

پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

پژوهشکده علوم

عنوان:

ساخت ، ارزیابی و مشخصه یابی غشاهای صفحه ای بر پایه پلی اترسولفون و بررسی اثر افزودنی های آلی و غیر آلی بر آن

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع پلیمر – گرایش بایومتریال

سمیه هاشمی نسب

اساتید راهنما : جلال برزین- حمید مویدی

۱۳۸۹

## فهرست عناوین

صفحه	عنوان
أ	فهرست مطالب
۱	چکیده
۲	فصل اول: مقدمه
	فصل دوم: تئوری
۵-۱-۲	تعریف غشا
۶-۲-۲	مزایای فرآیندهای غشایی
۶-۳-۲	محدودیت‌های فرآیندهای غشایی
۷-۴-۲	فرآیندهای جداسازی غشایی
۷-۱-۴-۲	اسمز معکوس
۷-۲-۴-۲	اولترافیلمتراسیون
۷-۳-۴-۲	میکروفیلمتراسیون
۷-۴-۴-۲	دی‌الیز
۸-۵-۴-۲	همودیالیز
۱۰-۵-۲	عوامل موثر بر کارایی و ساختار غشا
۱۱-۶-۲	جنس غشا
۱۳-۷-۲	مورفولوژی غشا
۱۳-۱-۷-۲	غشاهای متراکم پلی‌مری
۱۳-۲-۷-۲	غشاهای متراکم متقارن
۱۴-۳-۷-۲	غشاهای متخلخل پلی‌مری
۱۶-۴-۷-۲	نحوه تشکیل غشاهای متقارن و نامتقارن
۱۸-۵-۷-۲	مکانیسم تشکیل درشت حفره‌ها
۲۲-۸-۲	فرآیند انعقاد
۲۳-۱-۸-۲	ترمودینامیک جدایش فاز محلول‌های پلی‌مری
۲۴-۲-۸-۲	ترمودینامیک محلول‌های سه‌تایی حلال / پلی‌مر / غی‌ر حلال
۲۷-۳-۸-۲	مکانیسم‌های جدایش فاز
۲۸-۹-۲	روش ساخت غشاهای صفحه‌ای
۲۹-۱۰-۲	اولترافیلمتراسیون بر اساس داده‌های عبور ذرات محلول

۳۱	۲-۱۰-۱- شار عبور آب خالص و محلول خوراک از غشا
۳۱	۲-۱۰-۲- جدایش ذرات محلول توسط غشا
۳۱	۲-۱۰-۳- Molecular Weight Cut Off (MWCO)
۳۲	۲-۱۰-۴- متوسط ابعاد حفره‌ها و چگونگی پخش آنها
۳۵	۲-۱۱- شناسایی ساختار غشا توسط میکروسکوپ با انرژی اتمی
۳۵	۲-۱۲- زیست سازگاری غشا
۳۷	۲-۱۳- خون سازگاری
۳۸	۲-۱۴- مروری بر فعالیت‌های مرتبط با این پروژه، انجام پذیری رفته توسط دی‌گر محققین
۴۱	۲-۱۵- چشم اندازی بر اهداف و فعالیت‌های انجام شده در این پروژه
	<b>فصل سوم: تجربی</b>
۴۳	۳-۱- مواد اولیه مورد استفاده
۴۳	۳-۱-۱- پلی‌مر
۴۴	۳-۱-۲- حلال پلی‌مر
۴۴	۳-۱-۳- افزودنی‌های مورد استفاده
۴۶	۳-۱-۴- مواد مصرفی جهت آزمون کارایی غشا
۴۷	۳-۱-۵- پلاسمای غنی شده از پلاسمای خون انسان
۴۷	۳-۱-۶- سلول‌های فیبروبلاست L929
۴۷	۳-۲- ساخت غشاهای صفحه‌ای
۴۷	۳-۲-۱- تهیه محلول پلی‌مری
۴۸	۳-۲-۲- قالب‌گیری
۴۸	۳-۲-۳- انعقاد
۴۹	۳-۳- آزمایش‌ها و آزمون‌های مورد استفاده
۴۹	۳-۳-۱- آزمون گرانیروی
۴۹	۳-۳-۲- آزمون میکروسکوپ الکترونی
۴۹	۳-۳-۳- آزمون میکروسکوپی با انرژی اتمی
۵۰	۳-۳-۴- آزمون زاویه تماس با آب
۵۱	۳-۳-۵- آزمون تعیین غلظت خوراک و محصول
۵۲	۳-۳-۶- آزمایشات اولترافیلتراسیون جهت شناسایی غشاهای صفحه‌ای بر اساس داده‌های عبور ذرات محلول
۵۶	۳-۳-۷- آزمون کشت سلول جهت بررسی زیست سازگاری
۵۶	۳-۳-۸- آزمون چسبندگی پلاکت به نمونه‌ها جهت بررسی خون سازگاری
	<b>فصل چهارم: نتایج و بحث</b>
۵۸	۴-۱- بررسی اثر افزودنی‌ها در ترکیب درصدی مختلف بر گرانیروی محلول پلی‌مری

۵۸	۱-۱-۴- اثر افزودنی پلی‌وینیل‌پیرولیدون بر ویسکوزیته محلول پلی‌مری
۶۱	۱-۲-۴- اثر افزودنی پلی‌اتیلن‌گلیکول بر ویسکوزیته محلول پلی‌مری
۶۲	۱-۳-۴- اثر افزودنی اروزیل بر ویسکوزیته محلول پلی‌مری
۶۴	۱-۴-۴- اثر افزودن همزمان PVP/PEG بر ویسکوزیته محلول پلی‌مری
۶۶	۲-۲-۴- بررسی مورفولوژی غشاهای صفحه‌ای با استفاده از تصاویر بدست آمده از میکروسکوپی الکترونی
۶۶	۲-۱-۴- غشاهای پلی‌اتر سولفون بدون افزودنی
۶۷	۲-۲-۴- غشاهای پلی‌اتر سولفون حاوی پلی‌وینیل‌پیرولیدون
۷۴	۲-۳-۴- غشاهای پلی‌اتر سولفون حاوی پلی‌اتیلن‌گلیکول
۸۱	۲-۴-۴- غشاهای پلی‌اتر سولفون حاوی اروزیل
۸۷	۲-۵-۴- غشاهای پلی‌اتر سولفون حاوی پلی‌وینیل‌پیرولیدون و پلی‌اتیلن‌گلیکول
۹۲	۳-۴-۴- بررسی مورفولوژی سطح غشا با استفاده از آزمون میکروسکوپی با انرژی اتمی
۱۰۴	۴-۴-۴- بررسی نتایج آزمون زاویه تماس
۱۰۴	۴-۱-۴- تغییر زاویه تماس با آب برای غشاهای حاوی PVP
۱۰۵	۴-۲-۴- تغییر زاویه تماس با آب برای غشاهای حاوی PEG
۱۰۶	۴-۳-۴- تغییر زاویه تماس با آب برای غشاهای حاوی اروزیل
۱۰۷	۴-۴-۴- تغییر زاویه تماس با آب برای غشاهای حاوی PVP و PEG
۱۰۹	۵-۴-۴- آزمایشات اولترافیلتراسیون جهت بررسی کارایی غشاها بر اساس عبور ذرات در محلول
۱۲۲	۶-۴-۴- محاسبه متوسط ابعاد حفره‌ها و گستره پخش ابعاد حفره‌ها با استفاده از تصاویر AFM
۱۲۹	۷-۴-۴- بررسی نتایج آزمون کشت سلول جهت بررسی زیست‌سازگاری
۱۳۵	۸-۴-۴- آزمون چسبندگی پلاکت به غشاها جهت بررسی خون‌سازگاری
۱۳۵	۸-۱-۴- اثر پلی‌وینیل‌پیرولیدون بر چسبندگی پلاکت بر روی غشا
۱۳۶	۸-۲-۴- اثر پلی‌اتیلن‌گلیکول بر چسبندگی پلاکت بر روی غشا
۱۳۶	۸-۳-۴- اثر اروزیل بر چسبندگی پلاکت بر روی غشا
۱۳۷	۸-۴-۴- اثر افزودن پلی‌وینیل‌پیرولیدون و پلی‌اتیلن‌گلیکول بر چسبندگی پلاکت بر روی غشا
۱۴۱	فصل پنجم: نتیجه‌گیری
۱۴۲	پی‌شهادات
۱۴۳	منابع

