بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه کاشان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک حالت جامد

عنوان:

غنی‌سازی اکسیژن موجود در هوا با استفاده از نانوغشای متخلخل مغناطیسی

استاد راهنما:

دکتر بهرام خوشنویسان

به وسیله:

جعفر نامدار مقدم

شهریور ۱۳۹۰

دانشگاه کاشان

تاریخ :
شماره:
پیوست :

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو : آقای جعفر نامدار مقدم شماره دانشجویی : ۸۷۱۳۶۳۰۳۹۸

رشته : فیزیک گرایش حالت جامد دانشکده : علوم

عنوان پایان‌نامه :

"غنی‌سازی اکسیژن موجود در هوا با استفاده از نانوغشای متخلخل مغناطیسی"

این پایان‌نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارائه می‌گردد.دفاع از پایان نامه در تاریخ ۹۰/۰۶/۱۵ مورد تأیید و ارزیابی هیأت داوران قرار گرفت و با نمره به عدد: ۱۹/۷۵

به حروف: نوزده و هفتاد و پنج صدم

و درجه عالی به تصویب رسید.

اعضاء هیأت داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱.استاد راهنما :	دکتر بهرام خوشنویسان	دانشیار	
۲. متخصص و صاحب نظر داخل دانشگاه :	دکتر بهرام جزی دکتر احسان روزمه	دانشیار استادیار	
۳. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه :	دکتر بهنام بازیگران	استادیار	

ابراهیم نعمتی لائی
مدیر تحصیلات تکمیلی

تقدیم به:

پدر آسمانیم

و مادر عزیزم که وجودش معنای زندگی است

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا لازم می‌دانم که از خانواده‌ی عزیزم به خصوص مادر مهربانم که همواره پشتیبان و مشوق من بودند تشکر کنم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای **دکتر بهرام خوشنویسان** که مسئولیت راهنمایی من در این تحقیق را به عهده گرفتند و در تمام مراحل کار با راهنمایی و مشاوره‌ی خود من را یاری کردند تشکر و قدردانی می‌کنم.

همچنین از آقای دکتر بهرام جزی و آقای دکتر احسان روزمه که به عنوان اساتید داور داخل، این پایان‌نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه‌ی دفاعیه شرکت کردند تشکر می‌کنم.

در ضمن از آقای دکتر بهنام بازیگران که به عنوان نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی دانشگاه حضور داشتند سپاسگزارم.

در پایان از تمامی دوستانم به خصوص آقای علی خیاطیان که با همراهی‌های خود مشوق من بودند تقدیر و تشکر می‌کنم.

چکیده

در این پایان‌نامه تأثیر نانوغشای مغناطیسی کبالت تحت میدان مغناطیسی خارجی بر روی میزان تغییرات غلظت اکسیژن عبوری از غشا مورد بررسی قرار گرفت. نقش اصلی این نانوغشا، ایجاد گرادیان‌های موضعی میدان مغناطیسی قوی در ابعاد میکروسکوپیک به منظور ایجاد تفاوت در میزان عبور گازهای اکسیژن و نیتروژن می‌باشد. به علت رفتارهای پارامغناطیسی و دیامغناطیسی اکسیژن و نیتروژن، نیروهای مغناطیسی در خلاف جهت هم به این مولکول‌ها وارد شده و در نتیجه جداسازی این گازها توسط این نیروها امکان‌پذیر می‌باشد.

در این تحقیق ابتدا میدان مغناطیسی مناسب توسط الکترومگنت که به طور خاص طراحی شده و دارای گرادیان در اندازه می‌باشد ایجاد می‌شود. نتایج جداسازی این وسیله به طور جداگانه بررسی شد. سپس برای اولین بار نانوغشای کبالت با استفاده از دو تکنیک "انباشت فیزیکی بخار" (PVD) بر روی دو زیرلایه؛ یکی فوم از جنس یونولیت و دیگری توری استیل و سپس "الکترونباشت DC" کبالت بر روی آن‌ها ساخته شد. از زیرلایه‌ی فوم به دلیل تأثیر آن در ایجاد نانوحفره به هنگام الکترونباشت، استفاده گردید. بعد از انجام مراحل ساخت، زیرلایه‌ی فوم برداشته می‌شود. پارامترهای مؤثر در یکنواختی سطح و اندازه نانوحفره‌ها از جمله جریان، اسیدیته‌ی محلول و زمان الکترونباشت مورد بررسی قرار گرفتند و مقادیر بهینه برای آن‌ها به دست آمد. آنالیز مغناطیسی نمونه‌ها توسط مغناطوسنجی ارتعاشی نمونه (VSM) و آنالیز مورفولوژی سطح نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) انجام شد. نتایج، تأثیر استفاده از نانوغشای مغناطیسی را در جداسازی اکسیژن و نیتروژن موجود در هوا، تحت میدان مغناطیسی الکترومگنت به خوبی نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: ۱. غنی‌سازی اکسیژن ۲. جداسازی هوا ۳. نانوغشا ۴. غشای مغناطیسی ۵. غشای نانومتخلخل ۶. الکترونباشت کبالت ۷. آبکاری کبالت

