوایی گازها در غشا نانوکامپوزیت FS- PTMSDPA پیش بینی شده با مدل شبه
۹۵.....	سه فازی بروگمن و مدل شبه دوفازی بروگمن با مقادیر آزمایشگاهی.....
	شکل ۴-۴: مقایسه تراوایی گازها در غشا نانوکامپوزیت FS- PCIPA پیش بینی شده با مدل شبه سه
۹۶.....	فازی بروگمن و مدل شبه دوفازی بروگمن با مقادیر آزمایشگاهی.....
	شکل ۵-۴: مقایسه تراوایی گازها در غشا نانوکامپوزیت FS- PSMTTP پیش بینی شده با مدل شبه سه
۹۷.....	فازی بروگمن و مدل شبه دوفازی بروگمن با مقادیر آزمایشگاهی.....

- شکل ۴-۶: مقایسه تراوایی گازها در غشا نانوکامپوزیت پلی سولفن-سیلیکا پیش بینی شده با دو مدل جدید و حالت حدی مدل بروگمن با مقادیر آزمایشگاهی..... ۱۰۰
- شکل ۴-۷: مقایسه تراوایی گازها در غشا نانوکامپوزیت TiO_2 - PSMTTP پیش بینی شده با دو مدل جدید و حالت حدی مدل بروگمن با مقادیر آزمایشگاهی..... ۱۰۳
- شکل ۴-۸: مقایسه تراوایی گازها در غشا نانوکامپوزیت FS- PTMSDPA پیش بینی شده با دو مدل جدید و حالت حدی مدل بروگمن با مقادیر آزمایشگاهی..... ۱۰۶
- شکل ۴-۹: مقایسه تراوایی گازها در غشا نانوکامپوزیت FS- PCIPA پیش بینی - شده با دو مدل جدید و حالت حدی مدل بروگمن با مقادیر آزمایشگاهی..... ۱۰۸
- شکل ۴-۱۰: مقایسه تراوایی گازها در غشا نانوکامپوزیت FS- PSMTTP پیش بینی شده با دو مدل جدید و حالت حدی مدل بروگمن با مقادیر آزمایشگاهی..... ۱۱۰

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

فرایند جداسازی غشائی، یک فرایند مورد توجه صنعتی است. بررسیهای متعددی در زمینههای گوناگون مرتبط با فناوری غشا انجام شده که منجر به بهبود عملکرد و کاربرد وسیعتر آن شده است [۱].

امروزه فرایند جداسازی غشائی جایگاه مناسب خود را در بین انواع روشهای جداسازی (جذب سطحی، جذب با حلال، ...) به دست آوردهاست. مزیت اصلی فناوری غشائی در مقایسه با دیگر عملیات واحد، گزینش پذیری فرایند انتقال در غشاهاست. از دیگر مزایای این روش عبارت است از [۱-۲]:

- مصرف انرژی کمتر برای انجام جداسازی
- هزینه عملکرد پایین
- امکان انجام عملیات جداسازی در دمای محیط
- سهولت دستیابی به کلیه فازهای جداسازی شده
- انجام عملیات جداسازی توسط تجهیزاتی با وزن و حجم کم
- نصب و عملیات ساده
- حداقل نیاز به کنترل، بازرسی، تعمیر و نگهداری
- طبیعت بستههای بودن فرآیند و بنابراین انعطاف پذیری بالای فرآیند برای پاسخگویی به انواع نیازهای جداسازی
- بی‌نیازی به استفاده از مواد شیمیایی برای جداسازی و بنابراین نبود مسائل زیست محیطی ناشی از مصرف مواد شیمیایی

- ایده‌ها برای مناطق دوردست و موقعیتهایی که امکان فراهم آوردن تسهیلات جانبی فرآیندها موجود نباشد.

