

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران مرکزی
دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)
گرایش: حالت جامد

عنوان:

ساخت و بررسی خواص فیزیکی کاتد پیل سوختی اکسید جامد با
استفاده از نانو فناوری

استاد راهنما:

دکتر اسماعیل ساعی ویر ایرانی زاد

استاد مشاور:

دکتر احمد مشاعی

پژوهشگر:

نفیسه لسانی

اسفند ۱۳۸۹

تقدیم به

مادر نازنینم که چون خورشید خالصانه، جاودانه و بی هراس از گزند طوفان، مهربانی، گرمی

و طراوت به زندگیم می بخشد

به پدرم که همواره هدیه بخش آرامش، صبر و ایستادگی برایم بوده است

به یگانه خواهرم که زیستم را معنا بخشیده

به برادران مهربانم

تشکر و قدردانی

با سپاس از لطف بی پایان خالق که راه های کسب علم و آگاهی را پیش رویم قرار داده است. در اینجا لازم می دانم از زحمات استاد راهنمای عزیزم جناب آقای دکتر اسماعیل ساعی و ایرانی زاد برای به ثمر نشستن کار پژوهشیم در این پایان نامه سپاسگزاری کنم.

همچنین از جناب آقای دکتر احمد مشاعی که استاد مشاور این پایان نامه بودند بی اندازه ممنونم و از جناب آقای دکتر زارع که زحمت داوری پایان نامه مرا بعهده گرفتند، متشکرم.

از مسؤلین آزمایشگاه های دانشکده فیزیک دانشگاه تربیت مدرس که همکاری لازم را جهت انجام کار آزمایشگاهی من انجام دادند ممنونم. از دانشجویان فیزیک آزمایشگاه دکتر ساعی و بویژه آقای پورجعفری و آزمایشگاه دکتر ملک فر که از هیچگونه کمکی دریغ نکردند بینهایت متشکرم.

همچنین از جناب آقای دکتر صراف و دانشجویان دانشکده مهندسی مواد دانشگاه تربیت مدرس بویژه خانم شجاعی که پاسخگوی بسیاری از سوالات و ابهامات کار تحقیقی من بودند بسیار سپاسگزارم.

از جناب آقای دکتر سلامتی ، خانم شروین همت ، آقای قارلقی و آقای ملکی فر که در رابطه با پیل های سوختی و کار آزمایشگاهی من، کمک نمودند خیلی ممنون هستم.

بسمه تعالی

تعهدنامه‌ی اصالت پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

اینجانب..... دانشجوی کارشناسی ارشد رشته‌ی..... با شماره‌ی

دانشجویی..... اعلام می‌نمایم کلیه‌ی مطالب مندرج در این پایان‌نامه با عنوان:

.....
حاصل کار پژوهشی خود بوده و چنانچه دستاوردهای پژوهشی دیگران را مورد استفاده قرار داده باشم طبق ضوابط و رویه‌های جاری، آن را ارجاع داده و در فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام. علاوه بر آن تاکید می‌نمایم که این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح، پایین‌تر یا بالاتر ارائه نشده و چنانچه در هر زمان خلاف آن ثابت شود، بدینوسیله متعهد می‌شوم در صورت ابطال مدرک تحصیلی توسط دانشگاه بدون کوچک‌ترین اعتراض آن را بپذیرم.

