

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



:

:

تأییدی هیات داوران جلسه دفاع از پایان نامه

نام دانشکده: مهندسی شیمی

نام دانشجو: مجتبی نوراللهی

عنوان پایان نامه: بررسی آزمایشگاهی کاربرد نانر مواد دو لایه های تقوید گار پیل سوختی غشاه تبادل پروتون

تاریخ دفاع: ۸۷/۱۲/۲۰

رشته: مهندسی شیمی

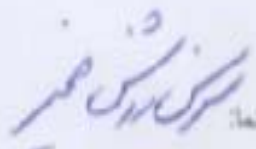
گرایش: نوپوستیک

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما	دکتر مومن روشن صمدی		دانشگاه علوم و صنعت تبریز	
۲	استاد راهنما				
۳	استاد مشاور	دکتر محمد حسن ایگلی		دانشگاه صنعت مازان	
۴	استاد مشاور				
۵	استاد محترم خارجی	دکتر الهی		دانشگاه صنعت مازان	
۶	استاد محترم خارجی				
۷	استاد محترم داخلی	دکتر پروین		دانشگاه علوم و صنعت تبریز	
۸	استاد محترم داخلی				

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله برای همگان بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله تا تاریخ _____ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما: 

تاریخ: ۱۸/۲/۸۸

امضاء:



:

تقدیم به همسر م به خاطر شوق و تحملش

و تقدیم به پدر و مادر م که همیشه پشتیبانم بوده اند

:

وظیفه خود می دانم سپاسگزار تمام آنهایی باشم که در این دوره ارزشمند، بودنشان و امیدشان راهگشای من بود؛ خانواده و همسر عزیزم که همانند تمام روزهای گذشته با صبر و حوصله در کنارم بودند.

اساتید عزیز و گرانقدر دانشکده مهندسی شیمی، بخصوص سرکار خانم دکتر روشن ضمیر که با تلاش های بی شائبه خود نه تنها در انجام این پایان نامه بلکه در تمام دوره تحصیل مرا یاری نمودند و به هنگام نیاز برای حل مشکلات اینجانب از هیچ کمکی دریغ نرزدند. برای ایشان آرزوی سلامتی، موفقیت و سر بلندی را دارم. همچنین از کلیه دوستان و هم اتاقی های عزیزم در خوابگاه مجیدیه، آقایان مهندس ایرج عطا اللهی، مهندس قاسم احمدی، مهندس حکمت ولی بیگی و مهندس علی احمدی سواد کوهی، تشکر و قدردانی می کنم.

همچنین از جناب آقای دکتر ایکانی که استاد مشاور من بوده اند و جناب آقایان دکتر الیاسی و دکتر بهزادی که برای داوری این پایان نامه قبول زحمت نمودند و وقت گرانبهای خود را در اختیار اینجانب قرار دادند، تشکر و قدر دانی می کنم.

چکیده

لایه‌های نفوذ گازی نقش بسیار کلیدی را در بهبود عملکرد پیل سوختی ایفا می‌کنند و براساس سه مفهوم هدایت الکتریکی بالاتر، مدیریت آب بهتر و عبور پذیری گاز بالاتر طراحی می‌شوند. ورقه‌های کربنی، پارچه‌های کربنی و فلزات سینتر شده به طور گسترده به عنوان لایه نفوذ گازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما استفاده از نانو مواد شامل فیبرهای نانو کربنی و نانو لوله‌های کربنی موجب کاهش مقاومت تماسی، بهبود توزیع گاز و مدیریت آب بهتر می‌گردد. لذا در این تحقیق، این امر بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. لایه‌های نفوذ گاز با استفاده از مخلوط نانو لوله کربنی و کربن بلک و با نسبت های وزنی متفاوتی از PTFE اصلاح شده و در یک پیل سوختی منفرد آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی خواص آب گریزی سطوح، آنالیز زاویه تماس روی نمونه ها با مقادیر متفاوت از PTFE انجام شد. به منظور مقایسه و بررسی نوع روش پوشش دهی میکرو لایه بر روی ورقه کربنی، لایه های نفوذ گازی به دو روش میکرو اسپری و پوشش دهی چرخان آماده و آنالیز توزیع اندازه حفرات بر روی آنها انجام شد. تصویر میکروسکوپ الکترونی لایه‌های نفوذ گازی اصلاح شده، الگوی توزیع یکنواخت و بدون شکاف از پودرهای کربنی در میکرو لایه متخلخل را نشان داد. در نهایت، از لایه نفوذ گازی با مخلوط ۵۰٪ وزنی کربن بلک و ۵۰٪ وزنی نانو لوله کربنی و ۳۰ درصد وزنی PTFE با بارگذاری $3 \frac{mgr}{cm^2}$ در ساخت مجموعه الکتروود- غشا^۱ (MEA) پیل سوختی استفاده شده و سپس در پیل سوختی آزمایشگاهی مورد آزمایش قرار گرفت. عملکرد پیل سوختی براساس منحنی پلاریزاسیون با لایه نفوذ گازی اصلاح شده بهتر از حالت اصلاح نشده بود.

