



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی شیمی

ساخت صفحات دو قطبی بر پایه ماتریس پلی پروپیلن جهت کاربرد در پیل های سوختی
پلیمری

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع پلیمر

علی عدلو

استاد راهنما

دکتر مرتضی صادقی

به نام خداوند، مستی بخش



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی شیمی

ساخت صفحات دو قطبی بر پایه ماتریس پلی پروپیلن جهت کاربرد در پیل های سوختی
پلیمری

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع پلیمر
علی عدلو

استاد راهنما
دکتر مرتضی صادقی



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع پلیمر
علی عدلو

ساخت صفحات دو قطبی بر پایه ماتریس پلی پروپیلن جهت کاربرد در پیل های سوختی پلیمری

در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۱ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

دکتر مرتضی صادقی

۱- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر محمود معصومی

۲- استاد مشاور پایان نامه

دکتر سعید نوری خراسانی

۳- استاد داور

دکتر روح اله باقری

۴- استاد داور

دکتر حمید زیلویی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

جناب آقایان دکتر مرتضی صادقی و دکتر محمود معصومی اساتید را بنما و مشاورم:

شماره شنایی بخش تاریکی جان، هستی و ظلمت اندیشه را نور می بخشی. چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف شمارا که سرشار از عشق و یقین است. چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزی شمارا که چراغ روشن هدایت را بر کلبه می محترم و جودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه شمارا نه توان سپاس است و نه کلام و صف.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به
دانشگاه صنعتی اصفهان است

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان
بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به
شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند
این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
فصل اول: مقدمه	
۱-۱- ویژگیهای هیدروژن	۳
فصل دوم: انواع پیل سوختی و کاربردهای آنها	
۱-۲- پیل سوختی آلکالینی	۵
۲-۲- پیل سوختی کربنات مذاب	۶
۳-۲- پیل سوختی متانول مستقیم	۷
۴-۲- پیل سوختی اسید فسفریک	۸
۵-۲- پیل سوختی اکسید جامد	۹
۶-۲- پیل سوختی پلیمری	۱۰
۱-۶-۲- اجزاء تشکیل دهنده پیل سوختی پلیمری	۱۱
۲-۶-۲- مکانیزم هدایت الکتریکی پلیمرهای پرشده با مواد افزودنی	۱۴
۷-۲- تهیه گرافن	۱۶
۱-۷-۲- تورق و گسستگی	۱۶
۲-۷-۲- رسوب بخارات شیمیایی	۱۸
۳-۷-۲- مشتقات شیمیایی گرافن	۱۹
فصل سوم: مروری بر پژوهش‌های	
۱-۳- کامپوزیت‌های پلیمر-گرافن	۲۲
۱-۱-۳- تهیه کامپوزیت تقویت شده با گرافن	۲۲
۲-۳- فرآیندهای تولید صفحات دو قطبی	۲۴
۱-۲-۳- بررسی صفحات دو قطبی	۲۵
۳-۳- هدف از انجام این پژوهش	۲۹
فصل چهارم: مواد و روش‌ها	
۱-۴- مقدمه	۳۰
۲-۴- مشخصات مواد مورد استفاده برای ساخت صفحات دو قطبی بر پایه پلی پروپیلن	۳۰

