دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

**پایان نامه کارشناسی ارشد در مهندسی نانو-نانو مواد**

عنوان:

# ساخت غشای کامپوزیت سرامیکی لایه نشانی شده به روش کندوپاش برای نانوفیلتراسیون پسابها


استاد راهنما:

**دکترعبدالرضا صمیمی**

**دکتر سارا خمسه**

تحقیق و نگارش:

**فرناز عبداله‌زاده دوانی**



**(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)**


**بهمن ۱۳۹۲**

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان ساخت غشای کامپوزیت سرامیکی لایه نشانی شده به روش اسپاترینگ برای نانوفیلتراسیون پسابها قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- پدیده های انتقال توسط دانشجو فرناز عبداله‌زاده دوانی با راهنمایی دکتر عبدالرضا صمیمی و دکتر خمسه تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

فرناز عبداله‌زاده دوانی

این پایان نامه ..... واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

| | **نام و نام خانوادگی** | **امضاء** | **تاریخ** |
|---|---|---|---|
| استاد راهنما: | دکتر عبدالرضا صمیمی | | |
| استاد راهنما: | دکتر سارا خمسه | | |
| داور ۱: | | | |
| داور ۲: | | | |
| نماینده تحصیلات تکمیلی: | | | |

دانشگاه سیستان و بلوچستان

## تعهدنامه اصالت اثر

**اینجانب فرناز عبداله‌زاده دوانی تعهد می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دســتاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.**

**کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.**

**نام و نام خانوادگی دانشجو: فرناز عبداله‌زاده دوانی**

**امضاء**

**پروردگارا!** نه می‌توانم موهایشان را که در راه عزت من سفید شد، سیاه کنم و نه برای دست

های پینه بسته شان که ثمره تلاش برای افتخار

من است، مرهمی دارم. پس توفیقم ده که هر لحظه شکرگزارشان باشم و ثانیه‌های عمرم را

در عصای دست‌بودنشان بگذرانم.

به پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم

**همه مهر.**

## سپاسگزاری

سپاس و ستایش خداوند کارساز بنده نواز را که بار دیگر توفیق پیدا و نهانش یاری نمود تا نگارش این پایان‌نامه را به اتمام برسانم.

لازم است مراتب سپاس قلبی خود را از تمامی عزیزانی که در انجام این پایان‌نامه یاری نموده‌اند به جا آورم:

استاد محترم راهنما جناب آقای دکتر عبدالرضا صمیمی که با راهنمایی‌های ارزشمندشان در راستای انجام این پژوهش مرا یاریگر و پشتیبان بودند و مزاحمت هاي اینجانب را با سعه‌صدر پاسخگو بوده‌اند.

خانم دکتر سارا خمسه که با شکیبایی مرا در حل مشکلات، یاري نموده‌اند.

دوست عزیزم خانم مهندس نوشین حیدریان که تجربیاتشان را در اختیارم گذاردند.