واژه های کلیدی: پیل سوختی غشاء تبادل پروتون، لایه نفوذ گازی، میکرو لایه متخلخل، نانو

لوله‌های کربنی

¹ Membrane Electrode Assembly (MEA)

صفحه	عنوان
۷	فصل ۱
۷	مقدمه‌ای بر لایه‌های نفوذ گازی غشاء تبادل پروتون
۸-۱	۱-۱. مقدمه
۹-۱	۲-۱. ساختار لایه های نفوذ گازی
۱۳-۱	۳-۱. خصوصیات لایه های نفوذ گازی
۱۵-۱	۴-۱. محیط نفوذی بر اساس فیبر کربنی
۱۷-۱	۵-۱. جمع بندی
۱۸	فصل ۲
۱۸	روش های اصلاح لایه های نفوذ گازی و تاثیر میزان و نوع مواد به کار رفته در آن روی عملکرد پیل سوختی
۱۹-۲	۱-۲. مقدمه
۲۰-۲	۲-۲. اصلاح لایه های نفوذ گازی با استفاده از پودرهای کربنی
۲۱-۲-۲	۱-۲-۲. اصلاح لایه های نفوذ گازی به روش تک مرحله ای
۲۳-۲-۲	۲-۲-۲. اصلاح لایه های نفوذ گازی به روش دو مرحله ای
۲۶-۲	۳-۲. عملکرد یک لایه نفوذ گازی فلزی برای PEMFC
۲۶-۳-۲	۱-۳-۲. مقدمه
۲۷-۳-۲	۲-۳-۲. آزمایشات
۲۸-۳-۲	۳-۳-۲. نتایج
۲۸-۴-۲	۴-۲. تاثیر میزان و نوع مواد به کار رفته روی عملکرد لایه نفوذ گازی (مواد کربنی و PTFE) و جریان آب
۳۲-۴-۲	۱-۴-۲. تاثیر مقدار PTFE روی عملکرد لایه نفوذ گازی و جریان آب
۳۹-۴-۲	۲-۴-۲. اثر مقدار و نوع پودر های کربنی به کار رفته در اصلاح لایه نفوذ گازی
۴۴-۵-۲	۵-۲. جریان آب در لایه نفوذ گازی PEMFC
۴۴-۱-۵-۲	۱-۵-۲. مقدمه
۴۵-۲-۵-۲	۲-۵-۲. آزمایشات
۴۷-۳-۵-۲	۳-۵-۲. نتایج
۴۸-۴-۵-۲	۴-۵-۲. ابعاد حفره برای جریان آب در لایه نفوذ گازی
۵۱-۶-۲	۶-۲. جمع بندی
۵۲	فصل ۳
۵۲	آزمایشات

۵۲	..... ۱-۳. مقدمه
۵۳	..... ۲-۳. آزمایشات
۵۳	..... ۱-۲-۳. علت انتخاب روش
۵۴	..... ۲-۲-۳. روش اصلاح میکرو لایه
۵۹	..... ۳-۲-۳. آنالیز های انجام شده روی لایه های نفوذ گازی اصلاح شده
۶۴	..... ۳-۳. تعیین عملکرد و ارزیابی لایه های نفوذ گازی

فصل ۴

۶۸

نتایج و تفسیر آنها

۶۸	..... ۱-۴. مقدمه
۶۹	..... ۲-۴. اندازه گیری زاویه تماس
۷۱	..... ۳-۴. توزیع اندازه حفرات
۷۴	..... ۴-۴. تصویر میکروسکوپ الکترونی
۷۹	..... ۵-۴. ساخت مجموعه غشاء - الکتروود
۷۹	..... ۱-۵-۴. پیش عمل آوری غشاء
۸۰	..... ۲-۵-۴. ساخت MEA بر اساس روش فیلم نازک
۸۲	..... ۶-۴. تعیین عملکرد لایه های نفوذ گازی اصلاح شده
۹۰	..... ۷-۴. جمع بندی

