

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



عنوان پروژه:

# مدلسازی پدیده گرفتگی در فرآیند اسمز معکوس

امیر زوارقی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد  
در رشته مهندسی شیمی گرایش طراحی فرآیندهای جداسازی

اسفند ماه ۱۳۸۵



عنوان پروژه:

# مدلسازی پدیده گرفتگی در فرآیند اسمز معکوس

امیر زوارقی

استاد راهنما:

دکتر تورج محمدی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد  
در رشته مهندسی شیمی گرایش طراحی فرآیندهای جداسازی

اسفند ماه ۱۳۸۵

تقدیم به:

فداکاری های پدرم

مهربانی های مادرم

صبوری های همسرم

## تقدیر و تشکر:

با آرزوی موفقیت و کامیابی، از استاد گرامی جناب آقای **دکتر تورج محمدی** که همواره با ارائه راهنمایی‌های ارزشمندشان انجام پروژه را عملی کردند و به خاطر صبر و بردباریشان در حل تمامی مشکلات به وجود آمده در طول پروژه نهایت سپاس و قدردانی را دارم.

همچنین از تمام دوستانی که در انجام این پروژه اینجانب را یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

## چکیده

شبیه‌سازی عددی فرآیندهای غشایی یک ابزار جدید برای طراحی و بهینه‌سازی فرآیندها می‌باشد. دینامیک سیالات محاسباتی CFD ابزار مهمی جهت طراحی و بهینه‌سازی فرآیندهای شیمیایی بوده و در طول سالهای اخیر برای مدل‌سازی فرآیندهای شیمیایی بیشتر پذیرفته شده و پیشرفت‌های زیادی به سمت توسعه کدهای کامپیوتری صورت گرفته است.

امولسیون‌های آب و نفت یکی از آلاینده‌های اصلی تراوش شده به داخل آب توسط صنایع و فاضلابهای خانگی می‌باشند. همچنین امروزه آب‌های آلوده به نفت در منابع زیر زمینی و مناطق ساحلی تبدیل به جدی‌ترین آلاینده آب‌ها شده‌اند. بطوریکه نیاز به تصفیه آنها ضروری به نظر می‌رسد.

در این پایان‌نامه جداسازی نفت از آب‌های آلوده با روش اسمز معکوس مدل‌سازی CFD گردیده است و نتایج حاصله از این مدل‌سازی با نتایج تجربی مقایسه گردیده است. برای انجام آزمایشات از یک امولسیون مصنوعی با استفاده از نفت خام جنوب ایران استفاده شده است. تاثیر سرعت و فشار بر میزان تراوش آب مورد بررسی قرار گرفته و در ۷ فشار مختلف این تاثیرات مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت با افزایش فشار میزان تراوش آب افزایش می‌یابد. همچنین این حالت با افزایش سرعت نیز اتفاق می‌افتد.

به منظور ارزیابی دقیق‌تر، نتایج حاصل از مدل‌سازی با نتایج تجربی باهم مقایسه گردیده‌اند که تطابق خوبی را نشان داده‌اند.

با توجه به اینکه شرایط پدیده گرفتگی در نرم افزار fluent قابل مدل‌سازی نمی‌باشد لذا از اثرات گرفتگی در صرف‌نظر گردیده و خود فرآیند اسمز معکوس مدل گردیده است.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
------	-------

مقدمه

## فصل اول: معرفی فرآیندهای غشایی

۲	۱-۱- تعریف غشاء
۳	۲-۱- تاریخچه کاربرد غشا در جداسازی
۵	۳-۱- جنس غشاء
۶	۱-۳-۱- غشاهای پلیمری
۸	۲-۳-۱- غشاهای سرامیکی
۹	۳-۳-۱- غشاهای فلزی
۹	۴-۳-۱- غشاهای مایع
۱۱	۴-۱- خواص غشاء
۱۲	۱-۴-۱- خواص فیزیکی
۱۳	۲-۴-۱- خواص شیمیایی
۱۴	۵-۱- ساختمان غشاهای
۱۷	۶-۱- مدولهای غشایی
۱۸	۱-۶-۱- مدول لوله‌ای
۱۸	۲-۶-۱- مدول صفحه و قاب
۲۰	۳-۶-۱- مدول مارپیچی
۲۰	۴-۶-۱- مدول موپینه‌ای
۲۲	۷-۱- انواع فرآیندهای جداسازی غشایی
۲۴	۱-۷-۱- فرآیندهای غشایی با نیروی محرکه اختلاف فشار
۲۵	۲-۷-۱- فرآیندهای غشایی با نیروی محرکه اختلاف غلظت (فعالیت)
۲۵	۳-۷-۱- فرآیندهای غشایی با نیروی محرکه اختلاف پتانسیل الکتریکی
۲۶	۴-۷-۱- فرآیندهای غشایی با نیروی محرکه اختلاف دما
۲۶	۸-۱- کاربرد های فرآیندهای غشایی
۲۷	۹-۱- مزایای فرآیندهای غشایی
۲۸	۱۰-۱- محدودیتهای استفاده از تکنولوژی غشاء