تاریخ و امضاء

۱	فصل اول : کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ تاریخچه پیل های سوختی
۴	۳-۱ تعریف پیل سوختی و تفاوت آن با باتری
۵	۴-۱ اساس کار پیل سوختی
۵	۵-۱ مزایای پیل سوختی
۷	۶-۱ امتیازات ویژه پیل های سوختی جهت کاربردهای نظامی
۷	۷-۱ انواع پیل های سوختی
۸	۱-۷-۱ پیل های سوختی قلبایی
۹	۲-۷-۱ پیل های سوختی اسید فسفریک
۱۱	۳-۷-۱ پیل سوختی کربنات مذاب
۱۲	۴-۷-۱ پیل سوختی الکترولیت پلیمر جامد
۱۴	۵-۷-۱ پیل سوختی اکسید جامد
۱۶	فصل دوم: عملکرد شیمیایی و ترمودینامیکی پیل های سوختی
۱۷	۱-۲ عملکرد پیل های سوختی
۱۷	۱-۱-۲ عملکرد مطلوب
۱۹	۲-۲ ولتاژ مدار باز پیل سوختی
۲۰	۳-۲ عوامل کاهشدهنده عملکرد مطلوب
۲۰	۱-۳-۲ قطبش اهمی
۲۰	۲-۳-۲ قطبش فعالسازی
۲۱	۳-۳-۲ قطبش غلظتی
۲۱	۴-۳-۲ نمودار چگالی جریان بر حسب ولتاژ
۲۲	۴-۲ اجزای اصلی پیل های سوختی
۲۲	۱-۴-۲ الکترودها
۲۳	۲-۴-۲ نیم واکنش ها در الکترودها
۲۳	۳-۴-۲ خصوصیات الکترودها
۲۳	۴-۴-۲ نقش خلل و فرج الکترودها در عملکرد پیل سوختی
۲۵	۵-۴-۲ انواع الکترودها
۲۶	فصل سوم: ویژگی ساختار های پرواسکایت و بررسی آن بعنوان کاتد پیل سوختی
۲۷	۱-۳ اکسیدهای پرواسکایت ABO _۳
۲۷	۱-۱-۳ مقدمه

۲۸	۲-۱-۳ بررسی ساختار ایده ال و خروج از حالت ایده ال یک ساختار بلور
۳۰	۳-۱-۳ ویژگی های مخصوص اکسیدهای پرواسکایت
۳۰	۲-۳ ویژگیهای يك ماده ي کاتدي
۳۱	۱-۲-۳ فعالیت کاتالیستی
۳۲	۲-۲-۳ هدایت الکتريکی
۳۳	۳-۲-۳ عبور اکسیژن
۳۴	۴-۲-۳ پایداری و سازگاری شیمیایی
۳۴	۵-۲-۳ پایداری ریختی
۳۵	۶-۲-۳ سازگاری با الکترولیت
۳۵	۷-۲-۳ مقاومت ویژه سطحی کم
۳۶	۳-۳ شرح واکنش قطبش کاتد
۳۷	۴-۳ برتری اکسیدهای پرواسکایت نسبت به سایر ساختارها
۳۸	۵-۳ ماده اکسیدی مورد استفاده در کاتد پیل سوختی اکسید جامد
۳۸	۶-۳ مدار معادل برای سطح مشترک الکترولیت- الکتروود
۴۱	۷-۳ کاتد برای پیل سوختی دما میانی
۴۱	۱-۷-۳ خواص کاتد پرواسکایت پایه شده با CO

فصل چهارم: بررسی پدیده رسانایی و ضریب انبساط حرارتی در LSCF

۴۳	۱-۴ نقص ساختار بلوری
۴۴	۲-۴ انواع نقص های بلوری
۴۴	۱-۲-۴ نقص غیر استوکیومتری
۴۷	۲-۲-۴ نقص استوکیومتری
۵۰	۳-۴ تفاوت عملکرد هدایتی در رساناها، نارساناها، نیمه رساناها
۵۱	۴-۴ پرواسکایت های کبالت و آهن لانتانیم
۵۱	۱-۴-۴ ساختار غیراستوکیومتری اکسیژن
۵۲	۲-۴-۴ هدایت الکترونی و ضریب انبساط حرارتی TEC
۵۴	۵-۴ لانتانیم کبالت اکسید $LaCoO_3$
۵۵	۶-۴ لانتانیم فریت اکسید $LaFeO_3$
۵۶	۷-۴ لانتانیم استرانسیوم کبالتیت فریت اکسید $LaSrCoFeO_3$
۵۶	۸-۴ باریوم استرانسیوم کبالتیت فریت اکسید $BaSrCoFeO_3$