فصل ۵

۹۱

جمع بندی و ارائه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی

۹۱	..... ۱-۵. نتیجه گیری
۹۳	..... ۲-۵. پیشنهادهایی برای ادامه تحقیق

۹۵

مراجع و مآخذ

۷	فصل ۱
۷	مقدمه‌ای بر لایه‌های نفوذ گازی غشاء تبادل پروتون
۱۰	شکل ۱-۱. شمایی از یک لایه نفوذ گازی دو لایه [۷].....
۱۱	شکل ۱-۲. تاثیر میکرو لایه های متخلخل را روی پیل سوختی در دماهای ورودی مختلف a: محیط نفوذ گازی بدون میکرو لایه متخلخل b: محیط نفوذ گازی با استفاده از میکرو لایه های متخلخل شرایط عملیاتی عبارتند از: مساحت پیل ۵۰ سانتی متر مربع، دمای پیل ۶۰ درجه سانتی گراد، [۷].....
۱۲	شکل ۱-۳. تاثیر میکرو لایه های متخلخل در لایه نفوذ گازی [۳].....
۱۴	شکل ۱-۴. برش عرضی یک غشاء پوشیده با کاتالیست که بین دو محیط نفوذ گازی قرار گرفته است [۷].....
۱۶	شکل ۱-۵. تصویر SEM ساختارهای محیط نفوذ گازی. قطر فیبر در حدود ۷ میکرو متر a: فیبر ورقه کربنی 2050 بدون اعمال PTFE. b: پارچه کربنی Textron Avcorb 1071 HCB [۱۹].....
۱۸	فصل ۲
۲۰	روش های اصلاح لایه های نفوذ گازی و تاثیر میزان و نوع مواد به کار رفته در آن روی عملکرد پیل سوختی ۱۸
۲۱	شکل ۲-۱. مجموعه یک پیل سوختی با غشاء الکترولیت پلیمری [۷].....
۲۱	شکل ۲-۲. نمودار روش اصلاح لایه های نفوذ گازی (روش تک مرحله ای) [۲۳].....
۲۱	شکل ۲-۳. نمودار روش اصلاح لایه های نفوذ گازی (روش دو مرحله ای) [۲۳].....
۲۳	شکل ۲-۴. شمایی از یک لایه های نفوذ گازی دو لایه. میکرو لایه متخلخل بین ورقه کربنی و لایه کاتالیستی قرار می گیرد. [۷].....
۲۷	شکل ۲-۵. شمایی از پیل سوختی با لایه نفوذ گازی مسی [۲۷].....
۲۸	شکل ۲-۶. تصویر SEM لایه نفوذ گازی مسی را پس از گذشت ۲۰ دقیقه از قلمه زنی [۲۷].....
۲۹	شکل ۲-۷. منحنی پلاریزاسیون پیل سوختی با ورقه کربنی TORAY TGP-H-060 و لایه نفوذ گازی مسی در دانسیته جریان $1 \frac{A}{cm^2}$ و نسبت های استوکیومتری $\frac{2}{2}$ و $\frac{4}{4}$ [۲۷].....
۳۰	شکل ۲-۸. تصویر SEM یک میکرو لایه متخلخل اصلاح شده روی یک لایه نفوذ گازی مسی. تصویر بالا و سمت راست، نشان دهنده زاویه تماس آب روی میکرو لایه متخلخل است. [۲۷].....
۳۱	شکل ۲-۹. بهبود عملکرد با افزودن میکرو لایه متخلخل و افزایش انتقال با افزودن یک ورقه کربنی بین لایه نفوذ گازی مسی و صفحات دو قطبی یک لایه نفوذ گازی مسی. [۲۷].....
۳۴	شکل ۲-۱۰. تاثیر مقدار PTFE روی نفوذ پذیری گاز و شعاع متوسط حفرات محیط نفوذ گازی a محیط نفوذ گازی CP190 b: محیط نفوذ گازی CP250 [۲۸].....
۳۵	شکل ۲-۱۱. منحنی عملکرد پیل های سوختی با مقادیر مختلف PTFE روی محیط نفوذ پذیری گاز CP250 در رطوبت نسبی های مختلف در کاتد. دمای پیل ۶۰ درجه سانتی گراد. a CP۲۵۰-۰ b: ۵-۳۵ CP۲۵۰-۱۵ c: CP۲۵۰-۲۵ d: CP۲۵۰-۳۵ e: CP۲۵۰-۴۵ f: CP۲۵۰ [۲۸].....
۳۶	شکل ۲-۱۲. تاثیر ضخامت محیط نفوذ گازی روی انتقال آب و عملکرد پیل در ۶۰ درجه سانتی گراد a: CP190 b: CP250 [۲۸].....