۳۰	۱-۲-۴- مواد مورد نیاز برای تولید گرافن.....
۳۱	۲-۲-۴- مواد مورد نیاز برای ساخت صفحات دوقطبی.....
۳۳	۳-۴- روش انجام کار
۳۳	۱-۳-۴- تهیه اکسید گرافیت
۳۳	۲-۳-۴- تهیه گرافن
۳۳	۳-۳-۴- روش تولید و شرایط عملیاتی برای ساخت صفحات دوقطبی.....
۳۴	۴-۳-۴- نام گذاری نمونه ها
۳۷	۴-۴- آزمون‌های مورد نیاز برای شناسایی گرافن و خواص صفحات دوقطبی بر پایه پلی پروپیلن
۳۷	۱-۴-۴- روش‌های شناسایی گرافن
۴۰	۲-۴-۴- روش‌های ارزیابی صفحات دوقطبی ساخته شده.....
	فصل پنجم: نتایج و بحث
۴۴	۱-۵- مقدمه
۴۴	۲-۵- بررسی نتایج مربوط به سنتز گرافن
۴۴	۱-۲-۵- نتایج طیف سنج فرسرخ.....
۴۶	۲-۲-۵- بررسی نتایج آزمون میکروسکوپ نیروی اتم.....
۴۷	۳-۲-۵- نتایج مربوط به آزمون پراش اشعه ایکس
۴۸	۴-۲-۵- محاسبه اندازه دانه برای گرافن بر اساس رابطه ویلیامسون هال.....
۵۰	۳-۵- بررسی نتایج مربوط به آزمون‌های انجام شده برای صفحات دوقطبی بر پایه پلی پروپیلن
۵۱	۱-۳-۵- بررسی نتایج آزمون میکروسکوپ نوری عبوری.....
۵۳	۲-۳-۵- نتایج مربوط به میکروسکوپ الکترونی روبشی
۵۶	۳-۳-۵- نتایج مربوط به بررسی هدایت الکتریکی صفحات دو قطبی
۵۸	۴-۳-۵- نتایج مربوط به بررسی خواص فیزیکی مکانیکی صفحات دو قطبی.....
	فصل ششم: نتیجه گیری کلی و پیشنهادات
۶۲	۱-۶- نتیجه گیری کلی
۶۳	۲-۶- پیشنهادات برای ادامه این پژوهش.....
۶۴	مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- پیل سوختی آلکالینی ۶
- شکل ۲-۲ پیل سوختی متانول مستقیم ۸
- شکل ۳-۲ پیل سوختی اسید فسفریک ۹
- شکل ۴-۲ نمایی از پیل سوختی پلیمری ۱۰
- شکل ۵-۲- نمایی از پیل سوختی و قسمت های تشکیل دهنده آن ۱۳
- شکل ۶-۲ نمایی از سناریو ابتدایی از تئوری نفوذ ۱۴
- شکل ۷-۲ نمایی از مسیرهای هدایت الکتریکی ۱۵
- شکل ۸-۲ نمودار S نفوذ ۱۵
- شکل ۹-۲- نمایی از ساختار اکسید گرافیت و کاهش آن توسط هیدرات هیدرازین ۲۱
- شکل ۱-۳ میکروسکوپ الکترونی روبشی (a) نانو لوله کربنی چند دیواره اولیه (b) کاهش نسبت طول به عرض نانو لوله های چند دیواره بعد از عملیات اسیدی شدن. نمونه ای از عملیات عامل دار کردن موفق نانو لوله های کربنی توسط لی گزارش شد. ۲۶
- شکل ۱-۴- نمایی از دستگاه مورد استفاده برای بررسی هدایت الکتریکی ۴۱
- شکل ۲-۴- نمایی از دستگاه آزمون خمش ۴۲
- شکل ۳-۴- میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل EM-3200 ۴۳
- شکل ۱-۵- طیف فروسرخ گرافیت، اکسید گرافیت و گرافن تولید شده توسط واکنش کاهشی ۴۵
- شکل ۲-۵- مکانیزم پیشنهادی کاهش گروه های عاملی اپوکسیدی توسط هیدرات هیدرازین توسط استنکوویچ. ۴۵
- شکل ۳-۵- نمای دو بعدی میکروسکوپ نیروی اتمی نمونه اکسید گرافن ۴۶
- شکل ۴-۵- نمای سه بعدی میکروسکوپ نیروی اتمی نمونه اکسید گرافن ۴۶
- شکل ۵-۵- نمایی از بررسی انجام شده برای علائم مشخص شده سبز و سیاه ۴۷
- شکل ۶-۵- پراش اشعه ایکس گرافیت، اکسید گرافن و گرافن تولید شده ۴۸
- شکل ۷-۵- نمودار $B\cos \theta$ بر حسب $\sin \theta$ برای نمونه گرافن تولید شده ۵۰
- شکل ۸-۵- میکروسکوپ نوری برای بررسی پراکندگی نمونه ۱ با بزرگ نمایی $40\times$ ۵۱
- شکل ۹-۵- میکروسکوپ نوری برای بررسی پراکندگی نمونه ۲ با بزرگ نمایی $40\times$ ۵۱
- شکل ۱۰-۵- میکروسکوپ نوری برای بررسی پراکندگی نمونه ۳ با بزرگ نمایی $40\times$ ۵۲
- شکل ۱۱-۵- تصاویر میکروسکوپ نوری روبشی از نمونه 5C5G با بزرگ نمایی ۱۷، ۲۵۰، و ۱۵۰۰ برابر ۵۴
- شکل ۱۲-۵- تصاویر میکروسکوپ نوری روبشی از نمونه 5C5G0.5E با بزرگ نمایی ۱۷، ۱۵۰۰ و ۱۰۰۰۰ برابر ۵۵
- شکل ۱۳-۵- تصاویر میکروسکوپ نوری روبشی از نمونه 7C5G با بزرگ نمایی ۱۷، ۲۵۰، و ۱۰۰۰۰ برابر ۵۵
- شکل ۱۴-۵- نمودار از آزمون خمش برای نمونه 5C5G1E ۵۹
- شکل ۱۵-۵- نمودار حاصل از آزمون خمش برای نمونه 6C5G ۵۹
- شکل ۱۶-۵- نتایج آزمون خمش صفحات دو قطبی مربوط به ترکیب درصد های متفاوت گرافن ۵۹