فصل پنجم: ساخت نمونه ها و نتایج آزمایشگاهی

۵۸	۱-۵ ساخت کاتد پیل سوختی اکسید جامد
۵۹	۱-۱-۵ علل استفاده از ماده کاتدی LSCF
۵۹	۲-۵ ساخت ماده
۵۹	۱-۲-۵ روش ساخت

۶۰	.....	۲-۲-۵ روش سل-ژل خود احتراقی
۶۰	.....	۳-۲-۵ اتیلن دیامین تترا استیک اسید با نام اختصاری EDTA
۶۱	.....	۴-۲-۵ اسید سیتریک
۶۳	.....	۳-۵ مواد مورد نیاز جهت ساخت نمونه
۶۳	.....	۴-۵ تجهیزات مورد نیاز جهت ساخت نمونه
۶۴	.....	۵-۵ ساخت نمونه
۶۴	.....	۱-۵-۵ آماده سازی محلول مواد اولیه شامل نیتراتهای فلزی
۶۵	.....	۶-۵ خشک کردن ژل
۶۶	.....	۷-۵ آسیاب ژل خشک شده و تهیه پودر
۶۶	.....	۸-۵ تکلیس
۶۷	.....	۹-۵ پرس و تهیه قرص
۶۷	.....	۱۰-۵ کلوخه سازی
۶۹	.....	۱۱-۵ مشخصه یابی
۶۹	.....	۱-۱۱-۵ تجزیه فاز و اندازه ذره ها
۷۰	.....	۲-۱۱-۵ آنالیز حرارتی
۷۲	.....	۳-۱۱-۵ میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی
۷۳	.....	۴-۱۱-۵ بررسی طیف عبوری نور مرئی
۷۴	.....	۵-۱۱-۵ مساحت سطح ویژه مؤثر
۸۰	.....	۶-۱۱-۵ درصد تخلخل باز
۸۷	.....	فصل ششم: نتایج کلی و پیشنهادات
۸۸	.....	۱-۶ نتایج
۸۹	.....	۲-۶ پیشنهادهایی برای ادامه کار
۹۰	.....	مراجع

فهرست شکل ها:

شماره شکل	شماره صفحه
شکل ۱-۱	۲
شکل ۲-۱	۳
شکل ۳-۱	۹
شکل ۴-۱	۱۰
شکل ۵-۱	۱۲
شکل ۶-۱	۱۳
شکل ۷-۱	۱۴
شکل ۱-۲	۲۲
شکل ۲-۲	۲۴
شکل ۱-۳	۲۸
شکل ۲-۳	۲۸
شکل ۳-۳	۲۹
شکل ۴-۳	۳۱
شکل ۵-۳	۳۲
شکل ۶-۳	۳۳
شکل ۷-۳	۳۹
شکل ۸-۳	۴۰
شکل ۹-۳	۴۲
شکل ۱۰-۳	۴۲
شکل ۱-۴	۴۵
شکل ۲-۴	۴۵
شکل ۳-۴	۴۶

٤٧	شکل ٤-٤
٤٨	شکل ٥-٤
٤٨	شکل ٦-٤
٤٩	شکل ٧-٤
٤٩	شکل ٨-٤
٥٠	شکل ٩-٤
٥١	شکل ١٠-٤
٥٢	شکل ١١-٤
٥٣	شکل ١٢-٤
٥٤	شکل ١٣-٤
٦١	شکل ١-٥
٦٢	شکل ٢-٥
٦٥	شکل ٣-٥
٦٥	شکل ٤-٥
٦٦	شکل ٥-٥
٦٨	شکل ٦-٥
٧٠	شکل ٧-٥
٧١	شکل ٨-٥
٧١	شکل ٩-٥
٧٢	شکل ١٠-٥
٧٣	شکل ١١-٥
٨١	شکل ١٢-٥
٨٢	شکل ١٣-٥
٨٢	شکل ١٤-٥

٨٣.....	شكل ٥-١٥
٨٤.....	شكل ٥-١٦
٨٤.....	شكل ٥-١٧
٨٥.....	شكل ٥-١٨
٨٦.....	شكل ٥-١٩