شکل ۲-۱۳. تاثیر رطوبت نسبی روی عملکرد پیل های سوختی با مقادیر مختلف PTFE روی محیط نفوذ گازی CP250 در رطوبت نسبی های مختلف در کاتد. دمای پیل ۶۰ درجه سانتی گراد. a: CP۲۵۰-۰ b: ۵- CP۲۵۰ c: CP۲۵۰-۳۵ d: CP۲۵۰-۴۵ [۲۸] ۳۷

شکل ۲-۱۴. تاثیر میکرو لایه متخلخل روی منحنی عملکرد پیل سوختی. a: CP۱۹۰-۱۵ b: محیط نفوذ گازی به همراه میکرو لایه متخلخل. [۲۸] ۳۸

شکل ۲-۱۵. آنالیز TEM نمونه های کربنی a: Vulcan XC-72R b: Black Pearl 2000 c: نانو لوله های کربنی d: فیبرهای نانو کربنی [۲۹] ۴۱

شکل ۲-۱۶. مقایسه نفوذ پذیری هوا در نمونه های اصلاح شده ۴۲

شکل ۲-۱۷. منحنی پلاریزاسیون پیل سوختی با استفاده از لایه های نفوذ گازی اصلاح شده [۲۹] ۴۳

شکل ۲-۱۸. شمایی از سمت کاتد یک مجموعه غشاء- الکتروود [۳۰] ۴۴

شکل ۲-۱۹. شمایی از اندازه گیری دبی. فشار هیدرو استاتیکی برای دبی با استفاده از ارتفاع آب در بالای محیط نفوذ گاز اندازه گیری می شود. با استفاده از گیره و با باز و بستن آن می توان فشار مورد نیاز را فراهم کرد. تصویر سمت راست، دستگاه اندازه گیری را نشان می دهد. [۳۰] ۴۶

شکل ۲-۲۰. دبی جریان به عنوان تابعی از فشار فراهم شده روی ورقه کربنی که با محلول ۲۰ درصد وزنی PTFE اعمال شده است. تا زمانی که فشار هیدرو استاتیکی به 5200 Pa (نقطه a) نرسیده، جریان آب مشاهده نمی شود. با یک افت فشار کم، آب جریان می افتد (b) و با کاهش افت فشار هیدرو استاتیکی، دبی جریان آب کاهش می یابد. (از نقطه b به c) [۳۰] ۴۷

شکل ۲-۲۱. مدل ایده آل لایه نفوذ گازی، شامل حفرات سیلندری موازی، با قطر های مختلف است. با فراهم کردن فشار مورد نیاز، آب به درون حفرات آب گریز وارد می شود. در ابتدا آب وارد بزرگترین حفرات می شود. سطوح با خاصیت آب گریزی بیشتر (زاویه تماس بیشتر)، فشار بیشتری برای ورود آب به درون حفرات نیاز دارند. [۳۰] ۴۹

فصل ۳

۵۲

آزمایشات

۵۲

شکل ۳-۱. مواد و تجهیزات مورد استفاده در اصلاح لایه های نفوذ گازی ۵۵

شکل ۳-۲. سیستم آب دیونیزه مورد استفاده در آزمایشگاه ۵۶

شکل ۳-۳. همزن مغناطیسی ۵۷

شکل ۳-۴. دستگاه هموژنایزر اولتراسونیک ۵۷

شکل ۳-۵. کوره Lenton Thermal Design LTD ۵۸

شکل ۳-۶. شمایی از زاویه تماس در نمونه های آب دوست و آب گریز ۶۰

شکل ۳-۷. دستگاه اندازه گیری زاویه تماس موجود در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ۶۱

شکل ۳-۸. دستگاه اندازه گیری توزیع اندازه حفرات موجود در دانشگاه تربیت مدرس ۶۳

شکل ۳-۹. سخت افزار پیل سوختی الکترو لیت پلیمر جامد واحد، ساخت شرکت Electro Chem ۶۵

شکل ۳-۱۰. شمایی از دستگاه تست پیل سوختی ساخت شرکت تقطیران، طراحی شده در پژوهشگاه سبز دانشگاه علم و صنعت ایران ۶۵

شکل ۳-۱۱. مجموعه آزمایشگاهی (Set-up) مورد استفاده در آزمایشات ۶۶

شکل ۳-۱۲. نمودار جریانی دستگاه تست پیل سوختی ۶۶

شکل ۳-۱۳. دستگاه های اندازه گیری الف- کنترل کننده ی جریان جرمی گازها ، ب- رنوستا برای تغییر شدت جریان، ج- مولتی مترها با دقت های مختلف، د- کنترل کننده ی دیجیتالی دما ۶۷