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

غشا و کاربرد آن در جداسازی گاز، روابط حاکم بر سازوکار جداسازی غشایی و مقدمه‌ای بر مغناطیس ۱

مقدمه ۲

۱-۱- نانوحفره‌ها ۲

۱-۱-۱- مواد نانوحفره‌ای توده‌ای ۳

۱-۱-۲- غشاهای نانوحفره‌ای ۳

۱-۲- پیشینه‌ی تاریخی ۳

۱-۳- جداسازی گاز با استفاده از غشا ۵

۱-۳-۱- اهمیت فرآیند غشایی در جداسازی گاز ۵

۱-۳-۲- کاربردهای مختلف غشاها در جداسازی گاز و شرکت تولیدکننده‌ی آن‌ها ۵

۱-۳-۳- غشا و تقسیم بندی آن ۷

۱-۳-۳-۱- دسته‌بندی فرآیندهای غشایی بر اساس اندازه حفره‌های غشا یا اندازه‌ی مواد عبوری از آن... ۱۰

۱-۳-۳-۲- دسته‌بندی غشاها بر اساس دانسیته‌ی شار عبوری و گزینش‌پذیری ۱۰

۱-۳-۳-۲-۱- غشای متخلخل ۱۲

۱-۳-۳-۲-۲- غشاهای غیرمتخلخل یا متراکم ۱۳

۱-۳-۳-۲-۳- غشاهای نامتقارن ۱۳

۱-۳-۴- مکانیسم های عبور گاز از غشا ۱۳

۱-۳-۴-۱- جریان کنوکسیونی ۱۴

۱-۳-۴-۲- نفوذ نادسن ۱۴

۱-۳-۴-۳- اثر غربال مولکولی ۱۵
۱-۳-۴-۴- مکانیسم حلالیت- نفوذ ۱۵
۱-۳-۵- نفوذ گاز در غشاهای پلیمری جامد ۱۶
۱-۳-۶- تعیین کارایی غشا در جداسازی گازها ۱۸
۱-۳-۷- روش‌های اندازه‌گیری میزان عبور مخلوط گازها از میان غشا ۱۹
۱-۳-۷-۱- طیف سنجی جرمی (MS) ۲۰
۱-۳-۷-۲- کروماتوگرافی گاز (GC) ۲۰
۱-۳-۸- آنالیز غشا با استفاده از میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) ۲۱
۱-۴- جداسازی گازهای اکسیژن و نیتروژن از مخلوط هوا ۲۱
۱-۵- خواص مغناطیسی مواد ۲۲
۱-۵-۱- ممان مغناطیسی و مغناطش ۲۲
۱-۵-۲- پذیرفتاری و تراوایی مغناطیسی ۲۳
۱-۵-۳- پدیده‌شناسی پسماند ۲۴
۱-۵-۴- انواع مواد مغناطیسی بر اساس وادارندگی یا سختی مغناطیسی ۲۶
۱-۵-۴-۱- آهنرباهای دائمی ۲۶
۱-۵-۴-۲- محیط ثبت مغناطیسی ۲۶
۱-۵-۴-۳- مواد مغناطیسی نرم ۲۷
۱-۵-۵- رفتار مغناطیسی مواد ۲۷
۱-۵-۵-۱- رفتار دیامغناطیسی در مواد ۲۸
۱-۵-۵-۲- رفتار پارامغناطیسی درمواد ۲۹
۱-۵-۵-۳- رفتار فرومغناطیسی در فلزات ۳۰
۱-۵-۵-۴- رفتار مغناطیسی اکسیژن و نیتروژن ۳۲