- شکل ۵-۱۷- نتایج آزمون خمش صفحات دو قطبی مربوط به افزودن دوده نوع آکرونا بل ۶۰
- شکل ۵-۱۸- نتایج آزمون خمش صفحات دو قطبی مربوط به مقایسه درصد پلی پروپیلن -g- با مالئیک انیدرید ۶۰
- شکل ۵-۱۹- نمودار خمشی بر حسب هدایت الکتریکی برای صفحات دو قطبی ساخته شده ۶۱

فهرست جداول

- جدول ۱-۴- مشخصات گرافیت سنتزی تهیه شده از مرک آلمان ۳۱
- جدول ۲-۴- مشخصات دوده Ketjenblack EC-300j ۳۱
- جدول ۳-۴- مشخصات دوده ENSACO 250G ۳۲
- جدول ۴-۴- مشخصات پلی پروپیلن استفاده شده برای ساخت صفحات دو قطبی ۳۲
- جدول ۵-۴- مشخصات واکس پلی اتیلن ۳۲
- جدول ۶-۴- صفحات دو قطبی تهیه شده با دوده از نوع تیم کال ۳۵
- جدول ۷-۴- صفحات دو قطبی تهیه شده با دوده از نوع آکرونابل ۳۶
- جدول ۱-۵- محاسبه اندازه دانه برای گرافیت ۴۸
- جدول ۲-۵- محاسبه اندازه دانه برای اکسید گرافیت ۴۹
- جدول ۳-۵- محاسبه اندازه دانه برای گرافن ۴۹
- جدول ۴-۵- درصد وزنی نمونه‌های مورد استفاده برای بررسی میکروسکوپ نوری ۵۱
- جدول ۵-۵- نتایج حاصل از برنامه Image pro برای نمونه ۱ ۵۲
- جدول ۶-۵- نتایج حاصل از برنامه Image pro برای نمونه ۲ ۵۲
- جدول ۷-۵- نتایج حاصل از برنامه Image pro برای نمونه ۳ ۵۳
- جدول ۸-۵- هدایت الکتریکی صفحات دو قطبی تولیدی همراه با گرافن و حاوی ۵٪ وزنی دوده از نوع آکرونابل .. ۵۶
- جدول ۹-۵- هدایت الکتریکی صفحات دو قطبی تولیدی با دوده از نوع آکرونابل ۵۶
- جدول ۱۰-۵- هدایت الکتریکی صفحات دو قطبی تولیدی با دوده از نوع تیم کال ۵۷