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول: مقدمه ..... ۱**

۱-۱- مقدمه ..... ۲

۱-۲- اهداف انجام پایان‌نامه ..... ۳

۱-۳- مراحل انجام کار ..... ۳

۱-۴- ساختار پایان‌نامه ..... ۴

**فصل دوم: آشنایی با موضوع و مروری بر پژوهش‌های انجام شده ..... ۵**

۲-۱- مقدمه ..... ۶

۲-۲- تاریخچه و تعریف غشا ..... ۶

۲-۳- انواع غشاها از نظر ساختار فیزیکی ..... ۷

۲-۳-۱- غشاهای همسانگرد ..... ۸

۲-۳-۱-۱- غشاهای میکروحفره ..... ۸

۲-۳-۱-۲- غشاهای متراکم، بدون حفره ..... ۸

۲-۳-۱-۳- غشاهای باردار الکتریکی ..... ۹

۲-۳-۲- غشاهای ناهمسانگرد ..... ۹

۲-۴- انواع غشا از نظر ماده سازنده ..... ۹

۲-۴-۱- غشاهای آلی ..... ۱۰

۲-۴-۲- غشاهای معدنی ..... ۱۰

۲-۵- فرآیندهای غشایی ..... ۱۱

۲-۶- انواع عملیات فیتتراسیون در غشاها ..... ۱۱

۲-۷- انواع مکانیزم انتقال ..... ۱۲

۲-۷-۱- مکانیزم انحلال-نفوذ ..... ۱۲

۲-۷-۲- مکانیزم حفره-جریان ..... ۱۳

۲-۸- غشاهای کامپوزیتی ..... ۱۴

۲-۹- غشاهای سرامیکی ..... ۱۴

۲-۹-۱- اکسید آلومینیم ..... ۱۵

۲-۹-۲- اکسید تیتانیم ..... ۱۵

۲-۱۰- انواع روش‌های ساخت پایه در غشاهای سرامیکی ..... ۱۶

۲-۱۰-۱- روش ریخته‌گری دوغابی ..... ۱۶

۲-۱۰-۲- روش اکسترودینگ ..... ۱۷

۲-۱۱- انواع روش‌های لایه نشانی در غشاهای سرامیکی ۱۸
۲-۱۱-۱- لایه نشانی شیمیایی از فاز بخار(CVD) ۱۸
۲-۱۱-۲- روش سل-ژل ۱۹
۲-۱۱-۳- روش کندوپاش ۲۱
۲-۱۱-۴- روش هیدروترمال ۲۴
۲-۱۱-۵- روش غوطه‌وری ۲۵
۲-۱۲- انواع ماژول‌های غشا ۲۶
۲-۱۳- مراحل ساخت غشا ۲۷
۲-۱۳-۱- تشکیل لایه اول ۲۷
۲-۱۳-۲- تشکیل لایه مزوحفره ۲۸
۲-۱۳-۳- افزودنی‌های آلی در محلول‌های غوطه‌وری پیش‌سازه ۲۹
۲-۱۳-۴- اثرات زبری و کیفیت پایه ۲۹
**فصل سوم: مواد و روش‌های آزمایشگاهی ۳۰**
۳-۱- مقدمه ۳۱
۳-۲- استفاده از روش ریخته‌گری دوغابی برای ساخت پایه متخلخل آلومینایی ۳۱
۳-۲-۲- مواد اولیه جهت تهیه دوغاب آلفا آلومینا ۳۲
۳-۲-۳- تهیه دوغاب ۳۲
۳-۲-۴- روش‌های تعیین مشخصات ۳۳
۳-۳- سنتز سل بوهمیت به روش ته‌نشینی و لایه‌نشانی لایه میانی گاما آلومینا به روش غوطه‌وری ۳۴
۳-۳-۱- مواد اولیه‌ی سنتز بوهمیت ۳۵
۳-۳-۲- تهیه‌ی سل بوهمیت به روش ته‌نشینی ۳۵
۳-۳-۳- لایه‌نشانی گاما آلومینا به روش غوطه‌وری روی پایه آلفا آلومینا ۳۶
۳-۴- لایه نشانی $TiO2$ به عنوان لایه جداساز به روش کندوپاش ۳۶
۳-۵- ماژول ۳۷
۳-۶- دستگاه آزمایش غشا ۳۸
**فصل چهارم: نتایج و بحث ۴۱**
۴-۱- مقدمه ۴۲
۴-۲- پایه‌های متخلخل استوانه‌ای آلومینایی به عنوان زیرلایه در عملیات اسپاترینگ ۴۲
۴-۳- لایه نشانی $TiO2$ بر روی پایه‌های آلومینایی ۴۳
۴-۴- آزمایش غشا ۵۳
**فصل پنجم: نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها ۶۰**
**مراجع ۶۳**
**پیوست‌ها ۶۷**
پیوست (الف) - مشخصات پودر آلومینا با کد WDR4 از شرکت Indall ۶۸
پیوست (ب) - مشخصات پودر سیلیس از شرکت GRACE ۶۹