فصل دوم

انواع روش‌های غنی‌سازی اکسیژن موجود در هوا و نیروهای مغناطیسی وارد بر گازهای پارامغناطیس و دیامغناطیس ۳۶

مقدمه ۳۷

۲-۱- معرفی ترکیبات هوا ۳۷

۲-۲- فرآیندهای جداسازی برودتی هوا ۳۸

۲-۲-۱- مراحل فرآیند جداسازی برودتی هوا ۳۹

۲-۲-۲- کاربرد و معایب روش جداسازی برودتی هوا ۳۹

۲-۳- فرآیندهای جداسازی غیر برودتی هوا ۴۰

۲-۳-۱- مکانیسم و فرآیندهای جذب ۴۰

۲-۳-۱-۱- جذب سطحی ۴۱

۲-۳-۱-۱-۱- جذب سطحی با نوسانات فشار(PSA) ۴۲

۲-۳-۱-۲- فرآیندهای جذب شیمیایی ۴۴

۲-۳-۲- مکانیسم جدایی- نفوذ غشایی ۴۶

۲-۳-۲-۱- غشاهای پلیمری ۴۶

۲-۳-۲-۱-۱- غشاهای پلیمری استفاده شده در غنی‌سازی اکسیژن ۴۷

۲-۳-۲-۲- غشاهای انتقال یون (ITM) ۴۸

۲-۴- جداسازی مغناطیسی مواد ۴۹

۲-۴-۱- جداسازی مغناطیسی بر اساس نحوه وارد شدن نیروی مغناطیسی به ذرات ۴۹

۲-۴-۲- جداسازی با توجه به خاصیت مغناطیسی اکسیژن و نیتروژن ۵۱

۲-۴-۲-۱- نیروهای مغناطیسی وارد بر ذرات پارامغناطیس و دیامغناطیس ۵۱

۲-۴-۳- گرادیان میدان مغناطیسی ۵۴

۲-۴-۳-۱- سیم پیچ‌های ایجادکننده‌ی گرادیان ۵۴

۲-۴-۳-۱-۱- جفت سیم‌پیچ هلمهولتز ۵۵
۲-۴-۳-۱-۲- جفت سیم‌پیچ ماکسول ۵۷
۲-۴-۳-۱-۳- سیم‌پیچ با آرایش‌گیری دوبله‌زینی ۵۸
۲-۴-۳-۱-۴- بازده سیم‌پیچ‌های دارای گرادیان میدان مغناطیسی ۵۸
۲-۴-۳-۲- مروری بر تحقیقات تجربی انجام شده در زمینه‌ی امکان غنی‌سازی اکسیژن با استفاده از گرادیان میدان مغناطیسی ۶۰
۲-۵- جداسازی اکسیژن و نیتروژن با استفاده از گرادیان میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط الکترومگنت ساخته شده در آزمایشگاه ۶۳
۲-۵-۱- طراحی و ساخت الکترومگنت ۶۴
۲-۵-۲- سامانه‌ی اندازه‌گیری غلظت اکسیژن هوای خروجی از فضای مغناطیسی بین دو الکترومگنت ۶۵
۲-۵-۳- نتایج و داده‌های مربوط به میدان مغناطیسی تولید شده توسط الکترومگنت‌ها و تغییرات غلظت اکسیژن حاصل از هوای عبوری از فضای بین آن‌ها ۶۶

فصل سوم

مراحل مختلف آزمایش، اندازه‌گیری‌ها و نتایج ۷۰

مقدمه ۷۱
۳-۱- وسایل، تجهیزات و مواد مورد نیاز ۷۲
۳-۲- مراحل ساخت غشای نانومتخلخل ۷۳
۳-۲-۱- تهیه‌ی نمونه‌ها (مرحله‌ی اول) ۷۳
۳-۲-۱-۱- انباشت فیلم نازک در یک محیط خلأ ۷۴
۳-۲-۱-۱-۱- انباشت فیزیکی بخار به روش تبخیر به وسیله‌ی باریکه‌ی الکترونی ۷۶
۳-۲-۲- الکتروانباشت DC لایه‌های نازک کبالت (مرحله‌ی دوم) ۷۸
۳-۲-۲-۱- علت استفاده از الکتروانباشت برای ساخت فیلم‌های نازک کبالت متخلخل ۷۸
۳-۲-۲-۲- نحوه‌ی انجام الکتروانباشت DC ۷۹

