بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیئت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای حامد اصلان نژاد پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان "ساخت مجموعه تست تک پیل سوختی اکسید جامد و بررسی عملکرد الکتروشیمیایی آن" در تاریخ ۱۳۹۰/۲/۲۰ ارائه کردند.

اعضای هیئت داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر شکل(فرم) و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد پیشنهاد می‌کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مجتبی صدر عاملی	استاد	
استاد مشاور	دکتر محمد ژیانی		
استاد ناظر	دکتر عبدالصمد زرین قلم مقدم	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر حسین غریبی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر عبدالصمد زرین قلم مقدم	دانشیار	

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته **مهندسی شیمی** است که در سال ۹۰ در دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر سید مجتبی صدرعاملی، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر محمد ژیانی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب حامد اصلان نژاد دانشجوی رشته مهندسی شیمی‌مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: حامد اصلان نژاد

تاریخ و امضا: ۹۰/۵/۲۴

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب و یا نرم افزار و یا آثار ویژه حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

.

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی شیمی

گرایش طراحی فرایند

ساخت مجموعه تست تک پیل سوختی اکسید جامد و بررسی عملکرد الکتروشیمیایی آن

نگارنده

حامد اصلان نژاد

استاد راهنمای اصلی

سید مجتبی صدرعاملی

استاد مشاور

محمد ژیانی

اردیبهشت ۱۳۹۰

این مجموعه را به دو محراب دلم

پدر و مادر عزیزم

به پاس بزرگی هایشان

تقدیم می دارم.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله لازم می‌دانم از اساتید گرانقدرم جناب آقای پروفسور صدرعاملی و جناب آقای دکتر ژیانی که در طول مراحل انجام پایان‌نامه‌ام از کمکهای بی‌دریغ ایشان بهره برده‌ام، تشکر و قدردانی نمایم. همچنین کمال تشکر و امتنان را از آقایان مهندس آرمان رئوفی و مهندس حامد محبی بخاطر در اختیار گذاشتن آموخته‌ها و تجربیات خود در این زمینه علمی دارم. از جناب آقای دکتر سورن کوچ که با تامل و دقت به سوالات علمی بنده در زمینه انجام آزمایشات پاسخ می‌گفتند، قدردانی می‌نمایم. در نهایت از پژوهشگاه نیرو و سازمان انرژی‌های نو ایران، بواسطه حمایت از این کار تحقیقاتی تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

پیل های سوختی به دلیل بازده بالا، عدم انتشار آلاینده های زیست محیطی، چگالی توان بالا، عدم وجود قطعات متحرک و عدم ایجاد ارتعاش و صدا، تجهیزات مطلوبی برای تولید انرژی از ظرفیت های بسیار کم تا نیروگاه‌های بسیار بزرگ به حساب می آیند. یکی از پرکابردترین انواع پیل‌ها برای این منظور، پیل سوختی اکسید جامد است. در این پایان نامه به‌منظور ارزیابی نحوه عملکرد پیل سوختی اکسید جامد و بررسی تاثیر متغیرهای عملیاتی موثر بر نحوه عملکرد و بازده سامانه، مجموعه آزمایش شامل واحد کنترل گازها، جمع‌کننده جریان، تشت نشتی پیل، نگه‌دارنده و سامانه اندازه‌گیری جریان و ولتاژ، طراحی و راه‌اندازی گردید.

برای انجام آزمایش‌ها، استانداردهای موجود در زمینه آزمایش‌های ریزساختاری و عملکردی مورد مطالعه قرارگرفته و یک روش پایه‌ای مناسب و منطبق با نیازهای پروژه انتخاب گردید. بعد از بررسی متغیرهای ریزساختاری پیل، همچون ساختار الکترولیت و الکترودها و میزان تخلخل آند، و بهبود ساختار پایه‌ای آن، تاثیر متغیرهایی چون دما، زمان ماند، میزان ترکیب درصد هیدروژن در خوراک، میزان تخلخل آند، نحوه اتصال الکترودها به اتصال دهنده، آببندی مجموعه پیل مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از این آزمایشات توسط خروجی سامانه که بصورت نمودارهای افت می‌باشد، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این نمودارها نحوه تغییرات ولتاژ پیل و چگالی توان در برابر تغییرات چگالی جریان نشان داده می‌شود.