پیوست (ج) - نیترات آمونیوم ..... ۷۱
پیوست (د) - دیاگرام فاز $Al_2O_3$-$SiO_2$ ..... ۷۴

# فهرست جدول‌ها

**عنوان جدول** **صفحه**

جدول ۴-۱. پارامترهای لایه‌نشانی، ضخامت و ترکیب شیمیایی نمونه‌ها ..... ۴۴

جدول A حالت‌های تجزیهٔ حرارتی نیترات آمونیوم ..... ۷۱

جدول(B). تغییرات حجمی ناشی از تبدیل‌های فازی نیترات آمونیوم ..... ۷۳

# فهرست شکل‌ها

**عنوان شکل** **صفحه**


شکل۲-۱. شکل شماتیکی از انواع غشاها ۷
شکل ۲-۲. طرح شماتیکی از فرایندهای فیلتراسیون Dead-end و Cross Flow ۱۱
شکل ۲-۳. فرآیندهای غشایی مبتنی بر نیروی محرکه فشار ۱۳
شکل ۲-۴. طرح شماتیکی از لایه های تشکیل دهنده غشاهای سرامیکی ۱۴
شکل۲-۵. روش ریخته‌گری دوغابی ۱۶
شکل۲-۶. روش اکسترودینگ ۱۷
شکل۲-۷. شکل شماتیک فرایند CVD ۱۹
شکل۲-۸. طرح شماتیکی از انواع مسیرهای تولید ژل در فرایند سل-ژل ۲۰
شکل ۲-۹. فناوری سل-ژل و محصولات آن ۲۱
شکل ۲-۱۰.طرح شماتیکی از فرایند کندوپاش ۲۲
شکل ۲-۱۱. طرح شماتیکی از فرایند RF-اسپاترینگ ۲۳
شکل ۲-۱۲. روش غوطه‌وری ۲۶
شکل ۳-۱. تصویر دستگاه لایه‌نشانی به روش غوطه‌وری ۳۶
شکل ۳-۲. دستگاه اسپاترینگ ۳۷
شکل ۳-۳. عکس ماژول ۳۸
شکل ۳-۴.دستگاه آزمایش غشا ۳۹
شکل ۴-۱. پایه‌های آلومینایی استوانه‌ای متخلخل ساخته شده به روش ریخته‌گری دوغابی دارای لایه میانی گاما آلومینا ۴۲
شکل ۴-۱. تصاویر سطح میکروسکوپ الکترونی روبشی (الف) نمونه قبل از لایه نشانی اکسید تیتانیم(۰)M (ب) (۱)
M (پ) M(۲) (ت) M(۳) ۴۵
شکل ۴-۳. تصاویر سطح مقطع میکروسکوپ الکترونی روبشی (الف) M(۲) و (ب) M(۳) ۴۶
شکل ۴-۳. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه M(۴) (الف) سطح (ب) سطح مقطع ۴۸
شکل ۴-۴. طرح شماتیکی از تشکیل لایه $TiO_2$بر روی زیرلایه آلومینایی ۴۹
شکل ۴-۵. الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) نمونه M(۴) ۵۰
شکل ۴-۶. تصاویر SEM تهیه شده از (الف) سطح و (ب) سطح مقطع غشای پوشش داده شده با گاما آلومینا
و $TiO_2$ به روش سل-ژل ۵۱
شکل۴-۷. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از (الف) سطح و (ب) سطح مقطع غشای لایه‌نشانی شده با
گاما آلومینا و دی‌اکسید تیتانیم به روش هیدروترمال ۵۲
شکل ۴-۸. نمودارهای (الف) شار- فشار، (ب) تراوایی- فشار و (پ)شار-زمان برای پایه‌های آزمایش شده با جریان متقاطع ۵۴
شکل ۴-۹. نمودارهای (الف) شار- فشار، (ب) تراوایی- فشار و (پ)شار-زمان برای نمونه لایه نشانی شده
M(۴) آزمایش شده با الگوی جریان متقاطع ۵۶
شکل ۴-۱۰. نمودار شار بر حسب زمان نمونه M(۴) و پایه این غشا ۵۷