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ تصویری از یک فرآیند غشایی..... ۵
- شکل ۲-۲ اولین دستگاه همودیالیز..... ۹
- شکل ۳-۲ دستگاه همودیالیز حاوی صافی‌های چند لایه..... ۹
- شکل ۴-۲ ساختار غشا نامتقارن..... ۱۵
- شکل ۵-۲ عملکرد غشا متقارن (A) و نامتقارن (B)..... ۱۵
- شکل ۶-۲ شمایی از ایجاد پوسته و حفره در محلول پلیمری در حمام انعقاد..... ۲۰
- شکل ۷-۲ نحوه بوجود آمدن انواع حفره‌ها، ترکیب حفره‌ها و رشد حفره‌ها..... ۲۱
- شکل ۸-۲ ارتباط انرژی آزاد گیبس اختلاط و غلظت جزء حل شده در دو دمای مختلف  $T_1$  و  $T_0$ ..... ۲۳
- شکل ۹-۲ نمودار فازی سه‌تایی پلیمر، حلال و غیر حلال..... ۲۵
- شکل ۱۰-۲ نمودار فازی برای سیستم‌های چهار جزئی..... ۲۷
- شکل ۱۱-۲ نمای شماتیکی از سل انتهای بسته..... ۳۰
- شکل ۱۲-۲ نمای شماتیکی از سل با جری‌ان متقاطع..... ۳۰
- شکل ۱۳-۲ تصویری شماتیکی از پروفایل در نواحی مختلف سطح غشا..... ۳۴
- شکل ۱-۳ پولک‌های پلی‌اتر سولفون..... ۴۴
- شکل ۲-۳ اروزیل..... ۴۶
- شکل ۳-۳ تصویری فیلم کش استفاده شده در پروژه..... ۴۸
- شکل ۴-۳ تصویری از افتادن یک قطره بر روی سطح، در اندازه‌گیری زاویه تماس با آب..... ۵۰
- شکل ۵-۳ زاویه تماس یک نمونه مایع با سطح..... ۵۱
- شکل ۶-۳ نمای از سل در حالت باز به همراه غشا..... ۵۳
- شکل ۷-۳ نمای از سل در حالت بسته..... ۵۳
- شکل ۸-۳ نمای از مجموعه کامل تست غشا..... ۵۵
- شکل ۹-۳ نمای شماتیکی از مجموعه کامل تست غشا..... ۵۵
- شکل ۱-۴ نمودار ویسکومتری با افزایش درصد PVP در دمای  $22^\circ C$ ..... ۶۰
- شکل ۲-۴ نمودار ویسکومتری با افزایش درصد PEG در دمای  $22^\circ C$ ..... ۶۲
- شکل ۳-۴ نمودار ویسکومتری با افزایش درصد اروزیل در دمای  $23^\circ C$ ..... ۶۳
- شکل ۴-۴ نمودار ویسکومتری با افزودن همزمان PVP/PEG در دمای  $23^\circ C$ ..... ۶۵
- شکل ۵-۴ تصویری SEM برای نمونه پلی‌اتر سولفون بدون افزودنی، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰..... ۶۶
- شکل ۶-۴ غشاهای پلی‌اتر سولفون، حاوی ۱٪ پلی‌وی‌نیل‌پیرولیدون، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰..... ۶۷

- شکل ۷-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۲٪ پلی‌وینیل‌پیرولیدون، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۶۸
- شکل ۸-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۴٪ پلی‌وینیل‌پیرولیدون، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۶۹
- شکل ۹-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۶٪ پلی‌وینیل‌پیرولیدون، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۷۰
- شکل ۱۰-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۱۰٪ پلی‌وینیل‌پیرولیدون، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۷۱
- شکل ۱۱-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۲.۵٪ پلی‌اتیلن‌گلیکول، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۷۴
- شکل ۱۲-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۵٪ پلی‌اتیلن‌گلیکول، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۷۵
- شکل ۱۳-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۷.۵٪ پلی‌اتیلن‌گلیکول، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۷۶
- شکل ۱۴-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۱۰٪ پلی‌اتیلن‌گلیکول، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۷۷
- شکل ۱۵-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۲۰٪ پلی‌اتیلن‌گلیکول، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۷۸
- شکل ۱۶-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۱٪ اروزیل، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۸۱
- شکل ۱۷-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۲٪ اروزیل، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۸۲
- شکل ۱۸-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۴٪ اروزیل، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۸۳
- شکل ۱۹-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۶٪ اروزیل، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۸۴
- شکل ۲۰-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۲٪ وزنی PVP و ۴٪ وزنی PEG، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۸۷
- شکل ۲۱-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۳٪ وزنی PVP و ۳٪ وزنی PEG، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۸۸
- شکل ۲۲-۴ غشای پلی‌اترسولفون حاوی ۴٪ وزنی PVP و ۲٪ وزنی PEG، (الف): بزرگ‌نمایی ۵۰۰ ، (ب): بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ ..... ۸۹
- شکل ۲۳-۴ تصویری سه بعدی میکروسکوپ انرژی اتمی از سطح غشای پلی‌اترسولفون خالص ..... ۹۲
- شکل ۲۴-۴ تصویری سه بعدی میکروسکوپ انرژی اتمی برای غشاهای حاوی PVP. (الف) ۱٪ PVP، (ب) ۲٪ PVP، (ج) ۴٪ PVP، (د) ۶٪ PVP، (ه) ۱۰٪ PVP ..... ۹۳
- شکل ۲۵-۴ نمودار زبری متوسط غشاهای حاوی PVP ..... ۹۴
- شکل ۲۶-۴ تصویری سه بعدی میکروسکوپ انرژی اتمی برای غشاهای حاوی PEG. (الف) ۲.۵٪ PEG، (ب) ۵٪ PEG، (ج) ۷.۵٪ PEG، (د) ۱۰٪ PEG، (ه) ۲۰٪ PEG ..... ۹۵
- شکل ۲۷-۴ نمودار زبری متوسط غشاهای حاوی PEG ..... ۹۶