چکیده

استفاده از انرژی پاک از دیر باز یکی از دغدغه‌های بشر بوده است. بدین منظور روش‌های متنوعی برای تولید انرژی پاک پی گیری شده است. یکی از بهترین گزینه‌های پیش روی بشر انرژی هیدروژنی و استفاده از پیل‌های سوختی می‌باشد. از میان پیل‌های سوختی، نوع پیل سوختی پلیمری به دلیل بهره‌مندی از بازده بالا در کنار کارکرد در دمای پائین برای کاربردهای متنوعی نظیر کاربردهای قابل حمل و استفاده در خودرو گسترش قابل توجهی یافته است. یکی از مهم‌ترین قسمت‌های پیل سوختی پلیمری صفحات دوقطبی می‌باشند. صفحات دو قطبی که انتقال الکترون را بر عهده دارند دارای انواع متفاوتی مانند گرافیتی، فلزی و کامپوزیت‌های پلیمری رسانا می‌باشند. در این پژوهش ساخت صفحات دوقطبی بر پایه پلی پروپیلن همراه با استفاده از افزودنی‌های هادی الکتریسیته مختلف مانند گرافیت، گرافن و دو نوع دوده نانومتری پی گیری شد. همچنین از پلی پروپیلن پیوند زده شده با مالئیک انیدرید و واکس پلی اتیلن برای بهبود پراکندگی ذرات افزودنی استفاده شد. تولید گرافن بر اساس روش کاهش شیمیایی هامر پیش رفت. بعد از تولید گرافن آزمون‌هایی مانند پراش اشعه ایکس، طیف سنج فرسرخ و میکروسکوپ نیروی اتمی برای بررسی ماده تولیدی استفاده شد. آزمون پراش اشعه ایکس افزایش در مقدار فاصله بین صفحات با اکسید کردن صفحات گرافیتی را نشان داد. استفاده از طیف سنج فرسرخ، ارتعاش کششی گروه‌های C-O (هیدروکسیل) در 1056 Cm^{-1} ، ارتعاش کششی گروه‌های C-O (اپوکسی) در عدد موج 1166 Cm^{-1} ، ارتعاش کششی گروه‌های C-O کربوکسیل در 1427 Cm^{-1} ، ارتعاش کششی گروه‌های C=O (کربونیل) در 1728 Cm^{-1} و ارتعاش کششی گروه‌های O-H در بازه عدد موجی $3100-3600 \text{ Cm}^{-1}$ برای اکسید گرافیت را نشان داد. بعد از کاهش توسط هیدرات هیدرازین اکثر عوامل موجود بجز عوامل هیدروکسیلی کاهش و تبدیل به پیوند دوگانه شدند. میکروسکوپ نیروی اتمی نشان داد که بیشتر صفحات دارای ضخامت در حدود ۱ نانومتر و کمتر می‌باشند. برای تولید صفحات دوقطبی پیل سوختی پلیمری پلی پروپیلن به عنوان زمینه در نظر گرفته شد. برای مخلوط کردن و ذوب کردن مواد از دستگاه مخلوط کن داخلی و برای قالب گیری از روش قالب گیری تراکمی استفاده شد. برای بررسی اثر پلی پروپیلن پیوند زده شده با مالئیک انیدرید و واکس پلی اتیلن بر پراکندگی ذرات گرافن در پلی پروپیلن از میکروسکوپ نوری عبوری استفاده شد. نتایج میکروسکوپ نوری عبوری نشان داد که استفاده از پلی پروپیلن پیوند زده شده با مالئیک انیدرید بدلیل قطبی بودن تأثیر گذارتر بر روی پراکندگی ذرات گرافن می‌باشد. برای بررسی خواص مورد نیاز صفحات دوقطبی پیل سوختی پلیمری تولید شده آزمون‌های هدایت الکتریکی و استحکام خمشی استفاده شد. بهترین نمونه در آزمون هدایت الکتریکی نمونه با ۷٪ وزنی دوده نوع آکرونابل با هدایت الکتریکی $1.4/63 \text{ s/cm}$ بود. برای بررسی استحکام خمشی از آزمون خمش سه نقطه‌ای استفاده شد. بهترین نمونه از نظر استحکام خمشی نمونه دارای ۱٪ وزنی گرافن بود. آزمون میکروسکوپ روبشی الکترونی برای بررسی ریخت شناسی ترکیبات استفاده شد. این آزمون نشان داد که استفاده از گرافن به دلیل ساختار صفحه‌ای می‌تواند در لحظه قالب گیری در جهت عمود بر فشار قالب قرار گرفته و باعث افزایش مسیرهای هادی الکتریسیته شود.