۶۸

فصل ۴

۶۸	
۷۰	شکل ۴-۱. شمایی از زاویه تماس اندازه گیری شده
۷۲	شکل ۴-۲. توزیع اندازه حفرات اندازه گیری شده با استفاده از روش پوشش دهی چرخان
۷۳	شکل ۴-۳. توزیع اندازه حفرات اندازه گیری شده با استفاده از روش پوشش دهی میکرو اسپری
۷۵	شکل ۴-۴. مورفولوژی سطحی لایه نفوذ گازی اصلاح شده با استفاده از مخلوط ۱۰۰ درصد وزنی نانو لوله کربنی
۷۶	شکل ۴-۵. مورفولوژی سطحی لایه نفوذ گازی اصلاح شده با استفاده از مخلوط ۱۰۰ درصد وزنی کربن بلک
۷۸	شکل ۴-۶. مورفولوژی سطحی لایه نفوذ گازی اصلاح شده با استفاده از مخلوط ۵۰٪ کربن بلک و ۵۰٪ نانو لوله کربنی
۸۲	شکل ۴-۷. شمایی از مجموعه الکتروود - غشاء با استفاده از لایه نفوذ گازی اصلاح شده
۸۶	شکل ۴-۸. منحنی پلاریزاسیون مجموعه الکتروود- غشاء های با استفاده از لایه نفوذ گازی اصلاح شده (ME1) و (ME3) و مجموعه الکتروود- غشاء با استفاده از ورقه های کربنی به عنوان لایه نفوذ گازی (اصلاح نشده) (ME2) در دمای ۷۰ درجه و فشار ۲ اتمسفر
۸۷	شکل ۴-۹. مقایسه ME ₁ (اصلاح شده با مخلوط ۵۰ درصد وزنی نانو تیوب کربنی و ۵۰ درصد وزنی کربن بلک) با ME2 (اصلاح نشده)
۸۸	شکل ۴-۱۰. مقایسه ME ₃ (اصلاح شده با مخلوط ۱۰۰ درصد وزنی نانو تیوب کربنی) با ME2 (اصلاح نشده)
۸۹	شکل ۴-۱۱. مقایسه ME ₃ (اصلاح شده با مخلوط ۱۰۰ درصد وزنی نانو تیوب کربنی) با ME ₁ (اصلاح شده با مخلوط ۵۰ درصد وزنی نانو تیوب کربنی و ۵۰ درصد وزنی کربن بلک)

فصل ۵

۹۱	
۹۱	جمع بندی و ارائه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی
۹۵	مراجع و مآخذ

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۷	فصل ۱
۷	مقدمه‌ای بر لایه‌های نفوذ گازی غشاء تبادل پروتون
۱۸	فصل ۲
۱۸	روش‌های اصلاح لایه‌های نفوذ گازی و تاثیر میزان و نوع مواد به کار رفته در آن روی عملکرد پیل سوختی
۳۳	جدول ۱-۲. تخلخل محیط‌های نفوذ گازی با مقادیر مختلف PTFE [۲۸].....
۴۰	جدول ۲-۲. خواص فیزیکی پودرهای کربنی مورد استفاده [۲۹].....
۴۲	جدول ۲-۳. خواص فیزیکی لایه‌های نفوذ گازی اصلاح شده [۲۹].....
۵۲	فصل ۳
۵۲	آزمایشات
۶۸	فصل ۴
۶۸	نتایج و تفسیر آنها
۷۱	جدول ۴-۱. نتایج آنالیز زاویه تماس. الف) نمونه با بارگذاری ۲۰ درصد وزنی PTFE. ب) نمونه با بارگذاری ۵۰ درصد وزنی PTFE.....
۸۵	جدول ۴-۲. مشخصات مجموعه الکتروود- غشاء‌های اصلاح شده و اصلاح نشده.....
۸۸	جدول ۴-۳. محاسبه درصد افزایش ولتاژ در سه دانسیته جریان در مورد دو مجموعه ME ₁ (اصلاح شده با مخلوط ۵۰ درصد وزنی نانو تیوب کربنی و ۵۰ درصد وزنی کربن بلک) با ME ₂ (اصلاح نشده).....
۸۹	جدول ۴-۴. محاسبه درصد افزایش ولتاژ در سه دانسیته جریان در مورد دو مجموعه ME ₃ (اصلاح شده با مخلوط ۱۰۰ درصد وزنی نانو تیوب کربنی) با ME ₂ (اصلاح نشده).....
۹۱	فصل ۵
۹۱	جمع بندی و ارائه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی
۹۵	مراجع و مآخذ

فصل ۱

مقدمه‌ای بر لایه‌های نفوذ گازی
غشاء تبادل پروتون

۱-۱. مقدمه

مجموعه های پیل سوختی غشاء تبادل پروتون^۱ دارای الکتروکاتالیست ها، غشاء تبادل پروتون، صفحات دو قطبی^۲، لایه های نفوذ گاز^۳ و ... هستند. [۱-۳]

لایه متخلخل نفوذ گاز در پیل های سوختی غشاء تبادل پروتون ها سبب انتقال واکنش دهنده ها به سطح کاتالیستی و نیز انتقال محصولات و آب تولیدی از سطح کاتالیست به خارج می شود. انواع مختلفی از ساختار کربنی مثل کربن کاغذ^۴ و کربن بلک^۵ با ضخامتی در حدود $100-300 \text{ nm}$ استفاده می شوند. [۴]