شکل ۴-۲۸	تصویری سه بعدی می‌کروسکوپ انرژی اتمی برای غشاهای حاوی اروزیل. الف) ۱٪ اروزیل، ب) ۲٪ اروزیل، ج) ۴٪ اروزیل؛ د) ۶٪ اروزیل.....	۹۷
شکل ۴-۲۹	نمودار زبری متوسط غشاهای حاوی اروزیل.....	۹۸
شکل ۴-۳۰	تصویری سه بعدی می‌کروسکوپ انرژی اتمی برای غشاهای حاوی PVP/PEG. الف) ترکیب درصد ۲/۴، ب) ترکیب درصد ۳/۳، ج) ترکیب درصد ۴/۲.....	۹۹
شکل ۴-۳۱	نمودار زبری متوسط غشاهای حاوی PVP/PEG.....	۱۰۰
شکل ۴-۳۲	نمودار زاویه تماس در برابر می‌زان PVP مصرف شده در غشاها.....	۱۰۵
شکل ۴-۳۳	نمودار زاویه تماس در برابر می‌زان PEG مصرف شده در غشاها.....	۱۰۶
شکل ۴-۳۴	نمودار زاویه تماس در برابر می‌زان اروزیل مصرف شده در غشاها.....	۱۰۷
شکل ۴-۳۵	نمودار زاویه تماس در برابر می‌زان PVP/PEG مصرف شده در غشاها.....	۱۰۸
شکل ۴-۳۶	نمودار شار عبوری برای غشاهای حاوی PVP.....	۱۱۲
شکل ۴-۳۷	نمودار شار عبوری برای غشاهای حاوی PEG.....	۱۱۲
شکل ۴-۳۸	نمودار شار عبوری برای غشاهای حاوی اروزیل.....	۱۱۳
شکل ۴-۳۹	نمودار شار عبوری برای غشاهای حاوی PVP/PEG.....	۱۱۳
شکل ۴-۴۰	نمودار جداسازی اوره و PEG، PVP و BSA در غشای حاوی PVP.....	۱۱۵
شکل ۴-۴۱	نمودار جداسازی اوره، PEG، PVP و BSA در غشاهای حاوی PEG 600.....	۱۱۵
شکل ۴-۴۲	نمودار جداسازی اوره، PEG، PVP و BSA در غشاهای حاوی اروزیل.....	۱۱۶
شکل ۴-۴۳	نمودار جداسازی اوره، PEG، PVP و BSA در غشاهای حاوی PVP/PEG.....	۱۱۶
شکل ۴-۴۴	نمودار درصد جداسازی علی‌ه وزن مولکولی برای غشاهای حاوی PVP.....	۱۱۹
شکل ۴-۴۵	نمودار درصد جداسازی علی‌ه وزن مولکولی برای غشاهای حاوی PEG.....	۱۱۹
شکل ۴-۴۶	نمودار درصد جداسازی علی‌ه وزن مولکولی برای غشاهای حاوی اروزیل.....	۱۲۰
شکل ۴-۴۷	نمودار درصد جداسازی علی‌ه وزن مولکولی برای غشاهای حاوی PVP/PEG.....	۱۲۰
شکل ۴-۴۸	توزیع لگاریتم نرمال- احتمال سایز حفرات غشاهای حاوی PVP اندازه‌گیری شده از تصاویر AFM.....	۱۲۴
شکل ۴-۴۹	توزیع لگاریتم نرمال- احتمال سایز حفرات غشاهای حاوی PEG اندازه‌گیری شده از تصاویر AFM.....	۱۲۴
شکل ۴-۵۰	توزیع لگاریتم نرمال- احتمال سایز حفرات غشاهای حاوی اروزیل اندازه‌گیری شده از تصاویر AFM.....	۱۲۵
شکل ۴-۵۱	توزیع لگاریتم نرمال- احتمال سایز حفرات غشاهای حاوی PVP/PEG اندازه‌گیری شده از تصاویر AFM.....	۱۲۵
شکل ۴-۵۲	منحنی تابع توزیع احتمال برای غشاهای حاوی PVP که از تصاویر AFM اندازه‌گیری شده‌اند.....	۱۲۶
شکل ۴-۵۳	منحنی تابع توزیع احتمال برای غشاهای حاوی PEG که از تصاویر AFM اندازه‌گیری شده‌اند.....	۱۲۶

- شکل ۴-۵۴ منحنی تابع توزیع احتمال برای غشاهای حاوی اروزیل که از تصاویر AFM اندازه‌گیری شده‌اند. ۱۲۷.....
- شکل ۴-۵۵ منحنی تابع توزیع احتمال برای غشاهای حاوی PVP/PEG که از تصاویر AFM اندازه‌گیری شده‌اند. ۱۲۷.....
- شکل ۴-۵۶ کنترل منفی (پلی‌یورتان)..... ۱۳۰.....
- شکل ۴-۵۷ کنترل مثبت (پلی‌وینیل کلراید)..... ۱۳۰.....
- شکل ۴-۵۸ نمونه شاهد..... ۱۳۱.....
- شکل ۴-۵۹ غشای پلی‌اتر سولفون بدون افزودنی..... ۱۳۱.....
- شکل ۴-۶۰ غشای پلی‌اتر سولفون حاوی ۲٪ PVP..... ۱۳۲.....
- شکل ۴-۶۱ غشای پلی‌اتر سولفون حاوی ۷.۵٪ PEG 600..... ۱۳۲.....
- شکل ۴-۶۲ غشای پلی‌اتر سولفون حاوی ۲٪ اروزیل..... ۱۳۳.....
- شکل ۴-۶۳ غشای پلی‌اتر سولفون حاوی ۴٪ PVP و ۲٪ PEG 600..... ۱۳۳.....
- شکل ۴-۶۴ نمودار چسبندگی پلاکت برای غشاهای حاوی PVP..... ۱۳۵.....
- شکل ۴-۶۵ نمودار چسبندگی پلاکت برای غشاهای حاوی PEG..... ۱۳۶.....
- شکل ۴-۶۶ نمودار چسبندگی پلاکت برای غشاهای حاوی اروزیل..... ۱۳۷.....
- شکل ۴-۶۷ نمودار چسبندگی پلاکت برای غشاهای حاوی PVP/PEG..... ۱۳۸.....



## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲ نام و ساختار شیمیائی تعدادی از پلیمرهای مورد مصرف جهت ساخت غشاهای همودیالیز..... ۱۲
- جدول ۱-۴ مشخصات غشاهای تهیه شده از PVP به روش جدای‌ی فازی..... ۵۹
- جدول ۲-۴ مشخصات غشاهای تهیه شده از PEG600 به روش جدای‌ی فازی..... ۶۱
- جدول ۳-۴ مشخصات غشاهای تهیه شده از اروزیل به روش جدای‌ی فازی..... ۶۲
- جدول ۴-۴ مشخصات غشاهای تهیه شده از PEG و PVP به روش جدای‌ی فازی..... ۶۴
- جدول ۵-۴ شار آب خالص عبور کرده از غشاهای صفحه‌ای..... ۱۱۱
- جدول ۶-۴ متوسط سایز حفره و انحراف معیار برای غشاهای مختلف..... ۱۲۳

## چکیده

در این پروژه غشاهای صفحه‌ای بر پایه پلی‌اترسولفون به همراه افزودنی‌های آلی و غیر آلی ساخته شدند و مورد شناسایی و ارزیابی عملکردی قرار گرفتند. پلیمرهای سولفونی از خواص ویژه‌ای از جمله زیست سازگاری مناسب، محدود بودن اثرات جانبی در بدن، استحکام و پایداری حرارتی بالا و مقاومت شیمیایی مناسب برخوردار هستند. با توجه ماهیت آبگریزی نسبی پلی‌اترسولفون برای تغییر کارایی و ساختار غشاهای ساخته شده از این پلیمر، روش‌های مختلفی مانند روش‌های شیمیایی، تشعشعی و استفاده از افزودنی‌های مختلف وجود دارد. در این پروژه به منظور ایجاد تغییر در ساختار و در نتیجه کارایی غشاهای ساخته شده از پلی‌اترسولفون، افزودنی‌های آلی و غیر آلی پلی‌وینیل‌پیرولیدون، پلی‌اتیلن‌گلیکول و اروزیل با ترکیب درصد‌های مختلف به درصد ثابتی از پلی‌اترسولفون اضافه شد. اثر این افزودنی‌ها بر یکی از مهم‌ترین پارامترهای شکل‌دهی محلول پلیمری یعنی ویسکوزیته محلول، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مورفولوژی و ساختار غشا، توسط تصاویر SEM و AFM مورد بررسی قرار گرفت. به علاوه زبری سطح غشا، آبدوستی و آبگریزی غشا نیز مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. همچنین، اثر افزودنی‌های نام برده بر زیست سازگاری و خون سازگاری غشا به وسیله و تست تعیین سمیت یاخته‌ای و میزان چسبندگی پلاکت مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد، کارایی غشاهای صفحه‌ای در میزان گذردهی آب خالص و محلول‌های حاوی ذرات زیستی و غیر زیستی با جرم مولکولی مختلف اعم از PVP، PEG، BSA، واوره مورد بررسی و آزمون واقع شد. همچنین با استفاده از تصاویر AFM و روابط ریاضی حاکم، متوسط ابعاد حفره‌های غشا و گستره پخش آنها به عنوان یک پارامتر مهم شناسایی غشا محاسبه و گزارش شد. نتایج نشان می‌دهند که افزودنی‌های مورد استفاده ویسکوزیته محلول پلیمری را در مقایسه با نمونه پلی‌اترسولفون به نسبت‌های مختلف افزایش می‌دهند. مطالعات میکروسکوپ الکترونی نشان داد که در غشاهای حاوی پلی‌وینیل‌پیرولیدون و پلی‌اتیلن‌گلیکول و غشاهایی که در آنها این دو افزودنی به طور همزمان به کار گرفته شده‌اند، ساختاری نامتقارن حاصل شده است. استفاده از دو افزودنی پلی‌وینیل‌پیرولیدون و پلی‌اتیلن‌گلیکول تا یک ترکیب درصد مشخص باعث بزرگ شدن حفره‌ها و پس از آن درصد مشخص، منجر به کاهش سایز حفره‌ها و متراکم شدن ساختار می‌شود. در غشاهای حاوی اروزیل نیز، با افزایش ترکیب درصد این افزودنی ابعاد حفره‌ها افزایش می‌یابد ولی در درصد‌های بالای اروزیل، غشاها به سمت ایجاد تقارن پیش می‌روند و ساختار غشا متراکم‌تر و ابعاد حفره‌ها کوچک‌تر می‌شود. در تصاویر سه بعدی میکروسکوپ انرژی اتمی، مشاهده شد که در غشاهای حاوی پلی‌وینیل‌پیرولیدون زبری سطح از مقداری افزایش شروع به کاهش یافتن می‌نماید. در حالی که در غشاهای حاوی پلی‌اتیلن‌گلیکول و اروزیل با افزایش درصد افزودنی، زبری سطح افزایش می‌یابد. با محاسبه توزیع سایز حفره‌ها با توجه به تصاویر میکروسکوپ انرژی اتمی توزیع باریک سایز حفره‌ها حاصل شد. افزودنی، پارامتری موثر بر ساختار و کارایی غشا می‌باشد به نحوی که در غشاهای حاوی پلی‌وینیل-پیرولیدون و پلی‌اتیلن‌گلیکول روندی افزایشی و سپس کاهشی در شار عبوری آب خالص و سایر محلول‌های مورد استفاده در آزمون کارایی به عنوان خوراک مشاهده شد و یک روند معکوس برای جداسازی ذرات در آنها دیده شد که تایید کننده نتایج بدست آمده برای مورفولوژی و ساختار این غشاها می‌باشند. در غشاهای حاوی اروزیل نیز با افزایش درصد اروزیل، شار عبوری افزایش و میزان جداسازی کاهش یافت. در بررسی زیست سازگاری غشاها با استفاده از آزمون تعیین سمیت یاخته‌ای عدم سمیت همه غشاها و افزودنی‌های استفاده شده اثبات شد، بدین معنی که غشاهای ساخته شده و افزودنی‌های به کار رفته، هیچ گونه سمیتی در محیط کشت ایجاد نمی‌نمایند و به علاوه می‌توانند بستری برای کشت سلول‌ها نیز باشند. آزمون چسبندگی پلاکت به عنوان معیاری مهم از خون سازگاری مواد پلیمری نیز بر روی این غشاها روند مشخصی از چسبندگی پلاکت با تغییر ساختار و مورفولوژی سطح را نشان داد.

## فصل اول:

### مقدمه

از گذشته‌های دور مردمان به طرق گوناگون با فرآیندهای جداسازی برخورد داشته‌اند و از این علم، در صنایع مختلف بهره جسته‌اند. اصولاً جداسازی براساس وجود تفاوت بین اجزاء مختلف صورت می‌پذیرد. این تفاوت امکان دارد براساس ساختار فیزیکی و یا براساس طبیعت شیمیایی اجزاء مانند تفاوت در جرم، دانسیته، ابعاد، شکل، فشار بخار، سرعت نفوذ، تفاوت در حلالیت و یا خصوصیات جذب باشد که در یک فرآیند جداسازی از این خصوصیات توأمأ و یا به طور مجزا می‌توان استفاده نمود. به طور کلی فرآیندهای جداسازی به سه دسته کلی جداسازی توسط انتقال جرم بین فازها، جداسازی توسط واکنش شیمیایی و جداسازی توسط انتقال جرم از درون یک فاز تقسیم می‌گردند.