## فصل دوم: فرآیند اسمز معکوس

۳۲	۱-۲- مقدمه
۳۴	۲-۲- اسمز و اسمز معکوس
۳۶	۳-۲- غشاهای مورد استفاده در فرآیند RO
۳۶	۱-۳-۲- جنس غشا
۳۹	۲-۳-۲- خواص فیزیکی و شیمیایی
۴۰	۴-۲- کاربردهای RO
۴۰	۱-۴-۲- اسمز معکوس و نمک زدایی
۴۲	۲-۴-۲- فرآیند RO در صنایع لبنی

## فصل سوم: مروری بر دینامیک سیالات محاسباتی

۴۶	۳-۱- CFD چیست؟
۴۷	۳-۱-۱- نحوه عملکرد یک برنامه CFD
۵۰	۳-۲- کدها و نرم افزارهای CFD
۵۱	۳-۳- کاربردهای CFD در مهندسی شیمی
۵۴	۳-۴- مزایای استفاده از CFD
۵۵	۳-۵- موانع رشد تکنولوژی
۵۶	۳-۶- الگوریتم SIMPLE
	<b>فصل چهارم: مدل سازی</b>
۶۲	۴-۱- مروری بر کارهای انجام شده
۶۶	۴-۲- مدل سازی CFD غشا اسمز معکوس
۷۵	۴-۳- روش حل
	<b>فصل پنجم: بحث و نتایج</b>
۷۸	۵-۱- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با مدل سازی
۷۸	۵-۲- نتایج
۸۱	۵-۲-۱- همگرایی
۸۲	۵-۲-۲- سرعت در طول کانال
۸۳	۵-۲-۳- میزان اغتشاش
۸۳	۵-۲-۴- میزان تغییرات فشار بر حسب سرعت
۸۴	۵-۲-۵- اثر سرعت خطی جریان بر میزان سرعت جرمی
۸۵	۵-۲-۶- تاثیر فشار بر میزان تراوش از مجرای بالا و پائین
۸۶	۵-۳- بحث و نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات
۸۸	منابع و مراجع



## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۸	جدول ۱-۱- پلیمرهای متداول برای ساخت غشاهای
۲۴	جدول ۲-۱- طبقه بندی فرآیندهای غشایی بر اساس نیروی محرکه اعمال شده
۲۶	جدول ۳-۱- برخی کاربردهای رایج فرآیندهای غشایی
۳۳	جدول ۱-۲- فشار اسمزی محلولهای مختلف در $25^{\circ}C$
۶۷	جدول ۱-۴- خواص فیزیکی نفت خام و آب
۷۶	جدول ۲-۴- <b>Relaxation factor</b> های تعریف شده
۸۱	جدول ۱-۵- میزان غلظت نفت در <b>permeat</b> در فشارهای مختلف