به منظور بهبود انتقال سیال از یک طرف به طرف دیگر، لایه های نفوذ گازی می تواند تخلخل بیشتری داشته باشد، اما هزینه نیز افزایش می یابد. همچنین برای رسیدن به عملکرد بالا و پایدار یک پیل سوختی، مقدار آب باید به دقت کنترل و مدیریت شود، که این امر توسط لایه های نفوذ گازی به خوبی انجام می شود. معمولاً به دلیل جلوگیری از تجمع آب و بروز پدیده طغیان، لایه های نفوذ گازی، آب گریز^۶ ساخته می شوند. [۵] و [۶]

ورقه های کربنی، پارچه های کربنی^۷ و فلزات سینتر شده^۸ به طور گسترده به عنوان لایه نفوذ گازی استفاده می شوند. شرایط لازم برای لایه نفوذ گازی، هدایت الکتریکی بالا^۹، انتقال آب و گاز و مقاومت به خوردگی است. استفاده از نانو مواد موجب کاهش مقاومت تماسی، بهبود توزیع گاز^{۱۰} و مدیریت

¹-Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC

²- Bipolar Plate

³-Gas Diffusion Layer, GDL

⁴- Carbon Paper

⁵- Carbon Black

⁶- Hydrophobic

⁷- Carbon Cloth

⁸- Sintered Metals

⁹- Electrical Conductivity

¹⁰- Gas Permeability

آب^۱ می شود. فیبرهای نانو کربنی^۲ و نانو لوله های کربنی^۳ بسیار مناسب هستند، زیرا هدایت الکتریکی آنها ۱۰ مرتبه بزرگی^۴ بیشتر از کربن بلک های معمولی است. [۳]

۲-۱. ساختار لایه های نفوذ گازی

در پیل های سوختی غشاء تبادل پروتون، ضروری است که لایه کاتالیستی آند و کاتد تماس الکتریکی با جمع کننده جریان داشته باشند، این جمع کننده های جریان، لایه نفوذ گازی نامیده می شوند که جزء کلیدی برای دستیابی به عملکرد بالا در پیل های سوختی غشاء تبادل پروتون است.

برای یک پیل سوختی بهترین حالت وقتی است که در دانسیته جریان بالا برای رسیدن به بالاترین توان خروجی کار کند. برای رسیدن به دانسیته جریان بالا، فلاکس^۵ بالایی از گاز مورد نیاز است و این امر نیازمند داشتن یک لایه نفوذ گازی ایده ال برای انتقال موثر گاز به سطح کاتالیستی در سرعت های بالاست. [۷]

لایه های نفوذ گازی به طور عمومی ساختار متخلخل بر مبنای کربن دو لایه دارند، شماتیک لایه نفوذ گازی بین زمینه جریان و لایه کاتالیستی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. لایه اول لایه نفوذ گازی یا محیط نفوذ گازی^۶، یک ساختار کربنی ماکرو متخلخل^۷ از پارچه و یا ورقه های کربنی است. ساختار ماکرو متخلخل به عنوان جمع کننده جریان عمل می کند.