شکل ۴-۱۱. نمودار تراوایی بر حسب فشار نمونه $\mathbf{M}(۴)$ و پایه این غشا ..... ۵۸
شکل ۴-۱۲. نمودار شار بر حسب فشار غشاهای با لایه نهایی ایجاد شده توسط روش‌های هیدروترمال، سل-ژل و اسپاترینگ ..... ۵۹
شکل ۴-۱۳. نمودار تراوایی بر حسب فشار غشاهای با لایه نهایی ایجاد شده توسط روش‌های هیدروترمال، سل-ژل و اسپاترینگ .....۵۹

**چکیده:**

آلودگی‌های زیست‌محیطی و صنعتی در سطح وسیع، توجه را به استفاده از تکنولوژی‌های پاک شیمیایی و دوستدار محیط زیست کشانده است. تکنولوژی غشاها یکی از این موارد می باشد. غشاهای سرامیکی گونه ای از غشاهای مصنوعی هستند که از مواد معدنی شامل چندین لایه تشکیل شده‌اند . آنچه باعث مزیت غشاهای سرامیکی شده پایداری حرارتی زیاد، مقاومت شیمیایی ومیکروبیولوژیکی مناسب، مقاومت مکانیکی خوب، .توانایی شستشوی معکوس موثر، عمر طولانی، قابلیت استفاده مجدد و خاصیت کاتالیستی آن می‌باشد. لذا در جاهایی که غشاهای پلیمری به واسطه ضعفشان نمی‌توانند استفاده شوند غشاهای سرامیکی می توانند جایگزین مناسبی باشند. در این تحقیق پایه غشاهای سرامیکی به روش ریخته گری دوغابی تهیه شده و لایه میانی گاما آلومینا به روش ته‌نشینی و نانوپوشش نهایی اکسید تیتانیم به روش کندوپاش لایه نشانی گردیدند . یکنواختی نانو لایه نهایی اکسید تیتانیم در این نوع غشاها بسیار مهم بوده زیرا عمل جداسازی توسط همین لایه صورت میگیرد. کنترل دقیق ضخامت نانو لایه موردنظر و یکنواختی توزیع اندازه ذرات نانو از مزایای روش کندوپاش میباشد. اثر توان RF کندوپاش و زمان لایه‌نشانی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری بر ریز ساختار غشاها مشاهده شد و بهترین لایه‌نشانی جهت ساخت غشای عملیات تست نفوذپذیری انتخاب گردید. با توجه به نتایج مربوط به آنالیز XRD رشد $TiO_2$ به صورت پلی کریستالی و در فاز آناتاز بوده است. نتایج نشان داده‌اند که شار و تراوایی غشای دارای لایه میانی گاما آلومینا و لایه نهایی $TiO_2$ لایه‌نشانی شده به روش کندوپاش نسبت به نمونه پایه افت بسیاری داشته است. همچنین کلیه نتایج بدست آمده مربوط به غشای دارای لایه $TiO_2$ لایه نشانی شده به روش اسپاترینگ با روش های دیگر از جمله سل-ژل و هیدروترمال، مقایسه شدند.