کلمات کلیدی: صفحات دوقطبی، پیل سوختی پلیمری، گرافن، هدایت الکتریکی، پلی پروپیلن

فصل اول

مقدمه

انرژی از دیر باز به عنوان موتور محرک جوامع بشری شناخته شده است و با پیشرفت بشر بر اهمیت و تأثیرگذاری آن در زندگی بشر افزوده شده است. امروزه مجموعه‌ای از عوامل مختلف از جمله محدودیت منابع فسیلی، تأثیرات منفی زیست محیطی بهره‌گیری از منابع هیدروکربنی، افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی، منازعات سیاسی و تأثیرات آن بر روی ارائه پایدار انرژی از جمله دلایلی هستند که بسیاری از سیاستمداران و متخصصین مباحث انرژی و محیط زیست را به حرکت به سوی ایجاد ساختاری نوین مبتنی بر امنیت ارائه انرژی، حفظ محیط زیست، ارتقاء کارایی سیستم انرژی وادار نموده است. بر این اساس هیدروژن یکی از بهترین گزینه‌ها جهت ایفای نقش حامل انرژی در سیستم جدید ارائه انرژی می‌باشد. هیدروژن به عنوان فراوان‌ترین عنصر موجود در سطح زمین به روش‌های مختلف قابل تولید می‌باشد. هیدروژن از الکتریسیته تولیدی از منابع تجدید پذیر نظیر باد، خورشید، زمین گرمایی و نظایر آن تولید شده و پس از ذخیره‌سازی و انتقال به محل‌های مصرف در کاربردهای مختلف از جمله تجهیزات الکترونیکی کوچک (میلی وات)، صنعت حمل و نقل و صنعت تولید الکتریسیته به کار گرفته می‌شود. با این رویکرد بسیاری بر این باورند که سوخت نهایی بشر هیدروژن می‌باشد. عمل تبدیل انرژی شیمیایی موجود در هیدروژن به انرژی الکتریکی توسط دستگاهی به نام پیل سوختی انجام می‌پذیرد. در واقع اهمیت فناوری پیل سوختی در یک سیستم انرژی بر پایه هیدروژن است. به منظور دستیابی به این نوع انرژی، ایجاد زنجیره‌ای از زیر ساختارها لازم است. این زیر ساختارها در حوزه‌های مختلف تولید، ذخیره، انتقال و عرضه هیدروژن در کنار فناوری‌های مصرف هیدروژن (پیل سوختی) می‌باشد. با توجه به قابلیت‌های گاز طبیعی برای تولید هیدروژن (هم اکنون بیش از ۹۰٪ هیدروژن تولیدی در جهان از گاز طبیعی است) و قابلیت بهره‌گیری از آن در برخی از انواع پیل‌های سوختی به صورت مستقیم یا به شکل غیرمستقیم، توسعه زیر ساختارهای مربوط به گاز طبیعی می‌تواند به تسریع این فناوری کمک نماید. همچنین تجهیزات الکترونیکی کوچک نیز از متانول به عنوان سوختی که قابلیت بهره‌گیری در برخی از انواع پیل‌های سوختی را دارد استفاده خواهند نمود. اما این مهم در کوتاه مدت رخ نداده و لازم است که زنجیره‌ای از فعالیت‌های تحقیق و توسعه، ساخت نمونه‌ها

و احداث پایلوت‌های بررسی عملکردی، در کنار تلاش در جهت کاهش هزینه‌های هر یک از اجزاء و ایجاد فرهنگ و بستر لازم جهت پذیرش این فناوری‌های نوین انجام پذیرد.