چکیده

سیستم های پیل سوختی راکتورهای الکتروشیمیایی هستند که در حضور هیدروژن و اکسیژن، تولید الکتریسیته، آب و حرارت می کنند. بدلیل بازدهی بالا و عدم آلایندهی محیط زیست، جایگزین مناسبی برای مبدل های با سوخت های فسیلی نظیر موتورهای احتراق داخلی هستند. سوخت مورد نیاز پیل های سوختی، هیدروژن و یا هیدروکربن های گازی، مایع و جامد هستند. پیل سوختی اکسید جامد در بین انواع مختلف پیل سوختی، بالاترین بازدهی و ساختار نسبتاً ساده ای دارند. کاتد پیل سوختی یکی از اجزاء اثر گذار بر بازدهی این نوع سیستم ها است. در این پایان نامه، ماده سرامیکی $(La_{1-x}Sr_xCo_yFe_{1-y})$ LSCF با عنوان کاتد پیل سوختی اکسید جامد مورد مطالعه قرار گرفته است. این کاتد بین دماهای ۶۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد، هدایت الکتریکی خوب و عملکرد الکتروشیمیایی نسبتاً بالایی دارد. ماده کاتدی LSCF با استفاده از روش سل-ژل تعدیل یافته و همچنین سل-ژل خوداحتراقی ساخته شده است. برای سنتز این ماده از نیترات لانتانیم، نیترات استرانسیم، نیترات کبالت، نیترات آهن، EDTA، اسید سیتریک و نیترات آمونیوم به عنوان عامل احتراقی استفاده شده است. پودر LSCF سنتز شده از دیدگاه نانویی، خواص ساختاری، تاثیر دما بر روی اندازه ذرات و میزان تخلخل، مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی های صورت گرفته و نتایج حاصله نشان می دهند که نانو ذرات کاتدی LSCF با اندازه میانگین ذره ای مناسب، میزان توزیع تخلخل نسبتاً قابل قبول و مساحت سطح مؤثر مناسب، نسبت به آزمایشات صورت گرفته و گزارش شده، دارای ساختار و خواص فیزیکی بهتری است که می تواند گام مهمی بر ای سنتز مواد کاتدی با بازدهی بیشتر باشد.

کلید واژه: کاتد پیل سوختی اکسید جامد دما متوسط، نانو ذرات، LSCF، فرایند سل-ژل خوداحتراقی و تعدیل یافته.

فصل ۱ - کلیات

۱-۱- مقدمه

سوخت های فسیلی منابع انرژی پایان پذیری هستند که جامعه ی رو به توسعه ی انسانی در آینده ای نه چندان دور، دچار بحران انرژی خواهد شد. رشد سریع جمعیت در ۵۰ سال آینده و رسیدن آن به مرز ۱۰ میلیارد نفر، نیازمند منابع انرژی پایان ناپذیر سوخت را افزایش خواهد داد. هم اکنون وسعت آلودگی ناشی از سوخت های فسیلی زندگی انسانها را در کره ی خاکی دچار مشکل ساخته است.

ضرورت انتخاب انرژی جایگزین مناسب، ارزان قیمت، تمیز و پایان ناپذیر برای سوخت های فسیلی هم اکنون دغدغه بسیاری از کشورها بویژه کشورهای توسعه یافته است.

از جمله انرژی های مطرح، انرژی الکتریکی تولید شده بوسیله ی پیل های سوختی است، که بدلیل بازدهی بسیار بالا و عدم آلودگی محیط زیست و نیز مصرف هیدروژن به عنوان سوخت، در حال حاضر راه حل مناسبی جهت عبور از تنگنای انرژی و آلودگی محیط زیست می باشد (گاز هیدروژن را می توان از منابع انرژی تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر بدست آورد) امروزه اقتصادی ترین روش تولید هیدروژن استفاده از گاز طبیعی است.

پیل های سوختی بسیار کمتر از سوخت های فسیلی باعث آلودگی هوا می شوند، چون تنها خروجی آنها آب خالص است، در صورتیکه از متانول به عنوان سوخت استفاده شود، آلاینده های خروجی مقدار بسیار ناچیزی منوکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن هستند که در حین تبدیل سوخت حاصل می شوند.