نتایج حاصل نشان می‌دهد که بهینه‌سازی نحوه آببندی و اتصال الکترودها و همچنین ساختار پیل، باعث بهبود عملکرد ان می‌گردد. منحنی‌های افت برای درصدتخلخل‌های متفاوت آند و درصد هیدروژن مختلف سوخت بدست آمد. این نمودارها نشان می‌دهند که افزایش تخلخل تا ۵۰٪ و افزایش ترکیب درصد هیدروژن در چگالی جریان‌های بالا، باعث ارتقا عملکرد پیل می شود. با توجه به تاثیر زمان ماند در چگالی جریان ثابت، مشخص می‌شود که اعمال جریان ثابت بمدت چند ساعت قبل از شروع آزمایش افت، باعث بهبود نتایج می‌شود.

کلمات کلیدی: پیل سوختی اکسید جامد، چگالی جریان، چگالی توان، منحنی افت، میزان تخلخل، دما، ترکیب درصد هیدروژن، زمان ماند

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست اشکال ..... ح

فهرست جداول ..... ث

۱- مقدمه و اهداف ۱

۱- ۱ مقدمه ۲

۱-۲ انواع پیل سوختی ۵

۲- مروری بر مطالعات انجام شده ۸

۲-۱مقدمه ۹

۲-۲ ساختار پیل های سوختی اکسید جامد ۱۰

۲-۲-۱ الکترولیت ۱۲

۲-۲-۲ آند ۱۳

۲-۲-۳ کاتد ۱۴

۲- ۳ شرایط عملیاتی پیل سوختی اکسید جامد ۱۵

۲-۴ مروری بر کارهای انجام شده ۱۷

۲-۵ مروری بر مجموعه آزمایش مراکز مختلف تحقیقاتی ۲۱

۲-۵-۱ آب‌بندی و اتصال جریان ۲۵

۲-۵-۲ چسب اتصال ۲۸

۲- ۶ استانداردهای انجام آزمایش پیل سوختی ۳۰

۲-۶-۱ کمیته انجام آزمایش پیل سوختی (FCTESTnet) ۳۰

۲-۶-۲ روش انجام آزمایش مؤسسه Julich ۳۱

۲-۶-۳ گروه اجزا و مواد USFCC ۳۲

۳- مواد و روش‌ها ۳۴

۳- ۱ بررسی و شناخت روش‌های آزمایش الکتروشیمیایی پیل سوختی اکسید جامد ۳۵

۳-۱-۱ روبش‌های جریان- ولتاژ ۳۵

۳-۱-۲ مقاومت ویژه سطحی ۳۶

۳-۱-۳ اندازه‌گیری پتانسیل مدار باز ۳۷

۳-۱-۴ بررسی پایداری و عملکرد پیل در طول زمان ۳۸

۳-۲ مجموعه دستگاه انجام آزمایش ۴۰

۳-۲-۱ دستگاه آزمایش و کوره ۴۰

۳-۲-۲ نگه‌دارنده ۴۲

۳-۲-۳ جمع‌کننده جریان ۴۳

۳- ۳ آزمایشات قبل از آزمایش الکتروشیمیایی ۴۷

۳-۳-۱ مقدمه ۴۷

۳-۳-۲ آزمایش ریزساختاری ۴۷
۳-۳-۳ آزمایش نشتی الکترولیت ۵۲
۳-۴ دستورالعمل انجام آزمایش ۵۳
۳-۴-۱ مقدمه ۵۳
۳-۴-۲ سامانه آزمایش ۵۳
۳-۴-۳ انجام آزمایش ۵۴
۳-۴-۴ منحنی های عملیاتی پیل ۵۵
۳-۴-۵ میان‌یابی و گزارش دهی نتایج ۵۵
۳-۴-۶ فرایند احیا ۵۶
۳-۴-۷ منحنی افت ۵۶