**کلمات کلیدی:** غشای کامپوزیت سرامیکی، نانوفیلتراسیون، کندوپاش

# فصل اول

# مقدمه

**۱-۱-مقدمه**

یکی از دغدغه‌های اصلی عصر ما تأمین آب شرب سالم به روش اقتصادی است. به رغم تمامی تلاش‌ها تا به امروز همچنان نزدیک به ۹۰۰ میلیون نفر هیچ‌گونه دسترسی به آب آشامیدنی سالم ندارند. هزینه بالای تصفیه فاضلاب و آب‌های غیرمتعارف در مناطق کم آب موجب بروز مشکلات جدی سلامتی و زیست محیطی در بسیاری از مناطق جهان شده است. این آلودگی‌ها در سطح وسیع توجه را به استفاده از تکنولوژی‌های پاک شیمیایی و دوستدار محیط زیست کشانده است. تکنولوژی غشایی یکی از این موارد است که می‌تواند روشی مناسب برای تصفیه آب‌هایی که به روش‌های دیگر تصفیه پاسخگو نیستند باشد. غشاها از نظر جنس به دو دسته غشاهای آلی و معدنی تقسیم می‌شوند. غشاهای سرامیکی گونه‌ای از غشاهای معدنی هستند که عموما از چندین لایه تشکیل شده‌اند. آنچه باعث مزیت غشاهای سرامیکی شده: پایداری حرارتی زیاد، مقاومت شیمیایی و میکروبیولوژی مناسب، مقاومت مکانیکی خوب، توانایی شست‌وشوی معکوس مؤثر و استرلیزه شدن، عمر طولانی، قابلیت استفاده مجدد و خاصیت کاتالیستی آن است[۴-۱]. استحکام مکانیکی پائین، پایداری حرارتی و شیمیایی کم، همچنین مقاومت پائین در برابر تجزیه مواد میکروبی و بیولوژیکی، آهنگ رسوب‌گذاری بالا و عدم امکان شستشوی معکوس از مشکلات غشاهای آلی می باشد[۶و۵]. لذا در جاهایی که غشاهای آلی به واسطه ضعفشان نمی‌توانند استفاده شوند می‌توانند جایگزین مناسبی باشند.

$TiO_2$ از جمله ترکیبات سرامیکی است که به علت داشتن بعضی خواص به عنوان یک فوتوکاتالیست ایده‌آل شناخته می‌شود. $TiO_2$ در غشاهای سرامیکی عموما به عنوان پوشش نهایی و لایه اصلی جداسازی استفاده می‌شود. از خصوصیات بارز آن می‌توان به ارزان بودن، پایداری شیمیایی و بیولوژیکی بالا، مقاومت بالا در مقابل خوردگی‌های نوری و شیمیایی، بی ضرر بودن برای محیط زیست و قدرت اکسیدکردن بالا و ایجاد لایه با شار عبوردهی بالا اشاره نمود[۸و۷]. یکنواختی نانولایه نهایی اکسید تیتانیم در این نوع غشاها بسیار مهم بوده زیرا عمل جداسازی توسط همین لایه صورت می‌گیرد. لایه‌نشانی اکسید تیتانیم به روش‌های مختلفی از جمله غوطه‌وری، سل-ژل، هیدروترمال و کندوپاش انجام می‌شود،اما کنترل دقیق ضخامت نانولایه موردنظر و یکنواختی توزیع اندازه ذرات از مزایای روش لایه نشانی کندوپاش می‌باشد [۹]، لذا انتظار می‌رود عمل جداسازی در غشایی که لایه نهایی آن توسط روش کندوپاش لایه نشانی شده، نسبت به روش‌های لایه نشانی دیگر بهبود یابد. یکی از دلایل اصلی انتخاب این روش امکان ایجاد لایه‌ای عاری از عیوب و ترک است[۱۰]، و نیز اینکه برخلاف روش‌های سل-ژل و هیدروترمال پس از لایه‌نشانی نیاز به عملیات کلسیناسیون

و زینتر کردن ندارد. تا کنون گزارشی مبنی بر استفاده از روش کندوپاش در زمینه تولید غشاهای سرامیکی دیده نشده است. لذا در این تحقیق امکان استفاده از روش فوق برای ساخت غشاهای سرامیکی مورد استفاده در فرایندهای جداسازی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پایه غشاهای سرامیکی مذکور آلفا آلومینا و لایه میانی گاما آلومینا بوده که به ترتیب به روش‌های ریخته‌گری دوغابی و غوطه‌وری تهیه می‌گردند و نانوپوشش نهایی نیز اکسید تیتانیم بوده که به روش کندوپاش لایه نشانی می‌شود.