بازدهی پیل های سوختی حدود سه برابر موتورهای احتراق داخلی است. پیل های سوختی دارای قسمت یا قسمتهای متحرک نیستند، بنابراین به تعمیر یا تعویض قطعات احتیاج ندارند. صدای ناشی از کار پیل های سوختی بسیار کمتر از صدای موتور خودروهای احتراق داخلی است و احتمال انتقال پیل سوختی از یک خودرو از کار افتاده به خودرو دیگر وجود دارد.

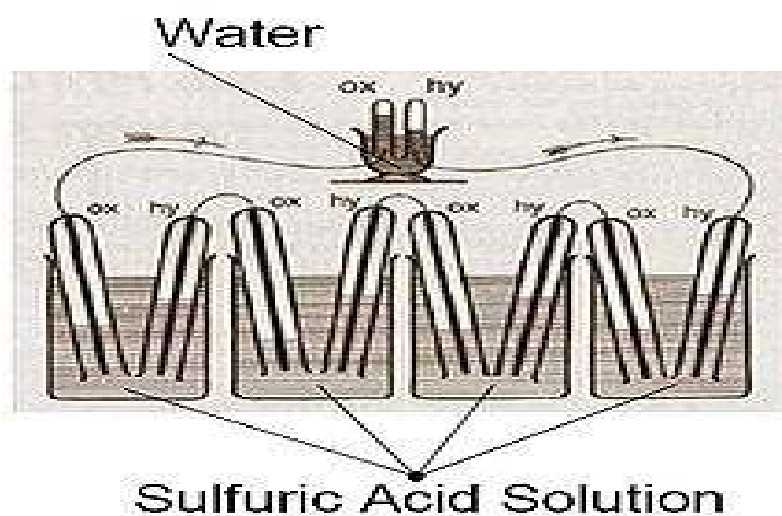
ابعاد استفاده از پیل های سوختی بسیار گسترده است، به عنوان مثال می توان از آنها در زیردریایی ها، سفینه های فضایی، کشتی ها، هواپیماها و ... استفاده کرد و یا آنها را در خودروها شامل اتوبوس ها، کامیون ها، سواری ها بکار برد. در مناطق دور افتاده که امکان استفاده از شبکه ی برق سراسری وجود ندارد می توان از آنها به مثابه نیروگاه استفاده کرد [۱].



شکل ۱-۱ کاربرد پیل های سوختی در صنعت

۲-۱- تاریخچه پیل های سوختی

پایه و اساس پیل های سوختی کنونی به سال ۱۸۳۹ بر می گردد. نخستین نمونه ی آزمایشگاهی پیل سوختی منسوب به فیزیکدان انگلیسی به نام ویلیام روبرت گرو^۱ است. پیل سوختی وی شامل دو الکترود از جنس پلاتین بود که یکی در داخل مخزنی از گاز هیدروژن قرار می گرفت. هردو الکترود داخل یک محلول اسید سولفوریک رقیق (حکم الکترولیت سیستم که باعث ارتباط الکتریکی بین دو الکترود می شد) قرار می گرفتند و بدین ترتیب ولتاژ ناچیزی تولید می شد (شکل ۱-۲). این نوع پیل به پیل باتری گازی گرو معروف است [۲].



شکل ۲-۱ نخستین نمونه ی آزمایشگاهی پیل سوختی منسوب به فیزیکدان انگلیسی ویلیام روبرت گرو [۴۹]

فرآیند تجزیه ی آب به هیدروژن و اکسیژن قبل از وی در سال ۱۸۰۰ میلادی توسط دو دانشمند انگلیسی ارائه شده بود. گرو اولین شخصی بود که فرآیند معکوس تجزیه ی آب، یعنی تولید آب و الکتریسیته، از ترکیب اکسیژن و هیدروژن را مطرح نمود..