۴- نتایج و بحث ۶۰
۴-۱ مقدمه ۶۱
۴-۲ آماده‌سازی پیل و آببندی مجموعه ۶۱
۴-۲-۱ آزمایش نشتی قبل از شروع احیا ۶۲
۴-۲-۲ حرارت و خوراک دهی فرایند احیا ۶۳
۴-۳ آزمایشات اولیه و بررسی متغیرها ۶۶
۴-۳-۱ آماده‌سازی سامانه ۶۶
۴-۳-۲ میزان پتانپیل مدار باز سامانه ۶۶
۴-۳-۳ نحوه احیا ۶۷
۴-۳-۴ شرایط آزمایش ۶۸
۴-۳-۵ تاثیر افزایش دما ۶۸
۴-۳-۶ بررسی میزان مقاومت سطحی ویژه ۶۹
۴-۴ آزمایش الکتروشیمیایی پیل استاندارد NEXTECH ۷۱
۴-۵ تاثیر لایه الکترولیت بر نتایج آزمایش ۷۴
۴-۶ تاثیر آببندی بر نتایج آزمایش ۷۸
۴-۷ تاثیر چگونگی اتصالات بر نتایج آزمایش ۸۳
۴-۸ تاثیر دما بر نتایج آزمایش ۸۵
۴-۹ تاثیر زمان بر داده‌های آزمایش ۸۷
۴-۱۰ تاثیر درصد هیدروژن در خوراک بر عملکرد پیل ۸۹
۴-۱۱ تاثیر تخلخل بر عملکرد پیل ۹۰

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۲
۵-۱ نتیجه‌گیری ۹۳
۵-۲ پیشنهادها برای پژوهشهای آتی ۹۵
۶- مراجع ۹۶
۷.پیوست ۹۹

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ مقایسه آلودگی پیل‌سوختی با نیروگاههای معمولی، چرخه ترکیبی و میکروتوربین ۴
شکل۱-۲ مقایسه بازدهی منابع تولید برق با توجه به توان خروجی ۵
شکل۱-۳ تاثیر انتخاب نوع پایه بر روی دمای عملکردی پیل ۱۰
شکل ۱-۴ نمایی از پیل سوختی اکسید جامد..... ۱۱
شکل ۱-۵ نمای مرز سه فازی ۱۲
شکل ۲-۱ نمایی از نگه‌دارنده مجموعه آزمایش موسسه تحقیقاتی ریزو..... ۲۱
شکل ۲-۲ جزئیات مجموعه آزمایش موسسه تحقیقاتی ریزو..... ۲۲
شکل ۲-۳ نگه‌دارنده مورد استفاده موسسه تحقیقاتی ریزو..... ۲۲
شکل ۲-۴ مجموعه آزمایش‌گیری کدکس فرانسه ۲۳
شکل ۲-۵ نمایی از مجموعه آزمایش دانشگاه اوتا ۲۴
شکل ۲-۶ نمای مجموعه آزمایش دانشگاه واترلو ۲۴
شکل ۲-۷ نمایی از نحوه اتصال جمع‌کننده‌های جریان ۲۷
شکل ۲-۸ نمونه‌ای از مجموعه اندازه‌گیری و آزمایش پیل ۲۸
شکل ۳-۱ دستگاه آزمایش الکتروشیمیایی پیل سوختی ۴۱
شکل ۳-۲ سامانه کوره برای آزمایش پیل سوختی و نگه‌دارنده..... ۴۲
شکل ۳-۳ نمای نگه‌دارنده و جمع‌کننده‌های جریان..... ۴۴
شکل۳ -۴ نمونه‌ای از طرز قرار گرفتن مش و آب‌بندی با چسب سرامیکی..... ۴۴
شکل۱۳-۵ نمونه‌ای از اتصال مش و سیم در سمت راست و طرز قرارگیری مش و اتصالات روی پیل در سمت چپ..... ۴۵