فرآیندهای جداسازی غشائی از مهمترین فرآیندهای جداسازی از نوع انتقال جرم در درون یک فاز بوده که برای انجام این فرآیندها نیازی به صرف انرژی زیاد حرارتی و یا استفاده از مواد شیمیایی که عموماً مورد نیاز فرآیندهای جداسازی می‌باشد، وجود ندارد. در این فرآیندها غشا به عنوان لایه‌ای نازک که می‌تواند اجزاء یک سیال را به طور انتخابی از آن جدا نماید و به عبارتی دیگر، به عنوان فاز سومی که انتقال جرم بین فازها را کنترل می‌نماید، جدا سازی اجزاء موجود در سیال را امکان‌پذیر می‌نماید. بر اساس نیروی محرکه فرآیند و اندازه اجزاء جداشونده، فرآیندهای مختلف غشائی تعریف می‌گردند.

کاربرد اصلی غشاها در زمینه جداسازی، بازیافت و خالص سازی می‌باشد، اگرچه کاربردهای مهم دیگری نیز در زمینه‌های خاص مانند راکتورها (پیل‌های الکتروشیمیایی و راکتورهای غشایی)، نیروگاه‌ها (باتری‌ها، پیل‌های سوختی) و حسگرها دارند. غشاها در زمینه جداسازی کاربردهای گسترده‌ای در جداسازی گازها، اسمز معکوس، اولترافیلتراسیون، تراوش تبخیری و دیالیز دارند.

در فرآیند جداسازی گاز، دو طرف غشا (سمت خوراک و نفوذ کننده) شامل یک گاز یا بخار می‌باشد. در این فرآیند غشایی، نرخ نفوذ بخار با اختلاف فشار جزئی در طول غشا برابر می‌باشد.

اسمز معکوس، عموماً در محلول‌هایی که حاوی یک حل شونده با وزن مولکولی کم می‌باشند (اغلب نمک)، استفاده می‌شوند. این فرآیند همچنین برای محلول‌هایی که شامل مقادیر بسیار کمی حل شونده آلی هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآیند مذکور شامل کاربرد فشار در مخلوط‌های مایع، به عنوان نیروی محرکه می‌باشد.

تراوش تبخیری یک فرآیند غشایی است که در آن، سمت خوراک یک مایع است و سمت نفوذ کننده به علت به کار گرفتن فشاری بسیار کم، بخار می‌باشد.

دیالیز یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های غشایی است که اصلی‌ترین کاربرد آن انجام عملیات همودیالیز بیماران کلیوی می‌باشد. در این فرآیند، خون بیمار کلیوی که به طور طبیعی، توسط کلیه قادر به دفع مواد زائد از خود نمی‌باشد توسط محیط غشا تصفیه و مواد زائدی چون اوره، اسید اوریک، کراتینین و آب اضافه از آن دفع می‌گردد. این فرآیند بر اساس تفاوت ابعاد ذرات و با نیروی محرکه اختلاف غلظت بین محیط خون و محلول دیالیز کننده انجام می‌شود.

ما در این پروژه با استفاده از یک ماده ترموپلاستیک مهندسی با زیست‌سازگاری مناسب که در سالهای اخیر توجه محققین علوم غشائی و از جمله سازندگان غشاهای مورد مصرف در فرآیند همودیالیز را به خود جلب نموده است به ساخت غشاهای صفحه‌ای<sup>۱</sup> مبادرت ورزیدیم و اثر افزودنی‌های آلی و غیر آلی را بر ساختار و کارایی غشا در جداسازی مواد زیستی و غیر زیستی در گستره مشخصی از جرم مولکولی را مورد بررسی قرار دادیم.

به منظور نیل به این مقصود موارد ذیل در پروژه مورد بررسی قرار می‌گیرد:

در فصل دوم، پس از ذکر مقدماتی بر فرآیندهای جداسازی، مخصوصاً فرآیندهای جداسازی غشائی، مزایا و محدودیت‌های این فرآیند پرداخته می‌شود. در ادامه با ذکر مواد مصرفی در ساخت انواع غشاها، پلی‌اتر سولفون (PES) به عنوان پلیمر اصلی مورد مصرف در ساخت غشاهای صفحه‌ای در این پروژه معرفی می‌گردد.

سپس به ساختارهای مختلف غشا و روش‌های تهیه آنها اشاره شده و در ادامه، روش جدایش فازی پدیده انعقاد به عنوان پدیده اصلی ساخت غشا از محلول‌های پلی‌اتر سولفون معرفی می‌گردد. از دیگر موارد اشاره شده در این فصل، مکانیزم‌های جدایش فازی و نحوه تشکیل غشاهای متقارن و نامتقارن می‌باشد.

در ادامه با معرفی آزمون اولترافیلتراسیون غشاها، پارامترهای حاصل از این آزمون برای شناسایی غشاها ذکر می‌گردد. در ادامه عوامل موثر بر کارایی و ساختار غشاها معرفی می‌شوند. همچنین میکروسکوپ با انرژی

<sup>۱</sup> - Flat membranes

اتمی (AFM) به عنوان ابزاری برای شناسایی مورفولوژی سطح غشا معرفی می‌شود. تئوری آزمون‌های زیست و خون‌سازی اعم از آزمونهای کشت سلول و چسبندگی پلاکت بر روی سطوح غشا نیز معرفی می‌گردند.

در ادامه مروری بر فعالیتهای مرتبط انجام شده با این پروژه صورت گرفته است. در انتهای فصل نیز مروری بر اهداف و فعالیتهای انجام شده در این پروژه خواهیم داشت.

در فصل سوم، مشخصات پلیمر و انواع افزودنی‌های آلی و غیر آلی بکار برده شده در ساخت غشاها و مواد مورد مصرف برای انجام آزمونها و همچنین روش ساخت غشاهای صفحه‌ای ذکر می‌گردد. در ادامه چگونگی انجام آزمونها بر روی غشاها بیان می‌شود.

در فصل چهارم، نتایج آزمون گرانروی ارائه و بررسی می‌شود. به منظور بررسی ساختار غشاها، تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) ارائه می‌شود و مورد بحث قرار می‌گیرد. همچنین برای بررسی ساختار غشا، نتایج آزمون AFM مورد بحث قرار می‌گیرد. به منظور بررسی آبدوستی غشاها نتایج آزمون زاویه تماس با آب ارائه و بررسی می‌شود. نتایج آزمون‌های اولترافیلتراسیون آب خالص و محلول‌های حاوی ذرات اوره، پلی‌اتیلن گلیکول، پلی‌وینیل‌پیرولیدون و سرم آلبومین گاوی بر روی غشاهای صفحه‌ای ذکر گردیده و بررسی می‌شود. در ادامه متوسط ابعاد حفره‌ها و توزیع سایز حفرات محاسبه، ارائه و بررسی می‌گردد. در انتهای فصل نیز برای مطالعات زیست‌سازی و خون‌سازی غشاها، آزمون‌های چسبندگی پلاکت به سطح غشا و آزمون کشت سلول بر روی سطح غشاهای صفحه‌ای مورد بحث قرار می‌گیرد.