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱- دو فاز جدا شده توسط غشا
۵	شکل ۲-۱- نمونه ای از فرآیند غشایی
۶	شکل ۳-۱- تقسیم بندی کلی جنس غشا
۱۴	شکل ۴-۱- غشاهای حفره دار و بدون حفره
۱۶	شکل ۵-۱- تقسیم بندی غشاها بر اساس دانه بندی
۱۶	شکل ۶-۱- غشای کامپوزیتی
۱۸	شکل ۷-۱- مدول لوله ای
۱۹	شکل ۸-۱- مدول صفحه و قاب
۱۹	شکل ۹-۱- مدول صفحه ای نوسانی
۲۰	شکل ۱۰-۱- مدول مارپیچی
۲۱	شکل ۱۱-۱- مدول موئینه ای
۲۱	شکل ۱۲-۱- مدول الیاف توخالی
۲۲	شکل ۱۳-۱- برشی از سطح مقطع مدول الیاف توخالی
۲۲	شکل ۱۴-۱- محدوده های مفید در فرآیندهای مختلف جداسازی توسط غشا
۳۵	شکل ۱-۲- (a) اسمز، فشار اسمزی، (b) اسمز معکوس
۴۱	شکل ۲-۲- تأثیر فشار، دما و بازیافت آب بر عملکرد واحد <b>RO</b>
۴۲	شکل ۳-۲- فروش غشاها و سرعت رشد کاربردهای صنعتی واحد <b>RO</b>
۴۳	شکل ۴-۲- اسمز معکوس شیر با غشاء کامپوزیتی پلی آمید. مدل حلزونی به قطر $50\text{ mm}$
۴۴	شکل ۵-۲- تأثیر پدیده های مختلف بر <b>RO</b>
۶۰	شکل ۱-۳- الگوریتم کلی روش <b>SIMPLE</b>
۶۳	شکل ۱-۴- مدل انحلال نفوذ
۶۶	شکل ۲-۴- مدل <b>SFPF</b>
۶۶	شکل ۳-۴- نمایی از مقطع عرضی سل اسمز معکوس
۶۷	شکل ۴-۴- سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده در بررسیهای تجربی
۶۸	شکل ۵-۴- مش بندی منظم برای مدلسازی
۶۹	شکل ۶-۴- تأثیر مش بندی بر سرعت ( <b>mesh independency</b> )
۷۰	شکل ۷-۴- جریانهای جرمی ورودی و خروجی از المان سیال
۷۸	شکل ۱-۵- درصد افزایش سرعت جرمی با افزایش فشار و مقایسه نتایج آزمایشگاهی با مدلسازی
۷۹	شکل ۲-۵- توزیع فشار در فشار ۱۵ بار
۷۹	شکل ۳-۵- توزیع سرعت <b>Y</b> در فشار ۱۵ بار
۸۰	شکل ۴-۵- توزیع سرعت <b>X</b> در فشار ۱۵ بار
۸۰	شکل ۵-۵- توزیع غلظت برای فشار ورودی ۱۵ بار
۸۱	شکل ۶-۵- نمودار باقیمانده ها

- شکل ۵-۷- توزیع سرعت  $X$  در طول کانال ۸۲
- شکل ۵-۸- توزیع سرعت در جهت  $Y$  در طول کانال در فشار ۱۵ بار ۸۲
- شکل ۵-۹- میزان اغتشاش در فشار ۱۵ بار ۸۳
- شکل ۵-۱۰- فشار برحسب سرعت ۸۴
- شکل ۵-۱۱- میزان افزایش سرعت جرمی تراوش شده از مجرای پائین با سرعت ۸۴
- شکل ۵-۱۲- میزان افزایش سرعت جرمی تراوش شده از مجرای بالا با سرعت ۸۶
- شکل ۵-۱۳- میزان سرعت جرمی تراوش شده از مجرای بالا در فشار های مختلف ۸۶
- شکل ۵-۱۴- میزان سرعت جرمی تراوش شده از مجرای پائین در فشار های مختلف ۸۶

## فهرست علائم

A	سطح غشاء، $m^2$
c	غلظت، $kg/m^3$
$c_b$	غلظت در تودهٔ محلول، $kg/m^3$
$c_g$	غلظت لایه ژل، $kg/m^3$
$c_m$	غلظت در سطح غشاء، $kg/m^3$
$c_p$	غلظت در جزء تراوش کرده، $kg/m^3$
D	ضریب نفوذ، $m^2/S$
$d_h$	قطر هیدرولیکی، m
$d_s$	قطر ذرات کیک، m
J	فلاکس، $m^3/m^2.S$
$J_o$	فلاکس اولیه غشاء، $m^3/m^2.S$
$J_w$	فلاکس آب خالص، $m^3/m^2.S$
$J_\infty$	فلاکس محدود شده، $m^3/m^2.S$
k	ضریب انتقال جرم، m/S
n	توان در معادله، بدون بعد
$\alpha$	نفوذپذیری، $m^2$
$r_c$	مقاومت ویژه کیک، $1/m^2$
$Re$	عدد رینولدز، بدون بعد
Sc	عدداشمیت، بدون بعد
t	زمان، S