### ۱-۲-اهداف انجام پایان نامه

هدف اصلی این تحقیق ساخت غشاهای استوانه‌ای کامپوزیت سرامیکی آلومینا-تیتانیا برای عملیات نانوفیلتراسیون املاح آبی می‌باشد. همانند پروژه‌های قبلی که در دانشگاه سیستان و بلوچستان در زمینه غشاهای سرامیکی انجام شد[۱۲و۱۱]، پایه غشاهای استوانه‌ای سرامیکی (آلفا آلومینا) به روش ریخته‌گری دوغابی ساخته شد و لایه میانی با استفاده از روش غوطه‌وری سل بوهمیت روی پایه‌ها لایه نشانی شد. تفاوت این تحقیق با تحقیق‌های مشابه در روش لایه نشانی اکسید تیتانیم می‌باشد. هدف، ایجاد لایه‌ای یکنواخت از نظر ضخامت و توزیع یکنواخت اندازه حفرات است که توانایی پوشش کامل سطح غشا و حفرات را داشته باشد، در نتیجه از کیفیت بهتری نسبت به پوشش‌های ایجاد شده به روش‌های سل-ژل و هیدروترمال برخوردار باشد. پس از انجام مطالعات و بررسی ویژگی‌های روش کندوپاش، این روش برای لایه نشانی اکسید تیتانیم انتخاب شد. مطالعه ساخت لایه نهایی ایجاد شده شامل ضخامت، یکنواختی و میزان عبوردهی از اهداف جانبی تحقیق است.

### ۱-۳-مراحل انجام کار

مراحل ساخت غشای کامپوزیتی فوق به شرح زیر است:

- تهیه سوسپانسیون ذرات آلفا آلومینا
- ساخت پایه استوانه‌ای متخلخل آلومینیایی به روش ریخته‌گری دوغابی
- سنتز ذرات گاما آلومینا و تهیه سل بوهمیت به روش هیدرولیز محلول نمک فلز کلوئیدی
- لایه‌نشانی گاما آلومینا به روش غوطه وری
- لایه نشانی دی‌اکسید تیتانیم به روش کندوپاش

### ۱-۴-ساختار پایان نامه

متن حاضر گزارشی است از تحقیق صورت گرفته در زمینه تولید غشاهای سرامیکی، فعالیت‌های انجام شده در طول تحقیق، ارائه نتایج و بحث پیرامون آنها. در فصل اول این پایان‌نامه، به طور خلاصه مساله مورد بررسی در این پژوهش و سپس اهدافی که از انجام این فعالیت مورد نظر بوده است، بیان گردید. در فصل دوم مروری بر منابع مطالعاتی ارائه شده است. در فصل سوم مواد شیمیایی و روش‌های آزمایشگاهی سنتز مواد ساخت غشا و همچنین روش‌های بررسی خواص مواد آنالیز و تجزیه و تحلیل نتایج و طراحی آزمایشات ارائه می‌گردند. در فصل چهارم نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها ارائه و بحث‌های مربوط به نتایج بیان می‌شود. در فصل پنجم نتیجه‌گیری کلی از این پژوهش بیان شده و پیشنهادهایی برای انجام مطالعات جدید در راستای این پژوهش ارائه می‌گردد.

# فصل دوم

# غشا، روش‌های ساخت

# و

# مروری بر پژوهش‌های انجام شده

## ۲-۱- مقدمه

در این فصل مطالعات انجام شده در زمینه غشا، انواع غشا و روش‌های لایه نشانی ارائه خواهد شد.