فصل پنجم به ذکر جمع‌بندی و نتیجه‌گیری کلی اختصاص دارد.

پس از آن پیشنهادات به منظور ادامه تحقیقات و مراجع استفاده شده ارائه می‌گردد.

## فصل دوم:

### تئوری

#### ۱-۲- تعریف غشا

غشا می‌تواند به سه صورت تعریف شود:

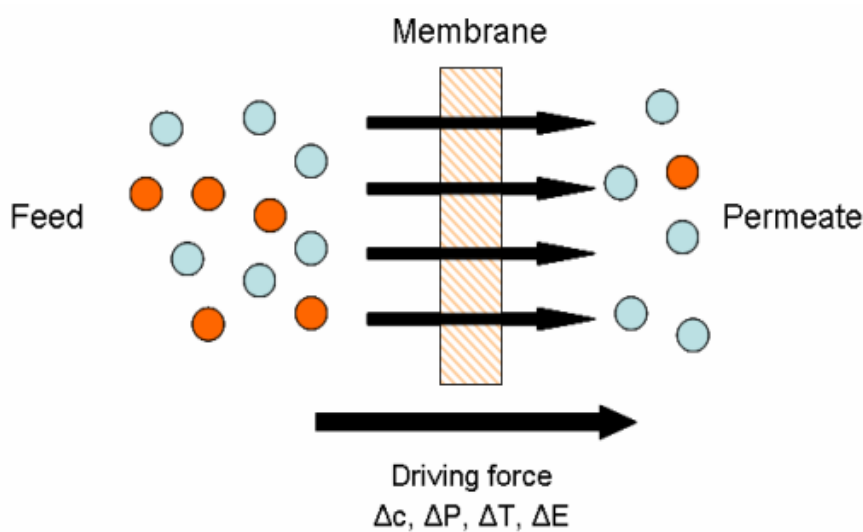
۱- یک فاز میانی که دو فاز را از هم جدا کرده یا به عنوان یک مانع فعال یا غیر فعال در برابر عبور مواد بین فازها عمل می‌کند.

۲- به عنوان فاز سوم، انتقال جرم ذرات را کنترل می‌کند.

۳- لایه ای که نوعی از ذرات می‌توانند سریع تر از بقیه از آن عبور کنند.

از بین این سه تعریف سوم جامع‌تر است و تطابق بیشتری با مفهوم جداسازی نسبی ذرات دارد. طبق این تعریف غشا فازی میانی است که اجزای مختلف با شدت تراوش پذیری متفاوت از آن عبور می‌کنند [۱].

شکل ۱-۲ تصویری از یک فرآیند غشایی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲. تصویری از یک فرآیند غشایی

## ۲-۲- مزایای فرآیندهای غشائی

- ۱) این فرآیندها قابلیت جداسازی و تغلیظ خوراک را در محدوده وسیعی از ذرات با جنس و ابعاد مختلف و در صنایع گوناگون دارا می‌باشند.
- ۲) عموماً تغییر فازی در خوراک و محصول صورت نمی‌پذیرد.
- ۳) برای انجام این فرآیندها صرف انرژی زیادی لازم نیست.
- ۴) برای جداسازی در دمای اتاق و یا دماهای پایین با مشکلی مواجه نبوده و بنابراین برای جداسازی مواد حساس به دما مانند صنایع دارویی، غذایی و بیوتکنولوژیکی کاربرد دارند.
- ۵) با انجام این فرآیندها در مقیاس آزمایشگاهی، توسعه دادن فرآیند به مقیاس صنعتی<sup>۱</sup>، نسبتاً ساده می‌باشد.
- ۶) برای نصب دستگاههای این فرآیندها، حجم زیادی در نظر گرفته نمی‌شود. به عبارتی سطح زیادی از غشا، در حجم کمی قابل استفاده می‌باشد.
- ۷) غشاها و محفظه‌های نگهداری آنها، به اشکال و ابعاد مختلفی قابل تهیه می‌باشند. بنابراین با اکثر محدودیت‌ها، قابلیت سازگار شدن را دارند.
- ۸) از آنجا که ضخامت غشاها بسیار کم می‌باشد، انتقال جرم در آن با سرعت انجام پذیرفته و نسبت به فرآیندهای دیگر جداسازی، از سرعت و کارایی خوبی برخوردار می‌باشند.
- ۹) جداسازی ذرات از محلول‌های بسیار رقیق کاملاً مقدور می‌باشد.
- ۱۰) این فرآیندها قابل ترکیب با دیگر فرآیندهای جداسازی بوده و باعث افزایش کارایی جداسازی می‌گردند.
- ۱۱) تعدادی از فرآیندهای جداسازی، فقط توسط غشا امکان پذیر می‌باشند [۲-۴].

## ۲-۳- محدودیت‌های فرآیندهای غشائی

- ۱) در ساخت یک غشا، اگر کنترل مناسبی بر اندازه حفره‌ها وجود نداشته باشد، امکان رسیدن به نتیجه مطلوب بسیار کاهش می‌یابد.
- ۲) ایجاد پدیده گرفتگی غشا کارایی غشا را کاهش می‌دهد، بنابراین فرآیندهای پاک‌سازی یا تعویض غشا باید صورت پذیرد.
- ۳) توانایی مدل‌کردن و پیش‌گویی کارایی و خواص غشا بسیار کم می‌باشد و برای این کار عموماً باید از روش حدس و خطا و روش‌های آزمایشگاهی استفاده نمود.

<sup>۱</sup> - Scale-Up

(۴) بعضی از غشاها، مخصوصاً غشاهای پلیمری، دارای محدودیت‌هایی از لحاظ دما و خواص شیمیایی محیط عملکرد می‌باشند.

(۵) فرآیندهای غشائی نیز مانند سایر فرآیندهای جداسازی، در مواردی قابلیت جداسازی کامل را ندارند.

## ۲-۴- فرآیندهای جداسازی غشائی

عامل اساسی در فرآیندهای غشائی، اختلاف در شدت انتقال اجزاء از محیط غشا می‌باشد. بنابراین برای حرکت اجزاء، نیاز به نیروی محرکه می‌باشد. این نیروی محرکه یا نتیجه اختلاف پتانسیل شیمیایی، و یا ناشی از اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو فاز است که توسط غشا از یکدیگر جدا شده‌اند. اختلاف پتانسیل شیمیایی، خود ناشی از اختلاف فشار، اختلاف دما و یا اختلاف غلظت می‌باشد.

بر اساس ابعاد مواد جداشونده و نیروهای محرکه گوناگون فرآیندهای غشائی مختلفی بکار برده می‌شوند که اهم آنها عبارتند از:

### ۲-۴-۱- اسمز معکوس

غشاهای اسمز معکوس (RO) برای جداسازی موادی با وزن مولکولی خیلی کم به کار می‌روند که عمومی‌ترین کاربرد آن نمک زدائی از آب دریا بوده و نیروی محرکه فرآیند اختلاف فشار می‌باشد [۳، ۵، ۶].