---



---

سرعت خطی جریان سیال، m/S	u
حجم سیال، m <sup>3</sup>	V
بعد مکان، m	x
ضخامت غشا، m	$\delta$
فشار عملیاتی، Pa	$\Delta P$
اختلاف فشار اسمزی، Pa	$\Delta \pi$
ویسکوزیته، Pa.S	$\mu$
حجم مولی جزئی حلال، m <sup>3</sup> /mole	$v_0$
حجم مولی جزئی ماده حل شده، m <sup>3</sup> /mole	$v_1$
فشار اسمزی، Pa	$\pi$
دانسیته محلول، kg/m <sup>3</sup>	$\rho$

## مقدمه

اهمیت فرایندهای جداسازی مبتنی بر انتقال جرم برای تمامی مهندسين شیمی به خوبی روشن است. امروزه به ندرت می توان یک فرایند شیمیایی را یافت که در آن به خالص سازی مواد اولیه و یا جداسازی نهایی محصولات از فرآورده های جانبی حاصل از واکنش نیاز نباشد. همچنین در دهه های اخیر نیاز روز افزونی برای بکارگیری این فرایندها در جهت کنترل آلودگی و حفاظت محیط زیست احساس شده است و این کنترل خصوصاً در مورد خود صنایع شیمیایی که از عمده ترین منابع آلوده کننده محیط هستند با جدیت بیشتری صورت می گیرد.

تعداد قابل توجهی از روشهای جداسازی با ایجاد یک فاز دوم و انتقال جرم بین این دو فاز انجام می گیرند. روشهایی چون تقطیر و تبلور از این جمله به شمار می آیند. در این روشها برای ایجاد فاز دوم به مصرف انرژی قابل توجهی نیاز می باشد. از سوی دیگر در برخی از روشهای جداسازی، فاز دوم یک ماده شیمیایی ثانویه است که به فاز خوراک افزوده می شود. در این فرایندها که جذب گاز، جذب سطحی و استخراج مثالهای بارز آن به شمار می روند، اگر چه انتقال جرم به عنوان عامل اصلی برای جداسازی شناخته می شود اما نهایتاً این فرایندها نیز برای جداسازی نهائی و بازیافت فاز دوم، نیازمند فرایندهای دسته اول و بنابراین نیازمند به صرف انرژی قابل ملاحظه ای هستند.

توجهی که در دهه های اخیر به صرفه جویی در میزان مصرف انرژی صنایع معطوف شده، در مهندسی شیمی نیز جایگاه ویژه ای یافته است. در موضوع مورد بحث یعنی فرایندهای جداسازی، این انگیزه در طراحی فرایندها تقویت شده است تا حد امکان از تشکیل فاز دوم در جداسازی اجتناب شود به این صورت در مصرف انرژی تا حد امکان، صرفه جویی قابل ملاحظه ای به عمل آید.

بدین ترتیب توجه به گروهی از فرایندها معطوف گردیده که جداسازی را بدون تغییر فاز انجام می دهند. عنصر اصلی در این نوع فرایندها یک فیلتر می باشد. فیلتراسیون در یک تعریف کلی عبارتست از جداسازی مواد از یک سیال بوسیله عبور دادن آن سیال از یک جسم متخلخل که بطور نسبی برخی از اجزای مخلوط را نگهداری می کند و به سایر اجزاء اجازه عبور می دهد.

اگر چه فرایند فیلتراسیون ساده که در آن ازصافی هایی نظیر بسترهای شن، پارچه‌های کتان، پشم شیشه و سایر مواد متخلخل برای جداسازی ذرات از مخلوط ها استفاده می‌شود، مدت‌های مدید در صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته و می‌گیرد اما موردی که سابقه کاربرد صنعتی آن تنها به دهه‌های اخیر باز می‌گردد و قادر است جدا سازی ذرات را در ابعادی کوچکتر از فیلتراسیون معمولی انجام دهد، تکنولوژی جداسازی توسط غشاء می‌باشد. برخی از فرایندهای وابسته به این تکنولوژی قادرند جداسازی را در ابعاد مولکولها و یونها انجام دهند.