¹ - Water Management

² - Carbon Nano-Fiber

³ - Carbon Nano-Tube

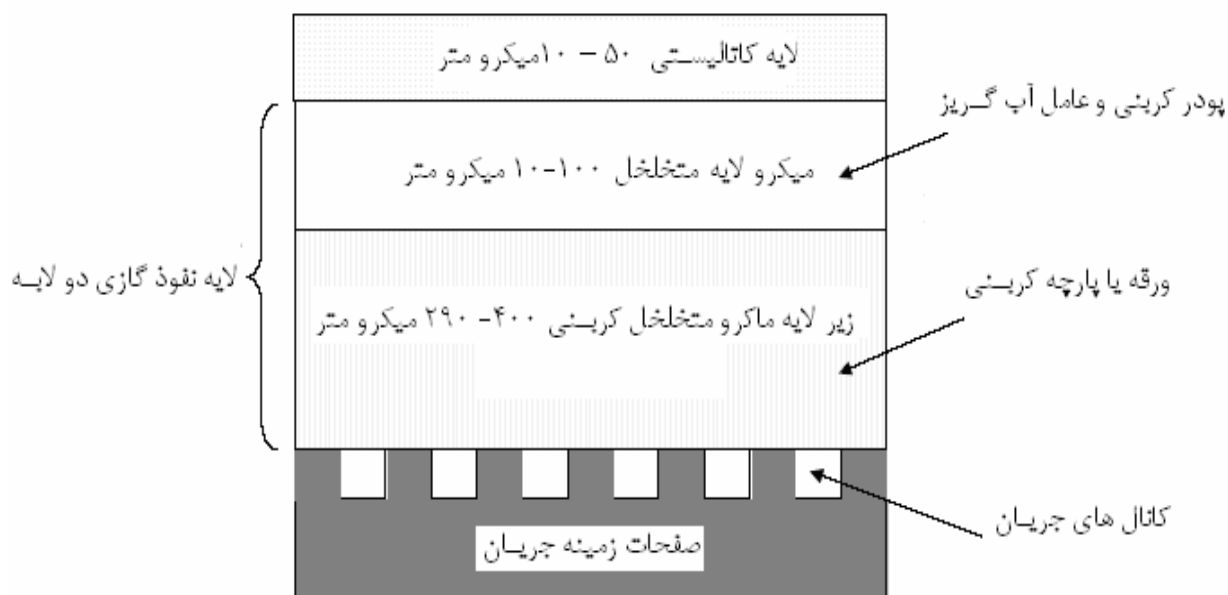
⁴ - 10 order of magnitude

⁵ - Flux

⁶ - Gas Diffusion Medium ,GDM

⁷ - Macro Porous

دومین لایه، لایه میکرو متخلخل^۱ نازکی است که شامل پودر کربن و برخی عوامل آب گریز است. این لایه در تماس با لایه کاتالیستی است. این میکرو لایه متخلخل از بروز طغیان در لایه نفوذ گازی جلوگیری کرده و تماس الکتریکی بین سطح و لایه کاتالیستی را افزایش می دهد.



شکل ۱-۱. شمایی از یک لایه نفوذ گازی دو لایه [۷]

پودرهای کربنی مختلفی مثل Vulcan XC- 72 R, Carbon Black در ساخت میکرو لایه متخلخل استفاده می شوند. [۷-۱۰]

پلی تترا فلورو اتیلن^۲ اغلب موارد به عنوان عامل آب گریز به لایه نفوذ گازی افزوده می شود. تاثیر مقدار PTFE روی عملکرد مطالعه شده است. با افزایش مقدار PTFE، در نتیجه افزایش مقاومت انتقال اکسیژن، تخلخل^۳ کاهش می یابد. با وجود این وقتی مقدار PTFE کم است، توانایی و بازیابی

^۱-Micro Porous Layer ,MPL

^۲- Poly Tetra Fluore Ethylene ,PTFE

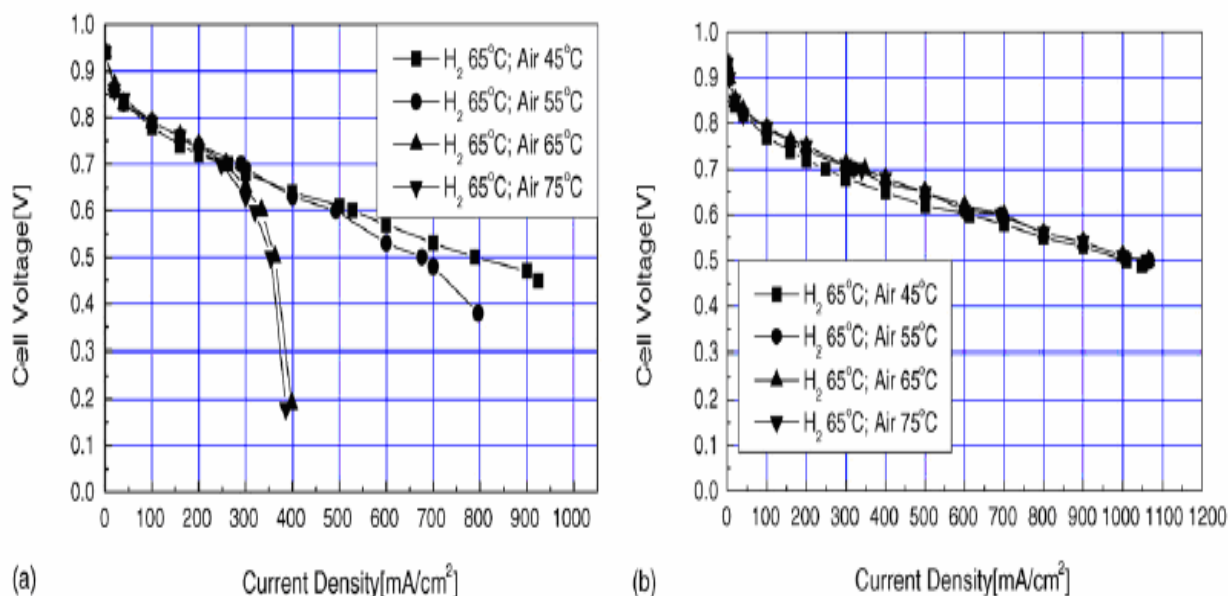
^۳- Porosity

آب کافی نیست. مقدار بهینه PTFE در حالت نزدیک اشباع حدود ۳۰-۱۵ درصد وزنی است. [۷] و