شکل ۱۳-۶ نمونه‌هایی ازتصاویر گرفته شده با میکروسکوپ استریو.الف)الکترولیت و کاتد ب)سطح آند قبل از آزمایش ج)وجود ترک روی الکترولیت د)الکترولیت با سطح مناسب..... ۴۶
شکل ۱۳- ۷نمونه‌هایی از به‌وجود آمدن ترک درپیل ۴۷
شکل ۱۳-۸ الف)تصویر آب‌بندی شیشه‌ای ب) جداشدن الکترولیت بعد از انجام آزمایش..... ۴۸
شکل ۳-۹ نمونه‌ای از تصویر SEM پیل سوختی اکسید جامد..... ۵۱
شکل ۴-۱ ورق میکایی مورد استفاده به عنوان واشر..... ۶۲
شکل ۴-۲ نمودار حرارتی و خوراک دهی مجموعه..... ۶۳
شکل ۴-۳ مجموعه پیل و ترموکوپل روی سطح پیل..... ۶۵
شکل ۴-۴ نمودار تفاوت دمایی داخل کوره و سطح الکترود..... ۶۵
شکل ۴-۵ نمودار ولتاژ مدار باز مربوط به آزمایشات اولیه..... ۶۷
شکل ۴-۶ منحنی I-V-P مربوط به آزمایشات اولیه در دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد..... ۶۸
شکل ۴-۷ منحنی I-V-P مربوط به آزمایشات اولیه در دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد..... ۶۹
شکل ۴-۸ مقایسه نتایج آزمایشات اولیه با نتایج گروه تحقیقاتی Starck..... ۷۰
شکل ۴-۹ مشخصات پیل استاندارد NEXTECH..... ۷۱
شکل ۴-۱۱ منحنی ولتاژ مدار باز آزمایش با پیل NEXTECH..... ۷۲
شکل ۴-۱۲ نمودار I-V-P آزمایش پیل استاندارد و مقایسه آن با نمودارهای قبلی..... ۷۲
شکل ۴-۱۳ تصویر SEM مربوط به پیل استانداردبعد از آزمایش..... ۷۳
شکل ۴-۱۴ منحنی ولتاژ مدار باز مربوط به آزمایش تاثیر لایه الکترولیت..... ۷۴
شکل ۴-۱۵ منحنی I-V-P مربوط به آزمایش تاثیر لایه الکترولیت..... ۷۵
شکل ۴-۱۶ تصویر میکروسکوپی پیل مربوط به آزمایش تاثیر لایه الکترولیت قبل و بعد از آزمایش...۷۷
شکل ۴-۱۷ پیل با الکترولیت بهبودیافته و متراکم مربوط به آزمایش تاثیر لایه الکترولیت..... ۷۷
شکل ۴-۲۰واشر میکایی اشباع شده با اسید بوریک، سمت راست قبل وسمت چپ بعد از پرس. ۷۸
شکل ۴-۲۱ نوار شیشه‌ای ساخته شده با روش ریخته گری نواری..... ۷۹
شکل ۴-۲۴ نمودار ولتاژ مدار باز با آببندی فقط نوار شیشه‌ای..... ۸۰

شکل ۴-۲۵نمودار ولتاژ برحسب زمان با آببندی خمیر شیشه..... ۸۱
شکل ۴-۲۶تصویری از میکروسکوپ استریو مربوط به آببندی شیشه‌ای مورد استفاده (سمت راست خمیر شیشه‌ای و سمت چپ نوار شیشه‌ای) ۸۲
شکل ۴-۲۷ تصویر بعد از آزمایش در صورت استفاده از خمیر شیشه‌ای..... ۸۲
شکل ۴-۲۸ صفحات نقره ای مسطح بعنوان جمع‌کننده جریان..... ۸۳
شکل ۴-۲۹منحنی V-I-P مربوط به آزمایش با اتصالات بهبود یافته در دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد ۸۴
شکل ۴-۳۰ تاثیر دما بروی عملکرد پیل..... ۸۵
شکل ۴-۳۱ نمودار ولتاژ- زمان و افزایش ولتاژ مدار باز بعد از انجام آزمایش..... ۸۷
شکل ۴-۳۲ افزایش ولتاژ مدار باز بعد از انجام آزمایش..... ۸۸
شکل ۴-۳۳ تاثیر درصد هیدروژن بر عملکرد پیل..... ۸۹
شکل ۴-۳۴ تاثیر میزان تخلخل اند بر عملکرد پیل..... ۹۰