## ۲-۲- تاریخچه و تعریف غشا[1]

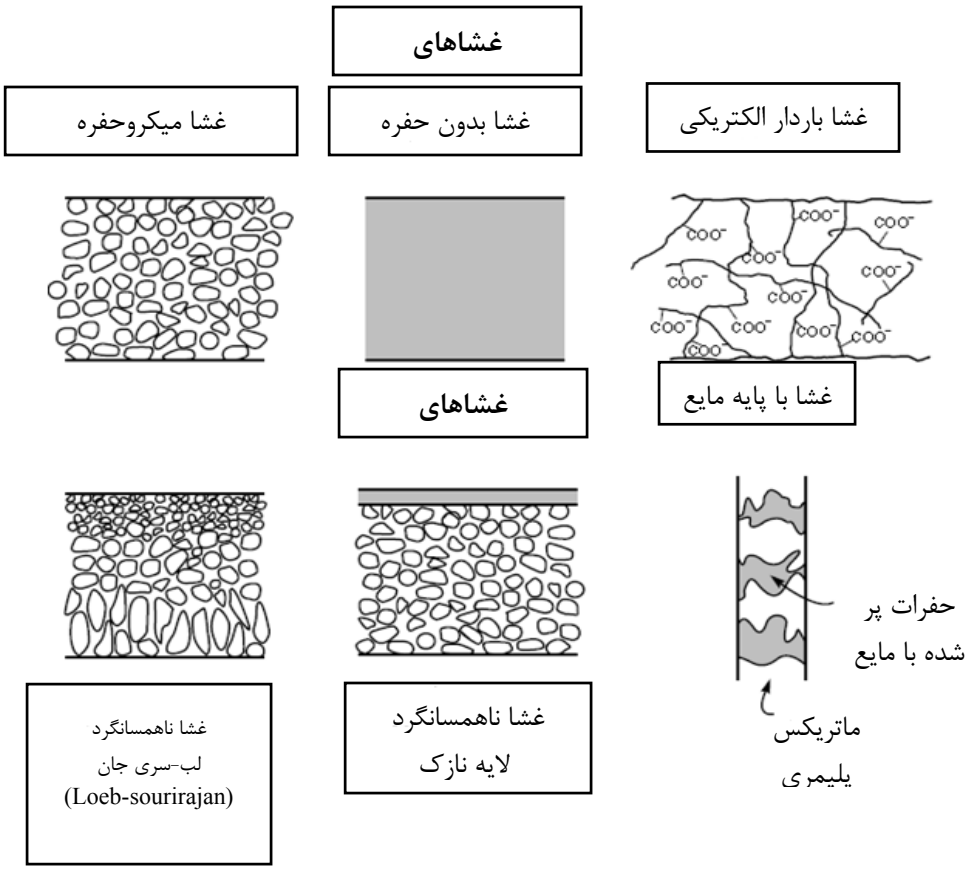
آغاز مطالعات اصولی در زمینه غشاها به قرن هجدهم برمی‌گردد. از قرن نوزدهم تا ابتدای قرن بیستم غشاها هیچ استفاده صنعتی یا اقتصادی نداشتند و به عنوان ابزار آزمایشگاهی برای توسعه فرضیه‌های فیزیکی و شیمیایی استفاده می‌شدند. غشاها اولین کاربرد مهم خود را در پایان جنگ جهانی دوم برای آزمایش آب شرب پیدا کردند. در سال ۱۹۶۰ دانش غشا گسترش یافت اما همچنان از آنها در آزمایشگاه‌ها و کاربردهای صنعتی محدودی استفاده می‌شد. غشاها چهار مشکل اصلی داشتند که از گسترش استفاده آنها در فرایندهای جداسازی جلوگیری می‌کرد: بسیار غیر پایا، غیراتخابی و بیش از حد گران بودند. در ۳۰ سال گذشته راه‌حل‌های بسیاری برای هرکدام از این چهار مشکل بدست آمده است به گونه‌ای که اکنون غشاها جایگاه مشخصی در فرایندهای جداسازی دارند[۱۴]. در صنعت آب و پساب فرآیندهای غشایی یکی از روش‌های ایده‌آل و مناسب برای تصفیه آب به شمار می‌روند[۱۵].