در ساخت غشاها مواد مختلفی به کار می‌روند، از این میان پلیمرها مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند. غشاهای پلیمری در عملیات جداسازی بسیاری با موفقیت استفاده شده‌اند. موفقیت آنها به واسطه هزینه‌ی تولید پایین، ساخت آسان، پایداری مکانیکی و گرمایی بالا و خصوصیات جداسازی بالای آنهاست. مطالعه‌ی خصوصیات جداسازی و انتقال گاز درون غشاهای پلیمری مورد توجه بسیار قرار گرفته است [۳].

بررسی مشخصه‌های جداسازی گاز در غشاهای پلیمری منجر به بهبود سریع خصوصیات آنها شده است. در اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰، یک حد بالایی عملکرد برای غشاهای پلیمری برای جداسازی اکسیژن و نیتروژن ارائه شد. این حد جداسازی زیر حد عملکرد مطلوب برای کاربردهای معمول بود، در حالی که در مقیاس مشابه، غشاهای غربال مولکولی کربنی^۱ و ژئولیت خصوصیات قابل توجهی از لحاظ تجاری برای O₂ و N₂ نشان دادند، همچنین مواد غربال مولکولی به خوبی بالای خط حدی منحنی رقابتی پلیمر قرار می‌گرفتند. اما این مواد گران قیمت با پایداری مکانیکی پایین هستند. معایب مواد غربال مولکولی خالص و پلیمر خالص نیاز به رویکرد تلفیقی را برای ساخت و توسعه مواد غشائی پیش بینی می‌کرد، به این منظور غشاهای مخلوط ماتریس (sMMM) توسعه یافت [۴]. غشاهای نانوکامپوزیت پلیمری زیر مجموعه‌ای از غشاهای مخلوط ماتریسی هستند که به واسطه‌ی خصوصیات ویژه‌ای که دارند، در فرایند جداسازی گاز مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند. به دنبال گسترش غشاهای نانوکامپوزیت، ضرورت به دست آوردن مدلی که بتواند خصوصیات جداسازی آنها را پیش بینی کند، نیز احساس شد. هدف از این پژوهش ارائه مدلی است که خصوصیات جداسازی گازها در غشاهای نانوکامپوزیت را بهتر پیش بینی کند.

¹ Molecular Sieve Carbon Membrane (MSCM)

پس از معرفی موضوع و اهداف پژوهش در فصل اول، فصل دوم، به بررسی تاریخچه و تحقیقاتی که تاکنون در مورد غشاهای پلیمری، غشاهای مخلوط ماتریس و مشخصاً غشاهای نانوکامپوزیت پلیمری و مدلسازی آنها انجام شده است، یافته است. سپس، در فصل سوم به ارائه مدلهای جدید پیشنهادی برای غشاهای نانوکامپوزیت پلیمری پرداخته و در فصل چهارم، کارآیی مدلسازی با مدل های جدید ارائه شده و مدلهای موجود در پیش بینی نتایج تجربی مقایسه و نتایج به دست آمده تحلیل و بررسی شده است. نهایتاً در فصل پنجم از نتیجه گیری کلی از این مطالعه پیشنهادهایی برای ادامه کار در پروژههای بعدی ارائه شده است.