۳-۳- ساخت نمونه‌ها در شرایط مختلف و آنالیز آن‌ها ۸۲
۳-۳-۱- آنالیز مغناطیسی نمونه‌ها ۸۲
۳-۳-۲- آنالیز مورفولوژی سطح نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) و میکروسکوپ نوری ۸۷
۳-۴- سامانه‌ی طراحی شده برای آزمایش غشاهای کبالت ساخته شده و نتایج مربوط به جداسازی اکسیژن و نیتروژن برای هر یک از آن‌ها ۹۳
۳-۴-۱- نتایج ۹۵
نتیجه‌گیری ۹۹
پیشنهادها ۱۰۰
فهرست مراجع ۱۰۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱): تاریخچه‌ای از پیشرفت تکنولوژی جداسازی غشایی..... ۶

شکل (۱-۲): طرحواره‌ای از فرآیندهای غشایی مختلف و انواع اجزای جداشونده توسط این فرآیندها به کمک غشاهای؛ (a) متراکم و فرامیکرومتخلخل (b) میکرومتخلخل (c) مزومتخلخل (d) ماکرومتخلخل..... ۱۱

شکل (۱-۳): مکانیسم‌های ارائه شده برای انتقال گاز از غشا..... ۱۴

شکل (۱-۴): نمایش منحنی پسماند مغناطیسی و پارامترهای مغناطیسی متناظر..... ۲۵

شکل (۱-۵): رفتار یک ماده‌ی دیامغناطیس در میدان مغناطیسی خارجی..... ۲۹

شکل (۱-۶): رفتار یک ذره‌ی پارامغناطیس در میدان‌های مغناطیسی مختلف؛ به ترتیب از راست به چپ در میدان صفر، میدان ضعیف و میدان قوی..... ۳۰

شکل (۱-۷): ساختارهای حوزه‌ی فرومغناطیس (الف) تک‌بلور (ب) جسم چندبلوری..... ۳۰

شکل (۱-۸): ترتیب پرشدن اوربیتالی برای مولکول‌های دو اتمی جورهسته‌ی عناصر تناوب دوم؛ (الف)- از Li_2 تا N_2 (ب)- O_2 و F_2..... ۳۳

شکل (۱-۹): نمودار تراز انرژی اوربیتال‌های مولکولی برای O_2 و N_2..... ۳۵

شکل (۲-۱): فرآیند جداسازی هوا بر پایه‌ی جذب..... ۴۲

شکل (۲-۲): فرآیند جداسازی هوا با روش جذب سطحی با نوسانات فشار (PSA)؛ (۱) فیلتر هوا، (۲) کمپرسور، (۳) خنک‌کننده‌ی هوا، (۴) فیلتر آب و CO_2، (۵) فشارسنج برای هوا، (۶) شیر یک طرفه برای اکسیژن، (۷) فشارسنج برای اکسیژن، (۸) اجزای سرشیلنگ برای کنترل شار عبوری (P1، P2 و P3)، (۹) شیر یک طرفه برای اکسیژن، (۱۰) ستون جذب، (۱۱) سیستم کنترل، (۱۲) فیلتر برای اکسیژن، (۱۳) شیر تنظیم برای فشار اکسیژن، (۱۴) شارسنج برای محصول اکسیژن، (۱۵) غلظت‌سنج و (۱۶) لوله‌ی خروجی هوا..... ۴۴

شکل (۲-۳): فرآیند جداسازی شیمیایی هوا..... ۴۵

شکل (۲-۴): فرآیند جداسازی هوا با استفاده از غشای پلیمری..... ۴۷

شکل (۲-۵): نیروی مغناطیسی تولید شده توسط یک آهنربای دائمی..... ۵۲

شکل (۲-۶): نمایش متغیرهای تعریف شده در قانون بیوساوار..... ۵۵

شکل (۲-۷): جفت سیم‌پیچ هلمهولتز؛ (الف) نمایی از قرارگیری یک جفت تک حلقه‌ی هلمهولتز به شعاع a و فاصله‌ی d از یکدیگر (ب) تصویر خطوط میدان مغناطیسی حاصل از جفت سیم‌پیچ هلمهولتز..... ۵۶