فهرست جداول

جدول ۱-۱ مقایسه روشهای مختلف تولید برق ۳
جدول ۱-۲ مقایسه پیل سوختی اکسید جامد صفحه‌ای و لوله‌ای ۷
جدول ۲-۱ مروری بر منابع در زمینه کاربردهای CHP پیل سوختی اکسید جامد.....۱۷
جدول ۲-۲ مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه آزمایش پیل سوختی اکسید جامد ۱۸
جدول ۲- ۳ انواع جمع‌کننده جریان مورد استفاده در آزمایشگاههای مختلف.....۲۶
جدول ۱-۱ مقایسه نتایج عملکردی پیل ساخته شده با گروه‌های تحقیقاتی دیگر.....۸۷

فصل اول

مقدمه و اهداف

۱-۱ مقدمه

تقاضای فزاینده انرژی و کاهش منابع آن در کل جهان به‌دلیل رشد صنعتی و بالا رفتن استانداردهای زندگی، نیاز به استفاده پربازده از منابع فعلی و جستجو در مورد فناوریهای نوین جایگزین را ضروری ساخته است . بعلاوه افزایش نگرانیها در مورد محیط زیست مانند تاثیر گازهای گلخانهای، اسیدی شدن مناطق و تغییرات جوی محققان را ملزم به انجام تحقیقات درباره راههای پاکتر و پربازده‌تر برای تولید انرژی نموده است .خصوصیاتی که از فناوریهای تبدیل انرژی جایگزین انتظار میرود شامل بالابودن بازده تبدیل، سازگاری با محیط زیست و استفاده از منابع انرژی‌های تجدید پذیر می‌باشد.

یکی از فناوری های تبدیل انرژی که خصوصیات فوق را دارا می‌باشد، " پیل سوختی" نام دارد که ویلیام رابرت گرو[1]، دانشمند انگلیسی ، در سال ۱۸۳۹ با ترکیب اکسیژن و هیدروژن در حضور دو الکترود توانست جریان الکتریسیته تولیدکند که بدین ترتیب اولین پیل سوختی ابداع شد. پیل سوختی یک مبدل الکتروشیمیایی است که انرژی شیمیایی واکنش دهنده ها را بطور مستقیم بدون عبور از مرحله احتراق به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. [۱] این تکنولوژی که هر روز جایگاهی برجسته تر و اهمیتی بیشتر را به خود اختصاص می دهد، دارای بازدهی بالا با حداقل ممکن آلودگی است .

چنانچه از هیدروژن به عنوان سوخت استفاده گردد، محصولات آن تنها آب و گرما خواهد بود که هیچگونه آلودگی برای محیط زیست ندارد. بازدهی این پیل ها به بیش از سه برابر موتورهای احتراق داخلی می رسد، بدون صدا بوده و امکان انتقال آن از یک خودرو به خودرو دیگر وجود دارد. موارد کاربرد آن نیز گسترده بوده و با تو جه به توان تولیدی آن که از چند وات تا چند مگاوات است، میتواند از مولد انرژی گوشی تلفن همراه تا مولد توان نیروگاهها را پوشش دهد. [۲]

جدول ۱-۱ نیز مقایسه‌ای از وضعیت استفاده از پیل سوختی در مقایسه با سایر تکنولوژیهای تولید الکتریسیته ارائه می‌دهد. در شکل ۱-۱ نیز مقایسه‌ای از منابع تولید نیرو از لحاظ بازدهی و مقیاس تولید نیرو ارائه می‌کند.