[۱۱]

ضخامت میکرو لایه متخلخل یک عامل کلیدی در عملکرد پیل سوختی است. اگر ضخامت میکرو لایه متخلخل خیلی کم باشد، مقاومت کلی پیل به سبب ناکافی بودن لایه کربن برای تماس الکتریکی مناسب بین ساختار ماکرو متخلخل و لایه کاتالیست، افزایش می یابد.

شکل ۱-۲ تاثیر میکرو لایه های متخلخل را روی پیل سوختی در دماهای ورودی مختلف، نشان می دهد. مشاهده می شود که در حالتی که از میکرو لایه های متخلخل استفاده می کنیم، عملکرد پیل بهبود می یابد.



شکل ۱-۲. تاثیر میکرو لایه های متخلخل را روی پیل سوختی در دماهای ورودی مختلف a: محیط نفوذ گازی بدون میکرو لایه متخلخل b: محیط نفوذ گازی با استفاده از میکرو لایه های متخلخل شرایط عملیاتی عبارتند از: مساحت پیل ۵۰ سانتی متر مربع، دمای پیل ۶۰ درجه سانتی گراد، [۷]

با توجه به شکل ۱-۳، محیط نفوذ گازی بدون میکرو لایه متخلخل، فقط نفوذ پذیری خوبی در مقابل هوا دارد، اما مدیریت آب و هدایت الکتریکی ضعیفی دارد. با افزودن میکرو لایه متخلخل به محیط نفوذ گازی، هدایت الکتریکی و توانایی مدیریت آب افزایش می یابد.

در این شکل، مساحت هر مثلث، به عملکرد پیل نسبت داده می شود. [۳]



شکل ۱-۳. تاثیر میکرو لایه های متخلخل در لایه نفوذ گازی [۳]

با افزودن میکرو لایه متخلخل، مساحت مثلث که به عملکرد پیل نسبت داده می شود، افزایش قابل توجهی پیدا می کند.

به منظور دستیابی به عملکرد بهینه، میکرو لایه ها باید به صورت یک لایه نازک، روی محیط نفوذ گازی پوشیده شوند، تا هدایت الکتریکی را در سطح بالایی نگه دارد.

برای ساخت میکرو لایه نازک، فیبرهای نانو کربنی و نانو لوله های کربنی گزینه های بسیار مناسبی هستند، زیرا هدایت الکتریکی آنها ۱۰ مرتبه بزرگی، بالاتر از کربن بلک های معمولی است.

ساختار مناسب، هدایت حرارتی و پایداری الکتروشیمیایی بالا، از مهمترین مزایای این نانو مواد به پودرهای کربنی معمولی است. [۳]

۱-۳. خصوصیات لایه های نفوذ گازی

با توجه به توضیحاتی که ارائه شد، مشاهده شده لایه های نفوذ گازی نقش بسیار مهمی در بهبود عملکرد یک پیل سوختی دارند.

ورقه های کربنی، پارچه های کربنی، فلزات سینتر شده و نیز نانو مواد شامل فیبرهای نانو کربنی و نانو لوله های کربنی به طور گسترده ای در ساخت لایه های نفوذ گازی مورد استفاده قرار می گیرند.

در طراحی لایه های نفوذ گازی، خواص لایه های نفوذ گازی مورد توجه قرار می گیرد. با توجه به شکل ۱-۴ مهم ترین خواص لایه های نفوذ گازی یک پیل سوختی عبارتند از: [۲] و [۷] و [۱۵-۱۲]

۱- نفوذ پذیری مناسب گاز و هوا (سوخت و اکسید کننده): تهیه واکنش دهنده گازی از کانال های زمینه جریان به سطح کاتالیست

۲- نفوذ پذیری محصولات: فراهم کردن مسیر مناسب برای حذف آب و محصولات تولیدی از لایه کاتالیستی به کانال های زمینه جریان

۳- هدایت الکتریکی بالا و فراهم کردن هدایت الکترونی مورد نیاز از صفحات دو قطبی به لایه کاتالیستی

۴- هدایت حرارتی: فراهم کردن موثر حذف حرارت از مجموعه غشاء- الکتروود به صفحات دو قطبی که توسط کانال های سرد کننده انجام می شود.

۵- مدیریت آب مناسب

۶- مورفولوژی سطح^۱ بدون شکاف^۲

۷- افزایش پایداری اکسایشی

^۱- Surface Morphology

^۲- Crack Free