^۱ Sir William Robert Grove

اما سابقه ی تولید پیل سوختی به سال ۱۸۸۹ بر می گردد که اولین پیل سوختی توسط ماند^۲ و کارل^۳ لنجر ساخته شد. آنها الکترودهای بسیار نازک متخلخلی از جنس پلاتین را در پیل سوختی بکار بردند، ولی به علت افت بازده در اثر خیس شدن، از یک الکترولیت شبه فلزی در سیستم پیل استفاده نمودند [۳].

در سال های بعد، فردریک ویلهلم اوسوالد^۴، یکی از بنیانگذاران علم شیمی-فیزیک معادلات ترمودینامیکی پیل را ارائه نمود [۴].

در اوایل قرن بیستم تلاش هایی در جهت توسعه ی پیل سوختی صورت گرفت. در سال ۱۹۵۵ پیل سوختی قلیایی ساخته شد. از سال ۱۹۶۰ سازمان فضایی آمریکا از پیل های مزبور در سفینه ها جهت تولید الکتریسیته، تهیه ی آب و گرمای مورد نیاز فضانوردان استفاده کرد. در طی دهه ی ۱۹۷۰ میلادی، فناوری پیل سوختی در وسایل خانگی و خودرو بکار گرفته شد. اولین خودروی مجهز به پیل سوختی حدود سال ۱۹۷۰ توسط شرکت جنرال موتورز^۴ آمریکا ساخته شد.

هوایما های پیل سوختی ناسا در سال ۲۰۰۰ میلادی با نیروی محرکه دوگانه باتری خورشیدی و پیل سوختی مورد بهره برداری قرار گرفت. این هوایما توان پرواز طولانی (شش ماه) و بدون وقفه را دارد و با حرکت مستمر خود در یک منطقه از آسمان در سیستم های مخابراتی ، جاسوسی و امداد رسانی کاربرد های وسیعی پیدا کرده است [۵].

۱-۳- تعریف پیل سوختی و تفاوت آن با باتری:

پیل سوختی دستگاهی است الکتروشیمیایی که انرژی شیمیایی حاصل از یک واکنش شیمیایی را به انرژی الکتریکی مفید تبدیل می کند که این تبدیل، تبدیل مستقیم انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی است.

عملکرد پیل سوختی مانند باتری نیست که انرژی را ذخیره کند، بلکه در پیل سوختی حالتی از انرژی به حالت دیگر تبدیل می شود، به طوری که در این تبدیل مواد داخل پیل مصرف نمی شوند. در واقع باتری ها وسیله ی ذخیره انرژی هستند در حالیکه پیل سوختی نوعی مبدل انرژی است که انرژی شیمیایی را از

^۱ Mond

^۲ Carl Langer

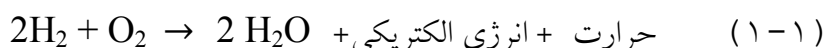
^۳ Friedrich Wilhelm Ostwald

^۴ General Motors

طریق واکنش انجام شده به انرژی الکتریکی تبدیل می کند . همچنین چگالی انرژی باتری کمتر از پیل سوختی است و فرایند شارژ نمودن باتری بسیار پیچیده است. در باتری ها پس از چندین بار شارژ شدن، توان تبدیلات الکتروشیمیایی کاهش می یابد، حال آنکه پیل های سوختی به علت مولد الکتریسته بودن چنین محدودیتی ندارد، به عنوان مثال توده^۱ پیل های سوختی کارکرده در یک خودرو قابل انتقال به خودروی دیگر است [۶].

۱-۴- اساس کار پیل سوختی

کار پیل سوختی بر اساس تزریق هیدروژن (سوخت) به آند و اکسیژن (اکسیدان) به کاتد است. هر اتم هیدروژن، یک پروتون و یک الکترون دارد که الکترون در آند به پروتون (H^+) و الکترون تبدیل می شود الکترون ها نمی توانند از الکترولیت عبور کنند و در واقع از طریق اتصال خارجی به کاتد منتقل می شوند. در کاتد الکترون ها توسط اکسیژن جذب شده و به یون اکسیژن کاهش می یابد. از طرفی یون مثبت یا منفی تولید شده از طریق نوع الکترولیت بکار رفته جابجا می شود. یون های H^+ و O^{2-} در پیل سوختی تشکیل آب می دهند که از سیستم خارج می شود. همچنین با قراردادن موتور الکتریکی در مسیر جریان الکتریکی (بین الکترودهای آند و کاتد) سیستم پیل سوختی کامل می شود. در واقع عکس واکنش تجزیه آب در پیل سوختی اتفاق می افتد [۷].