غشا یک ساختار فیلم مانند نازک است که دو سیال را از یکدیگر جدا می‌کند. در واقع غشا به عنوان یک مانع انتخابی عمل می‌کند که به برخی ذرات و مواد شیمیایی اجازه عبور می‌دهد و به برخی دیگر نمی‌دهد[۱۶]. اساس عملکرد غشاها نیروی محرکه‌ای است که می‌تواند اختلاف غلظت، اختلاف فشار و یا اختلاف بارالکتریکی باشد[۱۷]. بنابراین غشا چیزی نیست جز یک فصل مشترک نازک و گسسته که نفوذ اجزای شیمیایی در تماس با خود را محدود می‌کند. غشاها انواع مختلفی دارند که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

[1] Membrane

## ۲-۳- انواع غشاها از نظر ساختار فیزیکی

غشاها به دو گروه عمده تقسیم بندی می‌شوند، غشاهای همسانگرد[۲] و غشاهای ناهمسانگرد[۳].




شکل۲-۱. شکل شماتیکی از انواع غشاها [۱۴]

اگر غشا از نظر مولکولی همگن باشد، به این معنی که از نظر ترکیب و ساختار کاملا یکنواخت باشد از نوع همسانگرد می‌باشد، در حالیکه اگر از نظر فیزیکی یا شیمیایی ناهمگن باشد، برای مثال شامل حفرات و سوراخ‌هایی با توزیع اندازه محدود باشد یا دارای

[2] Isotropic membranes
[3] Anisostatic membranes

ساختاری لایه‌ای باشد، ناهمسانگرد نامیده می‌شود[۱۴]. انواع غشاها به صورت شماتیک در شکل (۲-۱) نشان داده شده‌اند و در ادامه به طور خلاصه توضیح داده می‌شوند.

### ۲-۳-۱- غشاهای همسانگرد

#### ۲-۳-۱-۱- غشاهای میکروحفره

غشاهای میکروحفره از نظر ساختار و عملکرد بسیار شبیه به فیلتر معمولی هستند. این غشا دارای ساختاری صلب و بسیار متخلخل با توزیع تصادفی حفرات می‌باشد.قطر حفرات این نوع غشاها از مرتبه ۰/۱ تا ۱۰ میکرومتر می‌باشد. ذراتی که از بزرگترین حفرات بزرگتر هستند کاملا توسط غشا پس زده می‌شوند. ذرات کوچک‌تر، اما بزرگ‌تر از کوچک‌ترین حفره‌ها، بسته به توزیع اندازه حفره‌ها به طور جزئی پس زده می‌شوند. ذراتی که خیلی کوچک‌تر از کوچک‌ترین حفره‌ها هستند، از غشا عبور می‌کنند. بنابراین جداسازی گونه‌های حل شده توسط غشای میکروحفره اساسا تابع اندازه مولکولی، توزیع اندازه ملکول‌ها و توزیع اندازه حفره ها است. به طور کلی تنها مولکول‌هایی که بزرگتر از حفرات باشند، توسط غشاهای میکروحفره به طور قابل ملاحظه‌ای جدا می‌شوند، برای مثال غشاهای اولترافیلتر و میکروفیلتر.[۱۴]

#### ۲-۳-۱-۲- غشاهای متراکم، بدون حفره

غشاهای متراکم بدون حفره دارای یک لایه متراکم هستند که در آن نفوذ کننده‌ها در اثر اعمال نیروی محرکه ای مانند اختلاف فشار، غلظت و یا پتانسیل الکتریکی نفوذ می‌کنند. جداسازی گونه‌های مختلف از یک ترکیب مستقیما به آهنگ انتقالشان از غشا بستگی دارد، که به واسطه نفوذپذیری و انحلال پذیری آن‌ها در مواد غشا تعیین می‌گردد. بنابراین در غشاهای بدون حفره متراکم در صورتی که غلظت (انحلال پذیری) نفوذکننده‌ها در مواد غشا تفاوت قابل توجه‌ای با یکدیگر داشته باشد، این نوع غشاها می‌توانند نفوذکننده‌هایی با اندازه مشابه را جدا کنند[۱۴].