تکنولوژی جداسازی غشایی در دهه های اخیر از رشد چشمگیری برخوردار بوده و با بهره گیری از ویژگیها و تواناییهای خاص خود توانسته است رقیب قدرتمندی برای بسیاری از فرآیندهای کلاسیک و رایج جداسازی در صنایع شیمیایی به شمار آید. فرآیندهای غشایی در کنار مزایای قابل توجه، دارای محدودیتهایی نیز هستند که تحقیقات زیادی را در سراسر جهان به خود معطوف کرده است.

فرآیندهای غشایی به عنوان روشهای جداسازی، تقریباً جدید بشمار می آیند به طوریکه تا حدود ۳۰ سال پیش این فرآیندها مورد توجه چندانی قرار نمی گرفتند اما امروزه فرآیندهای غشایی در محدوده وسیعی از صنایع استفاده می شوند و کاربردها و نوآوریهای این روشها به سرعت در حال افزایش می باشد. فرآیندهای مختلف غشایی زیادی در طول چند دهه اخیر توسعه یافته اند و همواره فرآیندهای جدیدتری از سوی آزمایشگاههای آکادمیک صنعتی و دولتی ارائه می شوند. میکروفیلتراسیون، که شباهت بسیار زیادی با فیلتراسیون معمولی دارد، قدیمی ترین و پرکاربرد ترین فرآیند از این فرآیندها می باشد. اسمز معکوس و اولترافیلتراسیون از سال ۱۹۶۰ به صورت فرآیندهای کاملی در آمده اند اما استفاده صنعتی فرآیندهای غشایی جداسازی مخلوط گازها در اواخر دهه ۱۹۷۰ و دهه ۱۹۸۰ شروع شده اند. واحدهای عظیم جداسازی غشایی جداسازی ایزوتوپهای اورانیوم ( $^{235}U$  و  $^{238}U$ ) با مکانیزم نفوذ گازی در ایالات متحده آمریکا بسیار پیشتر، در دهه ۱۹۴۰، ساخته شده اند.

در فرآیند اسمز معکوس که بحث اصلی این پایان نامه می باشد یک غشاء نیمه تراوا در معرض فشار اعمال شده از سوی یک خوراک که حاوی یک (یا چند) حل شونده می باشد، قرار می گیرد. فشار اعمال شده از

سوی خوراک باید از فشار اسمزی خوراک بیشتر باشد که این فشار اضافی باعث جریان یافتن حلال از درون غشاء در خلاف جهت خودبخودی آن می شود. تفاوت سطح محلول و آب در دو طرف غشاء در حالتی که هیچ فشار خارجی به سطح محلول وارد نشود، همان فشار اسمزی محلول است.

این فرآیند که اولین فرآیند بر پایه غشاء می باشد یک فرآیند جداسازی مایع-مایع می باشد و غشاء نیمه تراوا مورد استفاده در آن تراوایی زیادی نسبت به آب دارد اما نسبت به میکروارگانیزمها، کلونیدها، نمکهای محلول و مواد آلی تراوش ناپذیر می باشد [۲ و ۲۴].

هدف از این پایان نامه مدلسازی CFD فرآیند اسمز معکوس می باشد.

دینامیک سیالات محاسباتی یا CFD علم پیش‌بینی جریان سیال، انتقال حرارت، انتقال جرم، واکنشهای شیمیایی و پدیده‌های مربوطه با حل معادلات ریاضی حاکم بر فرایندها با استفاده از روشهای عددی است. CFD یک توصیف کمی از سیالهای جریان دار نسبت به محیط اطراف سیال ارائه میدهد. معادلات ریاضی، پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی جریان سیال را توصیف می‌کنند. در کاربردهای محاسباتی ریاضیات به زبان کامپیوتر ترجمه می‌شود، در نتیجه هزاران محاسبه برای توصیف جریان سیال انجام می‌گیرد. جریان سیالات در فرآیندهای صنعتی از حالت ساده تا حالات خیلی پیچیده وجود دارند. خواص سیال بایستی نقطه به نقطه محاسبه شوند بدین معنی که روابط ریاضی توصیف کننده جریان سیال بایستی بصورت عددی و به کمک کامپیوتر حل شود. در واقع CFD شامل حل عددی معادلات اضافی منعکس کننده مسئله در دست بررسی می‌باشد.