اساس کار انواع پیل های سوختی شبیه یکدیگر است. در پیل های سوختی دمای پایین، بین دو واکنش دهنده پروتون و اکسیژن حائلی قرار گرفته است. طبیعت و نوع حائل نقش اساسی در عملکرد الکتروشیمیایی پیل سوختی دارد. در چنین پیل هایی، گازهای واکنش دهنده از لایه نازک الکترولیت نفوذ می کند و واکنش الکتروشیمیایی روی سطح الکتروود مربوطه انجام می شود. اگر منافذ الکتروود توسط مقدار اضافی الکترولیت پوشانیده شود، در این صورت نقل و انتقال در فاز الکترولیت به سمت محل واکنش محدود می شود که در نتیجه عملکرد الکتروشیمیایی الکتروود کاهش می یابد. به این ترتیب لازم است موازنه ی دقیقی بین الکتروود، الکترولیت و گازها در منافذ الکتروود وجود داشته باشد.

^۱ Balk

در پیل های سوختی دمای بالا، حائل بین الکترودها، لایه ی نازک الکترولیت است. الکترولیت علاوه بر اینکه رسانای یون ها بین الکترودها است، مانعی فیزیکی برای جلوگیری از انحراف جریان سوخت و اکسیدان از مسیر اصلی می باشد [۸].

۵-۱- مزایای پیل سوختی

مزایای پیل های سوختی از لحاظ کاربردی عبارتند از:

۱. بازدهی بالا: پیل های سوختی از قوانین حاکم بر ماشین های گرمایی تبعیت نمی کنند و از این رو بازدهی آنها می تواند به سه برابر ماشین های گرمایی برسد، بر اساس نوع و طراحی پیل های سوختی، بازدهی الکتریکی آنها حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد است. بازدهی پیل های سوختی ثابت و مستقل از اندازه آنها است. وقتی که از گرمای خروجی آنها نیز استفاده شود، بازدهی تا حدود ۹۰ درصد می رسد.
۲. تنظیم سیستم بر حسب نیاز: پیل های سوختی بسیار انعطاف پذیر هستند یعنی می توان در هر لحظه یک یا چند توده پیل را به کار گرفت و یا از کار خارج کرد. توان خروجی آنها بسیار متغیر است. ارزش تمام شده توده پیل به ازای هر کیلووات برای یک نیروگاه بزرگ و یا کوچک یکسان است، چرا که بازدهی الکتریکی به طور منفرد محاسبه می شود و تعداد پیل های روی بازدهی کل کم اثر است.
۳. سازگاری با قوانین زیست محیطی: پیل های سوختی دارای بازدهی بالا هستند. مقدار اکسید های نیتروژن و گوگرد به ترتیب حدود $۱۰^{-۳} \times ۱/۸۱$ و $۱۰^{-۳} \times ۱/۳۶$ کیلو گرم بر مگاوات-ساعت می باشد. این پیل ها بی سر و صدا هستند از این رو قابل نصب در هر محلی می باشند.
۴. انعطاف پذیری نسبت به سوخت: سوخت اصلی پیل های سوختی هیدروژن است که از تجزیه آب، گاز طبیعی، ذغال سنگ، متانول و دیگر سوخت های هیدروکربنی بدست می آید که در صورت عدم دسترسی به آن نیز می توان از منابع موجود در محل، هیدروژن مورد نیاز را تامین نمود [۹].
۵. افزایش تولید و کاهش توزیع: با توجه به نیاز روز افزون به انرژی، در صورت استفاده از پیل های سوختی مشکلات توزیع و خطوط جدید انتقال انرژی که علاوه بر تلفات زیاد برق، هزینه سنگینی

نیز دارد، برطرف می شود. هم اکنون حدود ۲۰ درصد برق تولید شده بین نیروگاه و مصرف کننده ها از طریق خطوط انتقال هدر می رود که استفاده از پیل های سوختی موجب کاهش اتلاف انرژی می گردد. همچنین خطر ناشی از میدان های الکترومغناطیسی موجود در اطراف خطوط انتقال نیرو در ولتاژ بالا از بین می رود.