۱-۱- ویژگی‌های هیدروژن

از جمله ویژگی‌هایی که هیدروژن را از سایر گزینه‌های مطرح سوختی متمایز می‌نماید، می‌توان به فراوانی، مصرف تقریباً منحصر به فرد، انتشار بسیار ناچیز آلاینده‌ها، برگشت پذیر بودن چرخه تولید آن و کاهش اثرات گلخانه‌ای اشاره نمود. سیستم انرژی هیدروژنی به دلیل استقلال از منابع اولیه انرژی، سیستمی دائمی، پایدار، فناپذیر، فراگیر و تجدید پذیر می‌باشد و پیش بینی می‌شود که در آینده‌ای نه چندان دور تولید و مصرف آن به عنوان حامل انرژی به سراسر اقتصاد جهانی سرایت نموده و اقتصاد هیدروژنی تثبیت شود؛ با این وجود نباید انتظار داشت که هیدروژن در بدو ورود از نظر قیمتی بتواند با سایر حامل‌های انرژی رقابت نماید. در آینده هیدروژن و پیل‌های سوختی می‌توانند نقش محوری و کنترل‌کنندگی در آلودگی شهرها داشته باشند. عمل تبدیل انرژی شیمیایی موجود در هیدروژن به انرژی الکتریکی توسط پیل سوختی انجام می‌پذیرد که متناسب با کاربرد و خواص ساختاری آن‌ها، پیل‌های سوختی خود به انواع مختلف تقسیم می‌شوند. در واقع اهمیت فناوری پیل سوختی در یک سیستم انرژی بر پایه هیدروژن (عصر هیدروژن) به گونه‌ای است که بسیاری آن‌را به لوکوموتیو قطار توسعه عصر هیدروژن تشبیه نموده‌اند. علاوه بر فناوری پیل سوختی به عنوان مصرف‌کننده هیدروژن در عصر هیدروژن، فناوری‌های تولید، ذخیره سازی، عرضه و انتقال هیدروژن نیز از اجزاء اصلی ساختار انرژی این عصر خواهند بود. در این پژوهش سعی در تولید صفحات دو قطبی بر پایه ماتریس پلی پروپیلن و استفاده از نانو ذرات گرافن و دوده می‌باشد. در فصل دوم مطالبی پیرامون تئوری نفوذ و پیل‌های سوختی مختلف و کاربرد و مزایا و معایب آن‌ها صحبت خواهد شد. در فصل سوم مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه سنتز نانو ذرات گرافن و روش‌های تولید صفحات دو قطبی صورت گرفته است. فصل چهارم شامل مواد و دستگاه‌های مورد استفاده و روش انجام آزمایش می‌شود. در فصل پنجم نتایج حاصل از آزمایش‌ها و تحلیل نتایج حاصل از ساخت صفحات دو قطبی بر پایه ماتریس پلی پروپیلن گزارش شده است و در فصل ششم نتیجه گیری کلی و پیشنهادها برای ادامه پژوهش آورده شده است.

فصل دوم

انواع پیل سوختی و کاربردهای آن‌ها

در سال ۱۸۳۹ ویلام گروو به وسیله عکس الکترولیز عملیات پایه‌ای را برای بدست آوردن جریان الکتریکی از هیدروژن و اکسیژن را کشف کرد. یا به عبارت دیگر پیل سوختی وسیله الکتروشیمیایی است که انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تا زمانی که سوخت و اکسیدکننده موجود باشد تبدیل می‌کند. بعضی اوقات پیل‌های سوختی را در گروه باتری‌ها قرار می‌دهند. ولی بر خلاف باتری‌ها پیل‌های سوختی احتیاج به شارژ کردن دوباره ندارند[۱].

پیل‌های سوختی بر اساس کارائی، اجزاء بکار رفته و دمای مورد استفاده به انواع زیر تقسیم می‌شوند.

- ۱- پیل سوختی آلکالینی^۱
- ۲- پیل سوختی کربنات مذاب^۲
- ۳- پیل سوختی متانول مستقیم^۳
- ۴- پیل سوختی اسید فسفریک^۴
- ۵- پیل سوختی اکسید جامد^۵
- ۶- پیل سوختی پلیمری^۶