شکل (۲-۸): تغییرات میدان مغناطیسی حاصل از یک جفت سیم‌پیچ در صفحه‌ی میانی دو سیم‌پیچ در فواصل مختلف r از محور که در سه فاصله‌ی مختلف از هم قرار گرفته‌اند؛ (الف): d=۰/۸a (ب): d=a (ج): d=۱/۲a..... ۵۶

شکل (۲-۹): جفت سیم‌پیچ هلمهولتز و ماکسول؛ (الف) مقایسه‌ی ظاهری (ب) مقایسه‌ی تغییرات میدان مغناطیسی حاصل از هر دو سیم‌پیچ..... ۵۷

شکل (۲-۱۰): سیم‌پیچ با آرایش‌گیری دوبله‌زینی..... ۵۸

شکل (۲-۱۱): توزیع فضایی میدان مغناطیسی در امتداد محور y و قرارگیری شعله در سه موقعیت مختلف؛ (A) جهت گرادیان میدان از بالا به پایین در جهت y- (B) گرادیان میدان صفر(میدان مغناطیسی یکنواخت) (C) جهت گرادیان میدان از پایین به بالا در جهت y+..... ۶۱

شکل (۲-۱۲): اثر گرادیان‌های میدان مغناطیسی بر روی دمای شعله..... ۶۱

شکل (۲-۱۳): تصویر دو الکترومگنت ساخته شده؛ الف- الکترومگنت با ۵۰۰۰ دور سیم با منفذ ۱ سانتی‌متری در وسط آن، ب- الکترومگنت با ۴۰۰۰ دور سیم با منفذ ۳ سانتی‌متری..... ۶۴

شکل (۲-۱۴): دو الکترومگنت به فاصله‌ی mm ۲ از هم..... ۶۵

شکل (۲-۱۵): تصویرکلی از دستگاه و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن؛ a) الکترومگنت با ۴۰۰۰ دور b) الکترومگنت با ۵۰۰۰ دور c) سامانه‌ی انتقال هوای عبوری از فضای مغناطیسی d) پمپ مکش هوا e) تسلامتر برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی f) محفظه‌ی ورود و خروج هوای گذرنده از فضای مغناطیسی g) پروب اکسیژن‌متر برای اندازه‌گیری غلظت اکسیژن h) منبع تغذیه‌ی Ac برای پایین بردن ولتاژ پمپ مکنده i) اکسیژن‌متر..... ۶۶

شکل (۳-۱): تصویر قرص ساخته شده از پودر کبالت خالص..... ۷۴

شکل (۳-۲): سه گام اصلی در فرآیند انباشت فیزیکی بخار؛ عمل تبخیر از منبع، انتقال مواد تبخیر شده و متمرکز ساختن مواد تبخیری..... ۷۵

شکل (۳-۳): طرحواره‌ای از مقطع تفنگ تبخیر باریکه‌ی الکترونی که در یک محفظه خلأ نصب گردیده است..... ۷۷

شکل (۳-۴): الف- نمای بیرونی ب- نمای درونی دستگاه انباشت فیزیکی بخار به روش تبخیر توسط باریکه‌ی الکترونی ۷۸

شکل (۳-۵): سامانه‌ی الکتروانباشت یا الکتروپلیت DC؛ (a) منبع تغذیه‌ی DC (b) آمپرسنج (c) محلول الکترولیت (d) الکترود پلاتین صفحه‌ای (e) الکترود کاتد (f) زیرلایه‌ی فیلم نازک کبالت و یا توری استیل (g) استیرر ۸۰

شکل (۳-۶): زیرلایه‌های فوم و توری استیل به همراه نگهدارنده؛ الف- در زاویه‌ی صفر ب- در زاویه‌ی ۸۰ درجه ۸۲

شکل (۳-۷): تصویر SEM حاصل از فیلم خالص کبالت متخلخل بعد از الکتروپلیتینگ بر روی لایه‌نازک کبالت با ضخامت nm ۱۰۰؛ الف- از نمای دور، ب- از نمای نزدیک‌تر ۸۸

شکل (۳-۸): تصویر SEM حاصل از؛ الف- فیلم خالص کبالت متخلخل بعد از ۳۰ دقیقه لایه‌نشانی به روش الکتروپلیتینگ بر روی لایه‌نازک کبالت با ضخامت nm ۱۵۰ ، ب- همان تصویر با تعیین اندازه‌ی بعضی از حفره‌ها ۸۹