### ۲-۴-۲- اولترافیلتراسیون

اولترافیلتراسیون (UF) فرآیندی برای تغلیظ، جداسازی و استخراج مولکولهای بزرگی مانند پروتئین‌ها از خوراک محلول می‌باشد. اندازه حفره‌ها در این غشاها از  $10^{-3}$  الی  $10^{-2}$  میکرون بوده و عموماً نیروی محرکه فرآیند، اختلاف فشار می‌باشد. از کاربردهای این غشا مصرف در صنایع لبنیاتی، کاغذسازی، رنگ‌سازی، فرآیندهای بیولوژیکی و تصفیه آب را می‌توان نام برد [۳، ۵-۱۰].

### ۲-۴-۳- میکروفیلتراسیون

غشاهای میکروفیلتراسیون (MF) دارای حفره‌های  $0/1$  الی  $10$  میکرون بوده و اغلب برای جداسازی باکتری‌ها، کلونیدها و دیگر اجزاء در حد میکرون، استفاده می‌شوند. همچنین این غشاها نسبت به غشاهای UF و RO ساختار متقارن‌تری دارند. کاربرد این فرآیند عموماً در تصفیه آب‌ها، محلول‌ها و فیلتراسیون نوشیدنی‌ها می‌باشد [۳، ۷، ۱۰].

### ۲-۴-۴- دیالیز

دیالیز یک فرآیند جداسازی غشائی در حالت محلول بوده که در آن جداسازی اجزاء برطبق تفاوت در ابعاد صورت پذیرفته و از اختلاف غلظت به عنوان نیروی محرکه فرآیند استفاده می‌شود. اندازه حفره‌های تعبیه



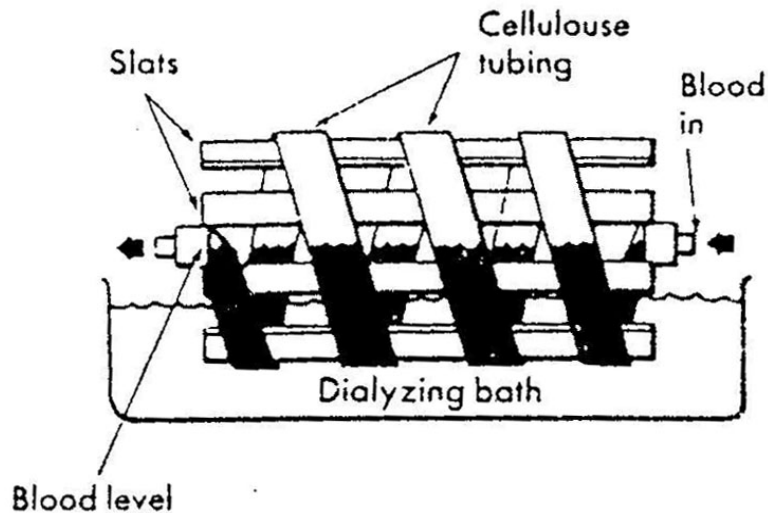
شده در این غشاها آنقدر کوچک بوده که عموماً حل شونده‌های با وزن مولکولی کم و یونها، قابلیت عبور از غشا را دارا بوده و مولکولهای بزرگ مانند ماکرومولکولها از آن عبور نمی‌کنند [۳، ۶].

#### ۲-۴-۵- همودیالیز

همو به معنی خون و دیالیز اشاره به فیلترشدن یا تصفیه دارد. در کاربرد بالینی سموم اورمیک خون از قبیل اوره، اسید اوریک و کراتینین توسط غشا دیالیز از خون جدا شده و توسط مایع دیالیز دفع می‌گردد. در حالت عادی سموم اورمیک و آب اضافه بدن توسط کلیه‌ها از خون گرفته شده و توسط ادرار دفع می‌گردند.

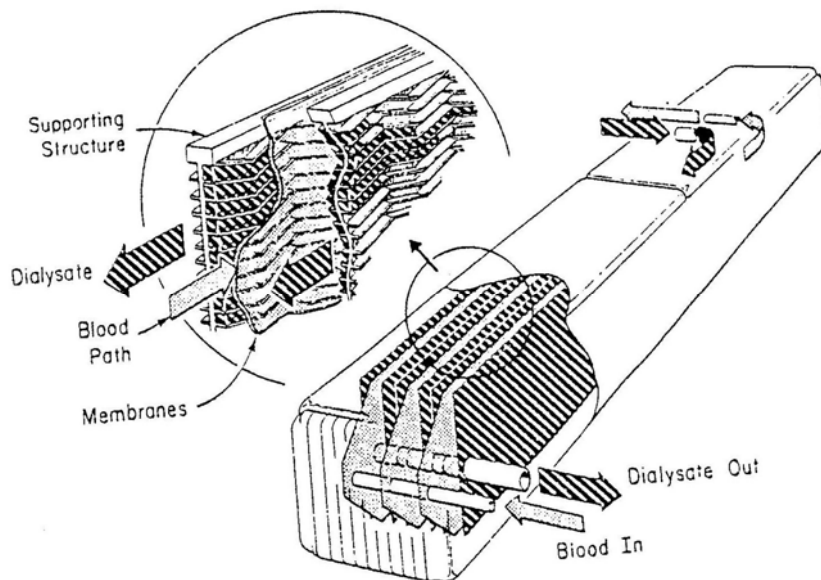
در بیماران کلیوی به دلیل نارسائی‌های حاد و مزمن کلیه، عمل دفع مواد زائد خون به خوبی انجام نگرفته و این مواد به همراه آب اضافه، در بدن تجمع می‌یابند. در این موارد دستگاههای همودیالیز به عنوان کلیه مصنوعی (Artificial Kidney) وارد عمل شده و این نارسائی را تا حد زیادی جبران می‌نمایند [۱۱]. در فرآیند همودیالیز، خون بیمار از محیط غشا، که توسط محلول دیالیز (Dialysate) احاطه گردیده‌است عبور مینماید. گلبول‌های قرمز و سفید، پلاکت‌ها و اکثر پروتئین‌های پلاسما بزرگتر از اندازه‌ای هستند که قادر باشند از منافذ غشا عبور نمایند اما آب و ذرات کوچک، مانند الکترولیت‌ها و مواد سمی موجود در خون مانند اوره، کراتینین و اسید اوریک قابلیت عبور از غشا و ورود به محلول دیالیز را دارند. محلول دیالیز محلولی الکترولیتی با ترکیبی نزدیک به ترکیب پلاسمای طبیعی می‌باشد. این محلول حاوی کلرید سدیم، بی‌کربنات سدیم، استات سدیم، کلرید کلسیم، کلرید پتاسیم، کلرید منیزیم و آب می‌باشد. محلول دیالیز مواد سمی و آب اضافی خون را که توسط اختلاف غلظت از غشا عبور کرده‌اند، برداشت نموده و از طرف دیگر مانع عبور دیگر یونهای اساسی خون از غشا می‌شود [۱۱].