۶. قابلیت ترکیب با انرژی های دیگر: چنین سیستم های ترکیبی برای محل های مسکونی، تجاری و صنایع قابل استفاده هستند. در یک نمونه سیستم ترکیبی گرمای خروجی از پیل بازیافت می شود.

۷. عدم نیاز به تعمیر: بدلیل عدم وجود قطعات متحرک در پیل های سوختی، نیاز به تعمیر وجود ندارد و تنها تعویض فیلتر هوا و مواد جاذب مورد نیاز است [۱۰].

۶-۱- امتیازات ویژه پیل های سوختی جهت کاربردهای نظامی:

پیل های سوختی مزایای دیگری نیز دارند که موجب کاربرد در بخش نظامی گردیده است. این مزایا عبارتند از:

۱. کم بودن علائم راداری
۲. کم بودن علائم قابل شناسایی در میدان جنگ
۳. مطمئن بودن
۴. قابل حمل و سبک بودن
۵. چگالی انرژی بالا
۶. توان بالا
۷. افزایش امنیت انرژی الکتریکی مورد استفاده در محل
۸. تابش های گرمایی پایین [۱۱].

۷-۱- انواع پیل های سوختی:

پیل های سوختی دارای دو مشکل عمده هستند

- سرعت پایین واکنش که منجر به توان کم و جریان پایین آن ها می شود.
- هیدروژن بعنوان سوخت مورد استفاده در آن ها، چندان قابل دسترس نیست.

برای حل این مشکلات، انواع مختلف پیل های سوختی طراحی و ساخته شده اند. نوع الکترولیت تعیین کننده خواص اصلی پیل سوختی بویژه دمای عملکردی آن است. معمولاً تقسیم بندی پیل های سوختی بر حسب نوع الکترولیت آنها صورت می گیرد و به پنج گروه، به شرح زیر تقسیم بندی می گردد:

پیل های سوختی قلیایی^۱ (AFC)

پیل های سوختی اسید فسفریک^۲ (PAFC)

پیل سوختی کربنات مذاب^۳ (MCFC)

پیل سوختی الکترولیت پلیمر جامد^۴ (PEMFC)

پیل سوختی اکسید جامد^۵ (SOFC)

جدول ۱-۱ مقایسه انواع پیل های سوختی

Type	Power Density (kw/m ²)	Operating Temps (°C)	Start-up Time
SOFC	1.5-2.6	800-1000	Hrs.
MCFC	0.1-1.5	650-800	Hrs.
PAFC	0.8-1.9	160-210	Hrs.
PEMFC	3.8-6.5	50-100	Sec-min
AFC	0.7-8.1	50-200	Min

۱-۷-۱- پیل های سوختی قلیایی

در سال ۱۹۳۰ یک دانشمند انگلیسی به نام فرانسیس توماس بیکن، هیدروکسید پتاسیم (KOH) را جایگزین الکترولیت اسیدی پیل گرو نمود [۶]. هیدروکسید پتاسیم در سیستم پیل سوختی، باعث خوردگی الکتروودها نیز نمی شود. پیل های قلیایی نیازمند منابع هیدروژن و اکسیژن تحت فشار بوده و از محلول هیدروکسید پتاسیم در آب به عنوان الکترولیت در این گونه پیل ها استفاده می شود. دمای عملکرد پیل های

^۱ Alkaline Fuel Cell

^۴ polymer exchange membrane

^۲ Phosphoric Acid Fuel Cell

^۵ Solid Oxide Fuel Cell

^۳ Molten Carbonate Fuel Cell