شکل (۳-۹): تصویر SEM حاصل از؛ الف- فیلم خالص کبالت متخلخل بعد از ۶۰ دقیقه لایه‌نشانی به روش الکتروپلیتینگ بر روی لایه‌نازک کبالت با ضخامت nm ۱۵۰، ب- همان تصویر با تعیین اندازه‌ی بعضی از حفره‌ها ۹۰

شکل (۳-۱۰): تصویر SEM حاصل از فیلم خالص کبالت متخلخل بعد از ۹۰ دقیقه لایه‌نشانی به روش الکتروپلیتینگ بر روی لایه‌نازک کبالت با ضخامت nm ۱۵۰ ..... ۹۱

شکل (۳-۱۱): تصویر SEM حاصل از فیلم خالص کبالت متخلخل بعد از ۱۲۰ دقیقه لایه‌نشانی به روش الکتروپلیتینگ بر روی لایه‌نازک کبالت با ضخامت nm ۱۵۰ ..... ۹۱

شکل (۳-۱۲): تصویر توری استیل با استفاده از میکروسکوپ نوری؛ الف- قبل از الکتروپلیتینگ، ب- بعد از الکتروپلیتینگ ۹۳

شکل (۳-۱۳): تصویر مدول طراحی شده برای بارگذاری غشا ۹۴

شکل (۳-۱۴): تصویرکلی از دستگاه و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن؛ (a) الکترومگنت با ۴۰۰۰ دور (b) الکترومگنت با ۵۰۰۰ دور (c) مدول برای بارگذاری غشا (d) منبع تغذیه‌ی AC برای تنظیم ولتاژ مورد نیاز پمپ (e) پمپ مکنده‌ی هوا برای عبور از غشا (f) اکسیژن‌متر (g) پروب اکسیژن‌متر برای اندازه‌گیری غلظت اکسیژن (h) محفظه‌ی ورود وخروج هوای گذرنده از فضای مغناطیسی و غشا ۹۵

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار (۲-۱): تغییرات میدان مغناطیسی بر حسب فاصله‌ی شعاعی هنگامی که یک الکترومگنت به فاصله‌ی ۲ mm از صفحه فولادی قرار دارد ۶۷

نمودار (۲-۲): تغییرات میدان مغناطیسی بر حسب فاصله‌ی شعاعی هنگامی که دو الکترومگنت به فاصله‌ی ۲ mm از هم قرار دارند ۶۸

نمودار (۲-۳): منحنی تغییرات غلظت اکسیژن بر حسب زمان هنگامی که هوا وارد فضای مغناطیسی بین دو الکترومگنت می‌شود ۶۸

نمودار (۳-۱): نمودار VSM حاصل از کبالت انباشت شده به روش تبخیر باریکه‌ی الکترونی بر روی توری استیل در زاویه‌ی صفر ۸۳

نمودار (۳-۲): نمودار VSM حاصل از کبالت انباشت شده بر روی توری استیل به روش تبخیر باریکه‌ی الکترونی در زاویه‌ی ۸۰ درجه ۸۳

نمودار (۳-۳): نمودار VSM حاصل از کبالت انباشته شده بر روی زیرلایه‌ی فوم به روش تبخیر باریکه‌ی الکترونی در حالت موازی با صفحه. ضخامت لایه‌نازک nm ۱۰۰ می‌باشد ۸۵

نمودار (۳-۴): نمودار VSM حاصل از کبالت انباشته شده بر روی فوم بعد از الکتروپلیتینگ و حذف فوم با تینر. ضخامت فیلم متخلخل کبالت میکرومتری می‌باشد ۸۵

نمودار (۳-۵): نمودار VSM کبالت انباشت شده بر روی فوم بعد از الکتروپلیتیگ در حالت میدان عمود برسطح بعد از حذف فوم با تینر (فیلم کبالت متخلخل به صورت خالص) ۸۶

نمودار (۳-۶): تغییرات غلظت اکسیژن حاصل از هوای عبوری از غشای کبالت خالص تهیه شده در زمان لایه‌نشانی ۳۰min به صورت سه‌لایه ۹۶