[1] W.R.Grove

جدول ۱-۱ مقایسه روشهای مختلف تولید برق [۳]

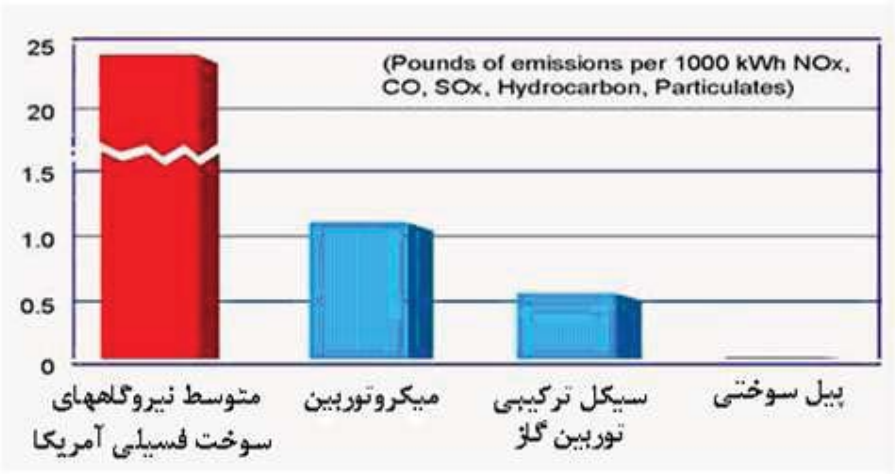
	موتور رفت و برگشتی دیزلی	توربین	فوتو ولتائیک	توربین بادی	پیل سوختی
ظرفیت	۵MW-۵۰۰kW	۲۵MW-۵۰۰kW	۱MW-۱kW	۱MW-۱۰kW	۲MW-۲۰۰kW
بازده	٪۳۵	٪۲۹-۴۲	٪۶-۱۹	٪۲۵	٪ ۴۰-۶۰
سرمایه‌گذاری اولیه	۲۰۰-۳۵۰	۴۵۰-۸۷۰	۶۶۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰-۳۰۰۰
هزینه کارکرد و نگهداری	۰.۰۰۵-۰.۰۱۵	۰.۰۰۵-۰.۰۰۶۵	۰.۰۰۱-۰.۰۰۴	۰.۰۱	۰.۰۰۱۹-۰.۰۱۵۳

در میان انواع پیل های سوختی، پیل سوختی اکسید جامد به دلیل دمای بالای کاری، امکان استفاده از کاتالیستهای ارزان قیمت‌تر را فراهم نموده و همچنین جامد بودن اجزا که مشکلات لکترولیتهای سیال را مرتفع می‌کند، مورد توجه قرار گرفته‌است. علاوه بر اینکه پیل سوختی اکسید جامد قابلیت استفاده از گازهای مختلف نظیر گازهای هیدروکربنی و منواکسید کربن به عنوان سوخت را دارا است و همچنین قابلیت تولید انرژی در محدوده وسیعی می‌باشد. نوع اکسید جامد[1](SOFC) به جهت عملکرد در دمای بالاو داشتن ساختار جامد قابلیت استفاده از انواع مختلف سوختهای بر پایه هیدروژن را دارا می‌باشد. این نوع از پیل سوختی در دو نوع لوله‌ای و صفحه‌ای توسعه داده شده است. نوع صفحه‌ای از لحاظ هزینه تولید و خواص مکانیکی و میزان توان تولیدی برتری دارد.

پیل سوختی اکسید جامد نوع صفحه‌ای به دو نوع الکترود پایه و الکترولیت پایه تقسیم بندی می‌شود که در نوع الکترود پایه، الکترولیت نازکترین لایه بوده و دو الکترود بر روی آن نشانده می‌شوند. این نوع از پیل سوختی صفحه‌ای به جهت داشتن کمترین میزان مقاومت اهمی و ساختار مناسب برای انجام واکنشهای مربوطه در دمای پایین، مورد توجه می‌باشد. از این میان، نوع آند پایه با الکترولیت نازک که برای اولین بار توسط Forschungs zentrum Julich آلمان معرفی گردید، به جهت مقاومت کاتدی کمتر در جایگاه بهتری قرار دارد. سوخت‌های مورد استفاده این نوع پیل سوختی عبارتند از هیدروژن، گاز طبیعی، بیوگاز، اتانول و گاز سنتز حاصل از گازی‌سازی[2]. نسبت به انواع دیگر پیل سوختی، نوع اکسید جامد عملکرد بهتری در برابر ناخالصی‌های سوخت نظیر مونوکسید کربن دارد.برای مثال سوخت حاصل از زغال‌سنگ که حاوی CO,CO_2,H_2O و N_2 می‌باشد، قابلیت استفاده بعنوان ورودی سوخت پیل سوختی اکسید جامد را داراست. [۳]