فصل اول این پایان نامه به معرفی غشا و فرآیندهای غشایی، فصل دوم نیز به معرفی فرآیند اسمز معکوس، فصل سوم مروری بر CFD دارد. چهارمین فصل این گزارش مدلسازی CFD را تشریح می کند و فصل پنجم نیز به نتایج به دست آمده پرداخته است.



# فصل اول

## معرفی فرآیندهای غشایی

## ۱-۱- تعریف غشا

غشا لایه ای است نازک، که میتواند اجزای یک سیال را بطور انتخابی از آن جدا کند. به عبارت دیگر غشا وسیله ای است که جداسازی مواد را عموماً بر اساس اندازه‌های مولکولی آنها ممکن می‌سازد. در این فرآیند علاوه بر اندازه، عوامل دیگری نیز دخالت دارند [۲۰۱].

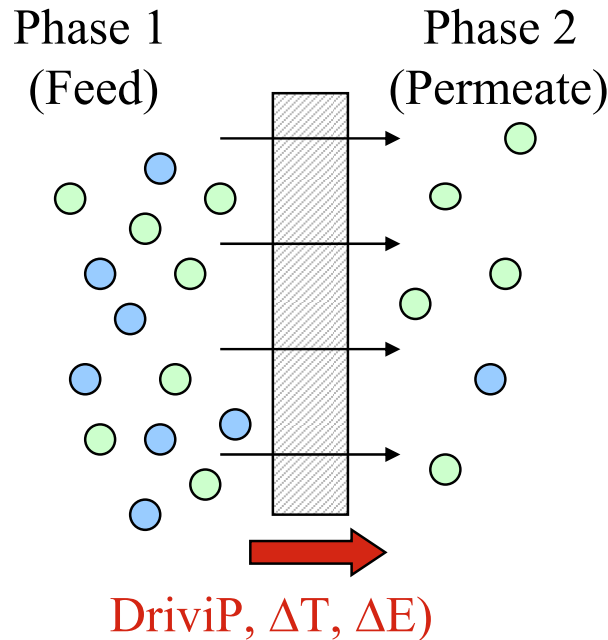
در یک فرآیند غشایی عموماً دو فاز وجود دارد که بوسیله فاز سوم (غشا) که انتقال جرم بین دو فاز را کنترل می‌نماید، بطور فیزیکی از یکدیگر جدا شده‌اند. فازها بصورت مخلوطی از اجزا می‌باشند که یکی از اجزا موجود در مخلوط بیش از سایرین انتقال می‌یابد. به عبارت دیگر غشا نسبت به یکی از اجزاء انتخابگر<sup>۱</sup> است. در این صورت انتقال آن جز از یک فاز به فاز دیگر توسط غشا انجام می‌شود. به این ترتیب یکی از فازها غنی از آن جزء و دیگری تهی از آن می‌گردد [۲۰۱].

بطور خلاصه دو عمل اصلی که توسط غشا انجام می‌شود عبارتند از نفوذپذیری یا تراوش<sup>۲</sup> و انتخابگری یا گزینش پذیری<sup>۳</sup>. بسیاری از مواد (بعنوان مثال پوشش‌های محافظ یا مواد بسته بندی) که تصور نمی‌شود غشا باشند، دارای خواصی هستند که منطبق بر خاصیت غشا است و در واقع غشا می‌باشند. تمام موادی که بعنوان غشا عمل می‌کنند یک خاصیت کلی دارند و آن اینست که مواد مختلف را بطور انتخابی از خود عبور می‌دهند. [۲۰۱]

فرآیندهایی که بر اساس استفاده از غشا پایه گذاری شده‌اند می‌توانند در کاربرد و نیز نیروی محرکه لازم برای انجام جداسازی کاملاً متفاوت باشند. انتقال جرم در طول یک غشا ممکن است بوسیله نفوذ و یا جابجایی حاصل شود. جابجایی می‌تواند در اثر اختلاف پتانسیل الکتریکی، غلظت، فشار یا درجه حرارت انجام شود. [۲۰۱]