فصل دوم

مروری بر ادبیات گذشته

۲-۱ غشاهای پلیمری

۲-۱-۱ تاریخچه

اساس جداسازی غشایی گازها به وسیلهی توماس گراهام در سال ۱۸۲۹ بنیانگذاری شد، وی اولین آزمایش ثبت شده را روی انتقال گازها و بخارها در غشاهای پلیمری انجام داد. در سال ۱۸۶۶ او مفهوم تراوایی (P) گاز را بر حسب مکانیسم حلالیت - نفوذ منتشر کرد. در سال ۱۸۵۵ فیک یک توصیف کمی از انتقال مواد درون لایه‌ی مرزی ارائه کرد. مفهوم این دو مدل برای فهمیدن پدیده‌ی نفوذ گاز درون غشاها به طور ویژه‌ی استفاده شد. dlohcneB اولین کسی بود که رابطهای بین خواص فیزیکی مثل شعاع حفره و عملکرد غشا تعریف کرد. او در سال ۱۹۰۷ روشی را برای آماده کردن غشاهای نیتروسولولز از ساختارهای اندازه حفره‌ی درجه بندی شده پیشنهاد کرد. به دنبال آن مفهوم توزیع اندازه حفره توسعه یافت. sorok این روش را برای آماده کردن غشاهای نیتروسولولز بهبود بخشید و این غشاها در دهه‌ی ۱۹۳۰ به صورت تجاری وارد بازار شد. در طول ۲۰ سال بعدی غشاهای دیگری مثل سلولزاستات در غشاهای میکروفیلتراسیون آزمایش شد و در دهه‌ی ۱۹۴۰ اولین کاربرد را در فیلتراسیون نمونه‌های آب نوشیدنی پیدا کرد. در اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰ استفاده از غشاها برای جداسازی مخلوط گازها برای عملیات خاص مثل جداسازی هیدروژن از بخار تولیدی آمونیاک کاربرد صنعتی یافت. در دهه‌ی ۱۹۸۰ با توسعه‌ی غشاهای پلیمری سنتزی، پیشرفت در علم و فناوری غشا شتاب گرفت. در این دوره پیشرفتهای زیادی در زمینه‌ی بهبود فرایندهای تشکیل غشا، ساختارهای فیزیکی و شیمیایی و کاربردهای آن صورت گرفت [۵].

۲-۱-۲- مشخصه‌های غشا

گزینش پذیری^۱ (α_{AB}) و تراوایی^۲ (P) دو پارامتر مهم مواد غشائی برای تعیین کارایی فرآیند جداسازی گاز است.

۲-۱-۲-۱- تراوایی (P)

ضریب تراوایی (P) بیان کننده‌ی سهولت عبور گاز از غشا، تحت یک اختلاف فشار معین است. این ضریب به صورت حاصلضرب فاکتور سینتیک ضریب نفوذ^۳ (D) که معیاری از پویایی و دینامیک بودن سامانه پلیمر- نفوذکننده است و ترم ترمودینامیکی حلالیت^۴ (S) که وابسته به بر همکنش پلیمر- نفوذکننده است، ارائه میشود [۶]:

$$P = D \cdot S \quad (1-2)$$

معمولاً تراوایی با واحد Barrer داده میشود، که به صورت زیر است [۷]:

$$1 \text{ Barrer} = 3.35 \times 10^{-16} (\text{mol} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}) = 10^{-10} (\text{cm}^3 (\text{STP}) \cdot \text{cm} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cmHg}^{-1})$$

۲-۱-۲-۲- گزینش پذیری (α_{AB})

گزینش پذیری توانایی ایده‌آل غشا برای جداسازی سیال A و B است و به صورت نسبت تراوایی (P) دو جزء تعریف میشود [۸]:

$$\alpha_{AB} = \frac{P_A}{P_B} = \frac{D_A S_A}{D_B S_B} \quad (2-2)$$

اختلاف انتقال در غشا به واسطه‌ی محدودیت‌های موجود در بعضی مسیرهای معین [۵] برای انتقال اجزاء مختلف نفوذکننده است.

¹ ytivitceleS
² Permeability
³ ytivisuffiD
⁴ Solubility

۲-۱-۳- طبقه‌بندی غشاهای پلیمری

شکل^۱ غشا مکانیسم انتقال را تعیین میکند و بنابر این، عملکرد جداسازی را تحت تأثیر قرار میدهد.

طبقه بندی غشاهای پلیمری بر اساس شکل پلیمر (پارامتر تخلخل)، به صورت زیر است [۵]:

غشاهای متخلخل^۲

غشاهای نامتخلخل^۳ یا چگال

غشاهای نامتقارن^۴

۲-۱-۳-۱- غشاهای متخلخل

ساختار این نوع غشا دارای حفرات^۵ زیادی است که به صورت تصادفی توزیع شده‌اند. جداسازی مواد

با این نوع غشا، تابعی از ماهیت نفوذکننده و خصوصیات غشا مثل توزیع اندازه حفره است. غشاهای

متخلخل، تراوایی (P) بالایی برای جداسازی گاز ارائه می‌دهند، اما گزینش پذیری (α_{AB}) آنها پایین

است [۵].