اولین اقدامات برای ساخت غشاها همودیالیز در سال ۱۹۱۳ آغاز گردید و پس از آزمون‌های فراوان و با استفاده از روش حدس و خطا، نهایتاً در سال ۱۹۴۳ اولین دستگاه همودیالیزی که مورد استفاده بالینی قرار گرفت توسط Berk و Kolff تهیه شد. این دستگاه از یک استوانه دوار به دور محور خود تشکیل شده بود که دور تا دور آن لوله‌های سلولزی پیچیده شده و در حین کار دستگاه، همواره قسمتی از این لوله‌ها در مایع دیالیز غوطه‌ور بوده و خون نیز درون لوله‌ها جریان می‌یافت شکل (۲-۲) ساختار اولین دستگاه همودیالیز را نشان می‌دهد [۱۱].



شکل ۲-۲. اولین دستگاه همودیالیز [۱۱]

فرآیند همودیالیز توسط این دستگاه در حدود ۱۰ ساعت طول کشیده و همچنین کارایی قابل توجهی نیز به وسیله این دستگاه مشاهده نشد. مطالعات برای دست یافتن به کارایی بهتر و کاهش زمان فرآیند باعث شد که در سال ۱۹۶۵ دستگاههای همودیالیز حاوی صافی‌های چند لایه یکبار مصرف (Parallel plate dialyzer) تهیه گردید [۱۱]. در این دستگاه، غشاهای دیالیز بین صفحات محافظ قرار گرفته و نگهدارنده‌های غشاها عبور خون و مایع دیالیز به روی غشا را کنترل می‌کردند. در شکل (۲-۳) نمایی از این دستگاه نشان داده شده است.



شکل ۲-۳. دستگاه همودیالیز حاوی صافی‌های چند لایه [۱۱]

سرانجام در سال ۱۹۷۱ برای اولین بار غشاهای الیاف توخالی از جنس دی استیل سلولز و با نام تجاری کاپروفان توسط شرکت Cordis-Dow ابداع گردیده و به عنوان جایگزینی مناسب برای دیگر غشاهای دیالیز وارد بازار گردید [۱۲]. برای تهیه این نوع غشاها نیز، ابتدا غشا صفحه‌ای تهیه شده و با کمک فرمولاسیون بدست آمده و تعیین ساختار غشا سعی بر تهیه غشا الیاف توخالی گردید.

با توجه به موارد مذکور مشخص است که در انواع دستگاههای همودیالیز، غشاهای دیالیز از مهمترین قسمت‌های دستگاه می‌باشند چرا که فرآیند اصلی جداسازی و دفع مواد زائد خون را عهده‌دار می‌باشند. از آنجا که در ساخت یک غشا عوامل بسیاری دخیل می‌باشند و با اعمال تغییرات در شرایط فرآیند و مواد مصرفی، ساختارهای مختلفی از غشا بوجود می‌آید لذا برای طراحی غشا به منظور کاربردی خاص باید چشم اندازی بر ساختارهای مختلف غشا، انواع فرآیندهای شکل‌دهی و عوامل موثر بر ساختار غشا داشت. هم اکنون مطالعات گسترده‌ای توسط مراکز تحقیقاتی و شرکتهای بزرگ و منحصر به فرد تولید کننده غشاهای دیالیز به منظور استفاده از مواد مختلف پلیمری و تغییر شرایط فرآیند برای دستیابی به کارایی مناسب در دفع مواد زائد کوچک مولکول و مواد با جرم مولکولی متوسط در حال انجام می‌باشد. ساخت و مطالعه بر روی غشاهای صفحه‌ای برای دیگر کاربردها در پزشکی و کاربردهای در تماس با خون همچنان ادامه دارد.

## ۲-۵- عوامل موثر بر کارایی و ساختار غشا

کنترل کارایی و ساختار غشا از اهمیت بالایی برخوردار است. ساخت یک غشا با ساختار و کارایی کنترل شده بسیار مشکل می‌باشد، چرا که عوامل بسیار زیادی بر آنها تاثیر گذار می‌باشند. از جمله این عوامل می‌توان به انتخاب حلال و ضد حلال، ترکیب درصد، دمای انعقاد کننده، ویسکوزیته محلول پلیمری و سرعت فیلم کش<sup>۱</sup> اشاره کرد.

بنابراین، با تغییر یک یا چند متغیر، که به هم وابسته می‌باشند، ساختارهای غشا ممکن است به طور قابل توجهی تحت تاثیر باشند. افزودن یک جز آلی یا غیر آلی به محلول به عنوان جز سوم، یکی از تکنیک‌های مهم است که در تهیه غشا به کار گرفته می‌شود. با این وجود، نقش افزودنی آلی یا غیر آلی، همانند متیل سلولز، گلیسرین، پلی وینیل پیرولیدن، پلی اتیلن گلیکول، آب، کلرید لیتیم و کلرید روی در محلول به عنوان یک عامل تشکیل حفره که خواص نفوذی را ارتقا می‌بخشند، گزارش شده است.

به منظور بررسی اثر هر یک از این عوامل باید سایر عوامل موثر را در شرایطی بدون تغییر نگه داشت و اثر آن متغیر را دید. از بین این عوامل استفاده از یک افزودنی و بررسی اثرات آن نسبت به دیگر عوامل ساده‌تر

<sup>۱</sup> - film applicator

می باشد چرا که به راحتی می توان آن را تغییر داد و از یک افزودنی دیگر استفاده کرد و اینکه انتخاب یک افزودنی مناسب، اثر آشکاری بر ساختار و کارایی غشا خواهد داشت.

## ۲-۶- جنس غشا

بسیاری از خواص فیزیکی و شیمیایی غشا مانند بار سطحی، آبدوستی و آبگریزی، جذب و دفع اجزاء مختلف، استحکام و ساختار مکانیکی غشا تابع جنس مواد مصرفی در ساخت غشا می باشد. غشاها از لحاظ جنس اولیه به چهار گروه عمده سرامیک ها، مایعات، فلزات و پلیمرها تقسیم می گردند [۱۳].

غشاهای پلیمری مهمترین و گسترده ترین گروه غشاهای تولیدی در جهان می باشند. موادی چون پلی پروپیلن، سلولز نترات، پلی تترافلورواتیلن، سلولز استات، پلی ایمید، پلی سولفون، پلی اتر سولفون، پلی اکریلو نیتریل، پلی وینیل الکل و پلی آمید در انواع فرآیندهای غشائی مورد استفاده قرار گرفته اند [۶، ۱۴-۱۶].

به منظور ساخت غشاهای دیالیز خون نیز از پلیمرهای مختلفی استفاده می گردد. در جدول ۲-۱ نام و ساختار شیمیایی تعدادی از پلیمرها که برای ساخت غشاهای همودیالیز تجاری مورد مصرف واقع شده و یا مراحل تحقیقاتی را طی میکنند نشان داده می شود.