نمودار (۳-۷): تغییرات غلظت اکسیژن حاصل از هوای عبوری از نمونه‌ی توری استیل انباشته شده با کبالت در زمان لایه نشانی ۴۰min به صورت سه‌لایه ۹۷

نمودار (۳-۸): تغییرات غلظت اکسیژن حاصل از هوای عبوری از غشای کبالت خالص تهیه شده در زمان لایه‌نشانی ۶۰min ۹۸

نمودار (۳-۹): تغییرات غلظت اکسیژن حاصل از هوای عبوری از غشای کبالت خالص تهیه شده در زمان لایه‌نشانی ۹۰min ۹۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (۱-۱): کاربرد غشاها در جداسازی گاز و شرکت‌های تولیدکننده‌ی آن..... ۷

جدول (۱-۲): دسته‌بندی فرآیندهای غشایی بر اساس اندازه‌ی حفره‌های غشا یا اندازه‌ی مواد عبوری از آن..... ۱۲

جدول (۲-۱): ترکیب استاندارد هوای خشک..... ۳۸

جدول (۲-۲): پذیرفتاری مغناطیسی حجمی در فشار یک اتمسفر و دمای ۲۷۳ درجه کلوین..... ۵۳

جدول (۳-۱): وسایل و تجهیزات مورد استفاده..... ۷۲

جدول (۳-۲): مواد مورد نیاز برای ساخت غشای کبالت..... ۷۲

فصل اول

غشا و کاربرد آن در جداسازی گاز، روابط حاکم بر سازوکار جداسازی غشایی و مقدمه‌ای بر مغناطیس

مقدمه

جداسازی گاز همیشه یکی از فرآیندهای کلیدی در حوزه‌ی مهندسی شیمی بوده است. با تقاضای صنعت مبنی بر کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش بازده جداسازی، تحقیقات زیادی برای بهبود این فرآیند صورت گرفته است. جداسازی گاز معمولاً به وسیله‌ی پدیده‌های فیزیکی یا شیمی- فیزیکی توصیف می‌شود. ورود به حوزه‌ی نانو باعث پیشرفت چشمگیری در صنعت جداسازی شده و ساخت غشاهای نانوحفره در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

۱-۱- نانو حفره‌ها

مواد نانوحفره‌ای ساختارهای متخلخلی هستند که اندازه‌ی حفره‌های آن کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشد و مثل اکثر مواد نانوساختاری از مدت‌ها پیش وجود داشته‌اند. دنیای زیست‌شناسی مملو از غشاهای نانوحفره‌ای همچون دیواره‌ی سلول‌ها است، هر چند آن‌ها از یک سری حفره‌های نانو مقیاس ساده، پیچیده‌ترند. با این حال صنعت نفت و دیگر صنایع، سال‌ها از مواد نانوحفره‌ای طبیعی موسوم به زئولیت‌ها به عنوان کاتالیست سود جسته‌اند. در سال‌های اخیر درک و توانایی ما در ساخت اقسام مواد نانو حفره‌ای پیشرفت کرده است. این ترکیبات در منابع طبیعی و سیستم‌های بیولوژیکی به فراوانی یافت می‌شوند. اندازه و نظم حفرات، کنترل‌کننده‌ی خواص مواد نانوحفره‌ای است. در سال‌های اخیرسعی شده است تا با کنترل و دقت بالا مواد نانوحفره‌ای با اندازه حفرات مشخص تولید شود. مواد نانوحفره‌ای به دو دسته‌ی عمده‌ی مواد نانوحفره‌ای توده‌ای و غشاهای نانوحفره‌ای تقسیم می‌شوند.

۱–۱–۱– مواد نانوحفره‌ای توده‌ای

با افزایش سطح مواد نانوحفره‌ی توده‌ای، خواص کاتالیستی، جذب و جذب سطحی بهبود می‌یابد. زئولیت‌ها یک نوع ماده‌ی نانوحفره‌ای توده‌ای به حساب می‌آیند. سطح این مواد در حدود صدها متر مربع بر گرم است.