۲-۱-۳-۲- غشاهای نامتخلخل یا چگال

این گونه غشاها گزینش پذیری (α_{AB}) یا جداسازی بالایی را برای گازها از مخلوطشان ارائه می‌دهند

اما نرخ انتقال گاز (P) آنها معمولاً پایین است.

خصوصیت دیگر این غشاها این است که نفوذکنندهها با اندازه یکسان در صورتی که حلالیت متفاوتی

در پلیمر داشته باشند، قابل جداسازیاند [۵].

¹ ygolohproM

² suoroP enarbmern

³ Non-Porous Membrane

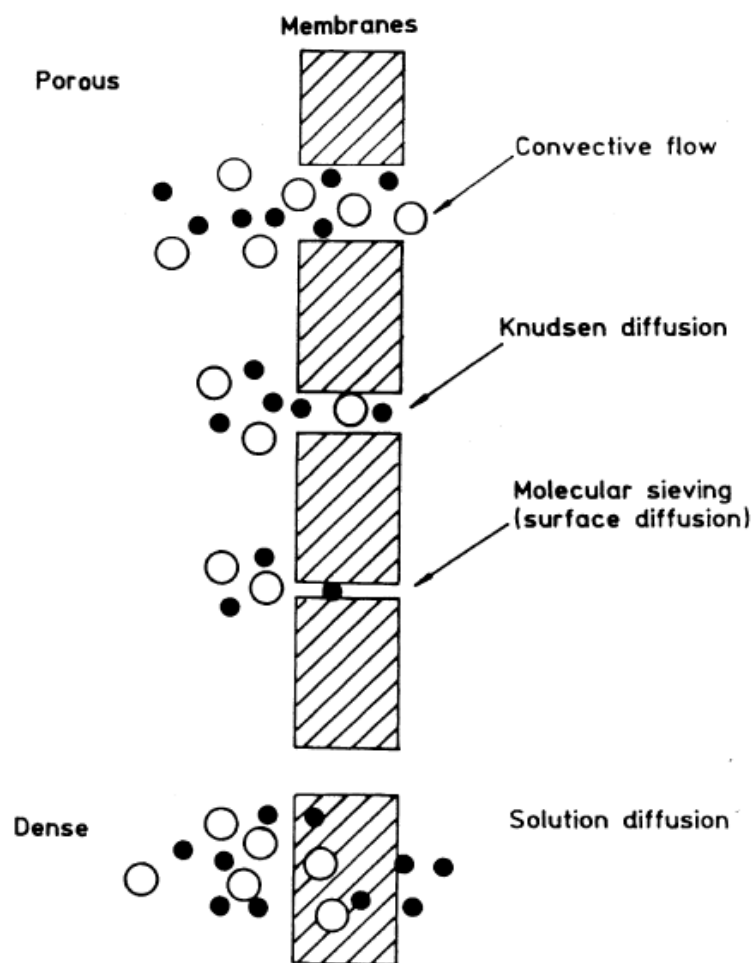
⁴ Assymmetric

⁵ eroP

۲-۱-۳-۳- غشاهای نامتقارن

این نوع غشاها از دو لایه‌ی ساختاری مجزا تشکیل شده‌اند که یکی از آنها نازک، پوسته‌ی انتخاب پذیر چگال و دیگری ضخیم، لایه‌ی ماتریسی متخلخل است. کارکرد لایه‌ی متخلخل، حمایت فیزیکی از لایه‌ی نازک است [۵].

شکل زیر طبقه بندی غشا بر اساس پارامتر تخلخل را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱ انواع غشا بر حسب پارامتر تخلخل و مکانیسم های نفوذ [۵]