^۱ Alkaline Fuel Cell

^۲ Molten Carbonate Fuel Cell

^۳ Direct Methanol Fuel Cells

^۴ Phosphoric Acid Fuel Cell

^۵ Solid Oxide Fuel Cell

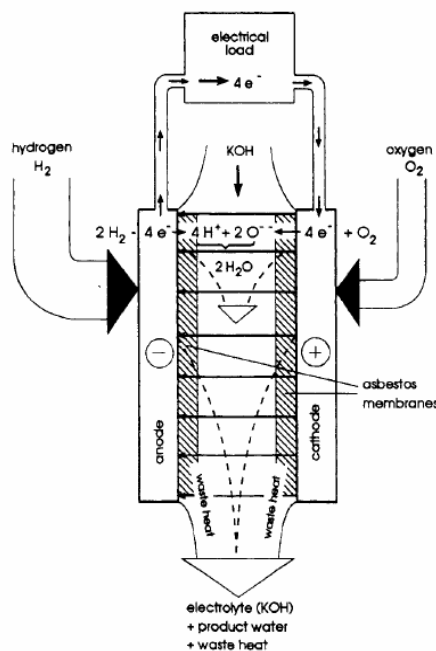
^۶ Polymer Electrolyte Fuel Cell

۱-۲- پیل سوختی آلکالینی

پیل‌های سوختی آلکالینی یکی از اولین انواع پیل سوختی می‌باشند که به طور گسترده‌ای در کاربردهای اکتشافی فضایی استفاده شده است. در این پیل‌ها هیدروژن و اکسیژن به ترتیب به عنوان سوخت و اکسیدانت استفاده می‌شود. الکترولیت آن محلول غلیظ هیدروکسید پتاسیم جذب شده بر روی ماتریس پنبه نسوز می‌باشد. محدوده کارایی دمای این پیل‌های سوختی در حدود $100-250^{\circ}\text{C}$ و بازده آن می‌تواند بیشتر از ۶۰٪ باشد. یون‌های OH^- در میان الکترولیت از کاتد به آنند منتقل می‌شوند. واکنش آن را می‌توان به فرم زیر نشان داد:



در حالت آلکالین، واکنش کاهش اکسیژن، در مقایسه با پیل‌های سوختی اسیدی واکنش اکسیداسیون هیدروژن سریع تر انجام می‌شود. محدوده مواد مورد استفاده برای کاتالیست در پیل‌های سوختی آلکالینی گسترده می‌باشد و از نیکل، نقره و فلزات جدید می‌توان نام برد. در حال حاضر الکترودهای نفوذی پلاتین-کربن به عنوان آنند و کاتد استفاده می‌شوند. سوخت پیل‌های سوختی آلکالینی باید هیدروژن خالص باشد، هر ناخالصی مانند مونواکسید کربن و دی‌اکسید کربن الکترولیت را آلوده کرده و هیدروکسید پتاسیم را به کربنات پتاسیم تبدیل می‌کند. الکترولیت هیدروکسید پتاسیم در پیل سوختی آلکالینی به صورت ماده‌ای ژل گونه پایدار می‌شود. همچنین مشاهده شده که عمر عملیاتی می‌تواند به وسیله چرخش هیدروکسید پتاسیم درون سل افزایش یابد. چرخش الکترولیت می‌تواند مانع خوبی در برابر نشت گاز و همچنین به عنوان مایع خنک کننده در پیل عمل کند. از دیگر مزایای استفاده از چرخش الکترولیت می‌توان برای تمیز کردن پیل و خروج آب تولید شده از آنند نام برد [۲]. این پیل از نظر واکنش شیمیایی و دمای عملیاتی با دیگر پیل‌های سوختی تفاوت دارد که در شکل ۱-۲ نمای کلی از آن به نمایش در آمده است.



شکل ۲-۱- پیل سوختی آلکالینی [۱]

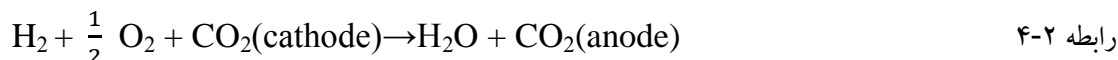
۲-۲- پیل سوختی کربنات مذاب

الکترولیت موجود در این پیل سوختی معمولاً ترکیبی از کربنات‌های قلیایی می‌باشد که در ماتریس سرامیکی از آلومینات لیتیم^۱ قرار دارد. دمای عملیاتی این نوع از پیل‌های سوختی ۶۰۰ تا ۷۰۰ °C می‌باشد جایی که کربنات‌های قلیایی به فرم نمک‌های مذاب با هدایت بالا، با یون‌های کربنات ایجاد شده هدایت یونی ایجاد می‌کنند. در دمای عملیاتی بالا در پیل سوختی کربنات مذاب، نیکل (آند) و اکسید نیکل (کاتد) مناسب برای ارتقاء واکنش می‌باشند. فلزات جدید قابل استفاده به عنوان الکترولیت برای این گونه سیستم‌ها نیستند، همچنین سوخت‌های هیدروکربنی زیادی می‌تواند درون آن استفاده شوند. توسعه این نوع از پیل‌ها برای کاربردهای دریایی و ایستگاه‌های بزرگ جایی که اندازه بزرگ و وزن پیل سوختی کربنات مذاب و راه اندازی آهسته آن در دسر ساز نباشد امکان پذیر است.