۱–۱–۲– غشاهای نانوحفره‌ای

یکی از کاربردهای این مواد استفاده از آن‌ها به عنوان غربال‌های مولکولی است. به عبارت دیگر این غشاها سبب عبوردهی بعضی از مواد و ممانعت از عبور بقیه‌ی مواد می‌شوند. یک غشای نانوحفره‌ی خوب اجازه‌ی عبور تنها یک مولکول را در آنِ واحد از درون خود می‌دهد. کنترل حفرات این ترکیبات یکی از چالش‌هایی است که کارایی این مواد را تعیین می‌کند. راه‌های زیادی برای ساخت مواد نانوحفره‌ای وجود دارد؛ در یکی از روش‌ها به طور انتخابی موادی را از یک جامد استخراج کرده، که در اثر آن حفره‌هایی در ابعاد نانو ایجاد می‌گردد، در روش دیگر مخلوطی از پلیمرها را با حرارت دادن به جامد نانوحفره‌ای تبدیل می‌کنند، در این فرآیند یکی از پلیمرها تجزیه شده و خارج می‌شود. موضوع این پروژه ساخت یک غشای نانوحفره با خواص منحصر به فرد به منظور جداسازی گاز اکسیژن و نیتروژن می‌باشد. با وجود این که پیشرفت‌های به وجود آمده در زمینه‌ی ساخت غشا برای جداسازی گاز، به سال‌های اخیر محدود می‌شود اما مطالعه روی جداسازی گاز یک سابقه‌ی طولانی دارد.

۱–۲– پیشینه‌ی تاریخی

بیش از یک قرن از تحقق ویژگی‌های غشاها در جداسازی گاز می‌گذرد. گزارش‌های مستند در این زمینه به کار فیک[1]، میشل[2] و گراهام[3] در اواسط قرن نوزدهم باز می‌گردد. در سال ۱۸۳۱،

[1] Fick
[2] Mitchell
[3] Graham

میشل نرخ عبور ۱۰ گاز را از میان بالن‌های لاستیکی طبیعی اندازه‌گیری کرد. تقریباً در همین زمان، فیک قوانین مشهور نفوذ خود را توسط بررسی انتقال گاز از غشای نیترات سلولز ارائه کرد. چند دهه بعد، در سال ۱۸۶۶، توماس گراهام از طریق نفوذ نادسن[1]، جداسازی گازها با استفاده از لاستیک‌های طبیعی را مطرح کرد. در سال ۱۹۲۰، دینس[2] رابطه‌ی بین ضریب نفوذ و تأخیر زمانی[3] را به وسیله بررسی رفتار انتقال گازها در شرایط ناپایدار توسط یک غشا کشف کرد. با وجود کارهای آزمایشگاهی فراوان، پیشرفت روش‌های جداسازی غشایی در مراحل اولیه، خیلی کند بود. بین کارهای اولیه میشل و نخستین کاربرد غشاها در مقیاس بزرگ (تغلیظ اورانیوم ۲۳۵ از ۰/۱۷٪ به ۳٪) بیش از یک قرن فاصله وجود دارد.

مطالعات سیستماتیک به وسیله توماس گراهام[4] آغاز شد. کسی که در طول ۲۰ سال، سرعت عبور همه‌ی گازها را اندازه گرفت و مقادیر حاصله را ثبت کرد [۱]. گراهام اولین توصیف از مدل حلالیت- نفوذ را ارائه کرد و کار او روی غشاهای متخلخل منجر به قانون پخش گراهام شد. در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰، توانایی گازها برای نفوذ گزینشی به داخل غشا، استفاده‌ی صنعتی یا تجاری نداشت اگر چه مفهوم غشای گزینش‌گر به عنوان یک ابزار تئوری برای توسعه تئوری‌های فیزیکی و شیمیایی مانند تئوری سینتیکی ماکسول[5] در مورد گازها، استفاده می‌شود.

در اواخر دهه‌ی ۱۹۶۰ و اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰، توسعه‌ی غشاهای نامتقارن با دبی بالا و مدول‌های غشایی با مساحت سطح بالا برای کاربردهای اسمز معکوس، پایه‌ی تکنولوژی جداسازی غشایی گاز را فراهم آورد. اولین کمپانی سازنده‌ی یک نمونه تجاری غشاهای جداسازی گاز، کمپانی Monatso بود که غشایی تحت نام تجاری prism را برای جداسازی هیدروژن از جریان‌های گاز خالص در واحد آمونیاک، در سال ۱۹۸۰ به بازار عرضه کرد [۲].

[1] Knudsen
[2] H. A. Daynes
[3] Time lag
[4] Thomas Graham
[5] Maxwell