---

1 Selective  
2 Permeability  
3 Selectivity



شکل ۱-۱- دو فاز جدا شده توسط غشا

## ۱-۲- تاریخچه کاربرد غشا در جداسازی

در سال ۱۷۴۸، آبو نولت<sup>۱</sup> نفوذ آب را از یک محلول رقیقتر به محلول غلیظتر از میان یک غشا نیمه تراوا<sup>۲</sup> مشاهده کرد. بعد از آن در سال ۱۸۵۵ فیک<sup>۳</sup> اولین غشا مصنوعی را ساخت و پس از دو سال در سال ۱۸۵۷ تراپ<sup>۴</sup> دست به ساخت یک نوع دیگر از غشا مصنوعی زد. در سال ۱۸۷۷ ساخت موفقیت آمیز غشاها را بوسیله رسوب گذاری فروسیانید مس در حفره های پورسلین<sup>۵</sup> گزارش داده شد. [۱]

کاربرد فرآیندهای غشایی در صنایع عمر طولانی ندارد و در سال های اخیر توسعه یافته است. استفاده از غشاها به اواخر سال های ۱۹۲۰ برمی گردد که از آنها در کارهای آزمایشگاهی باکتری شناسی استفاده می شد. این نوع غشاها از غشا های میکروفیلتراسیون بوده اند. استفاده از غشاها در مقیاس بزرگ به صورت فرآیندهای اسمز معکوس و اولترافیلتراسیون هنگامی عملی گردید که غشا های نامتقارن ساخته شدند. [۱]

- 1 Abboe Nollet
- 2 Semi Permeable
- 3 Fick
- 4 Traube
- 5 Porcelain

سوریراجان<sup>۱</sup> و لوب<sup>۲</sup> در اوایل سال ۱۹۶۰ موفق به ساخت غشاهای نامتقارن اسمز معکوس از جنس سلولز استات با استفاده از فرآیند تغییر فاز گردیدند. مدت کوتاهی پس از آن میکائیل<sup>۳</sup> غشا نامتقارن دیگری برای فرآیند اولترافیلتراسیون تهیه نمود و همزمان با وی غشاهای پلیمری به منظور جداسازی گازها توسط برر<sup>۴</sup> ساخته شد. [۳]

از اواسط سال ۱۹۶۰ از غشاهای میکروفیلتراسیون به طور گسترده به منظور استریل نمودن مایعات استفاده می شود. با ابداع الکترودیالیز که فرآیند جدیدی محسوب می گردید، کاربردهای وسیع صنعتی برای غشاها ابداع گردید. بسیاری از غشاهای اولیه اولترافیلتراسیون تنها در آزمایشگاهها به کار گرفته می شدند و تا اواخر سالهای ۱۹۶۰ از آنها استفاده مهمی به عمل نمی آمد. این در حالی بود که به علت برنامهها و پروژههای انجام شده توسط اداره آمریکایی آبهای شور<sup>۵</sup> فرآیند اسمز معکوس با سرعت بیشتری توسعه یافت. [۳]

در سالهای ۱۹۷۰ با به کارگیری غشاهای اولترافیلتراسیون در صنایع لبنی به منظور تغلیظ پروتئین موجود در آب پنیر این فرآیند توسعه سریعی پیدا نمود. بسیاری از پلیمرها برای ساخت غشاها مورد آزمایش قرار گرفتند و کارهای فراوانی در این زمینه انجام گردید. تئوریهای مربوط به فرآیندهای غشایی با نیروی محرکه فشار و جداسازی گازها پایه گذاری و توسعه یافت. مقالات فراوانی در زمینههای گوناگون مربوط به غشاها منتشر گردید. [۳ و ۱]

در ابتدای ساخت غشاها در مقیاس صنعتی، مشکلاتی را به همراه داشت. مسأله اساسی این بود که غشاهای ساخته شده همسان نبودند. خواص غشا تولیدی توسط یک واحد صنعتی ممکن بود از روزی به روز دیگر تغییر یابد. با افزایش فن آوری و کسب تجارب نو توسط سازندگان غشاها، این مشکل به تدریج حل گردید و صنایعی که از غشاها استفاده می نمودند، اعتماد لازم را به نمونههای موجود کسب نمودند. عمر غشاها از ماه به سال افزایش یافت. در حال حاضر عمر مفید غشاهای اسمز معکوس بیش از پنج سال و عمر مفید غشاهای

---

1 Sourirajan

2 Loeb

3 Michaels

4 Barrer

5 US Office of Saline Waters