دمای عملیاتی نسبتاً بالای آن منتج به چندین مزایا می‌شود: الکتروکاتالیست گران قیمتی احتیاج ندارد و الکترودهایی از جنس نیکل فعالیت مناسبی را فراهم می‌سازند. مونواکسید کربن و هیدروکربن‌ها را می‌توان به عنوان سوخت برای این نوع پیل‌های سوختی استفاده کرد، هیدروژن در دسته به سادگی بر روی صفحات دو قطبی عبور داده شده و باعث بهبود بازدهی سیستم به بالاتر از ۴۰ و کمتر از ۵۰ درصد تبدیل می‌شود. بعلاوه می‌توان از حرارت اتلافی برای افزایش بازده استفاده کرد.

^۱ Lithium aluminate

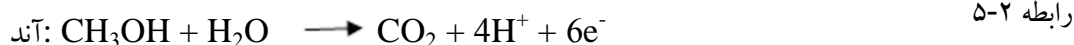
از مهم‌ترین مشکلات این نوع از پیل‌های سوختی می‌توان به بخارات کاملاً خورنده ساطع شده از الکترولیت متحرک نام برد. که احتیاج به استفاده از نیکل و فولاد ضد زنگ برای تجهیزات پیل را ملزم می‌سازد. افزایش دمای مواد مشکلاتی مانند، برهم خوردن پایداری مکانیکی و عمر دسته را به دنبال دارد. نمونه واکنش این نمونه از پیل‌های سوختی در زیر آمده است [۱]:



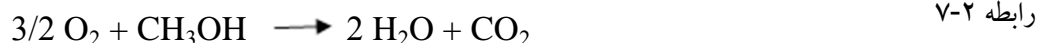
۲-۳- پیل سوختی متانول مستقیم

انواع متفاوتی از پیل‌های سوختی مایع مستقیم وجود دارند، مانند پیل‌های سوختی متانول مستقیم، پیل‌های سوختی اسید فرمیک مستقیم^۱، و پیل‌های سوختی اتانول مستقیم^۲، از محبوب‌ترین آن‌ها می‌توان به پیل‌های سوختی متانول مستقیم نام برد.

ذخیره، حمل و نقل و در دسترس بودن گاز هیدروژن مشکل می‌باشد. گزارش شده که بین تولید گاز هیدروژن و کاربرد آن، ۱۵٪ کاهش به دلیل نشت اجتناب پذیر وجود دارد. متانول مایع در این مورد به نسبت هیدروژن سوخت بهتری می‌باشد. واکنش الکتروشیمیایی در پیل‌های سوختی متانول مستقیم به صورت زیر می‌باشد:



واکنش کلی به صورت زیر می‌باشد.



ولتاژ سل در پیل‌های سوختی متانول مستقیم در شرایط استاندارد ۱۲۰ ولت می‌باشد. مواد مورد استفاده در این پیل مشابه مواد استفاده شده در پیل سوختی پلیمری می‌باشند. پلاتین، پلاتین RU و غشا نفیونی به ترتیب به عنوان کاتالیست کاتد، کاتالیست آند و غشا انتقال پروتون استفاده می‌شوند. هرچند که مقدار کاتالیست استفاده شده در پیل‌های سوختی متانول مستقیم بسیار بیشتر از مقدار مورد نیاز در پیل‌های سوختی هیدروژنی، به دلیل واکنش آهسته در دو طرف می‌باشد. اکسیداسیون متانول در پیل‌های سوختی متانول مستقیم خیلی پیچیده‌تر از اکسیداسیون هیدروژن در پیل‌های سوختی پلیمری می‌باشد و سینتیک آن حتی با استفاده از کاتالیست‌های پلاتین RU آهسته می‌باشد. نقش RU در اکسیداسیون متانول فراهم

^۱ direct formic acid fuel cells

^۲ direct ethanol fuel cells