[1] Solid Oxide Fuel Cell
[2] Gasification

در شکل ۱-۱ میزان آلودگی تولید شده توسط پیل سوختی در مقایسه با انواع نیروگاه‌های فسیلی موجود به ازای ۱۰۰۰ کیلووات ساعت توان تولیدی آورده شده است . همانطور که مشاهده می شود پیل سوختی یک انتخاب کاملاً سازگار با محیط زیست است.



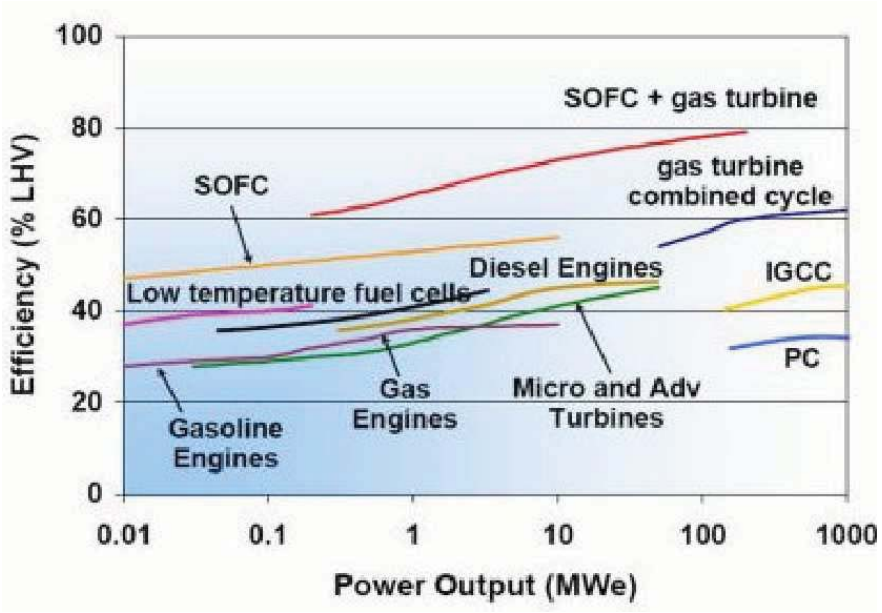
شکل ۱-۱ مقایسه آلودگی پیل‌سوختی با نیروگاههای معمولی، چرخه ترکیبی و میکروتوربین [۳]

در این فصل ،انواع پیل های سوختی، خصوصیات، مزایا و معایب آنها برای کاربردهای مختلف مورد بررسی قرار میگیرد. ساختار این پیل ها تشریح میگردد .اجزاء تشکیل دهنده آنها شرح داده شده و نحوه عملکرد این پیل ها ارائه میشود. در فصل دوم مروری مختصر بر کارهای انجام شده توسط سایر محققان و همچنین استانداردهای موجود در زمینه آزمایش پیل سوختی اکسید جامد ارائه خواهد شد . در فصل سوم جزئیات مجموعه آزمایش و آزمایشات انجام شده برای بررسی متغیرهای مورد نظر و منحنی‌های افت حاصله ارائه شده است. در فصل چهارم نتایج بدست آمده مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و در فصل پنجم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری انجام شده و سپس پیشنهاداتی برای ادامه کارارائه میشود.

۱-۲ انواع پیل سوختی

توسعه، شناخت و گسترش دانش در زمینه پیل سوختی می‌تواند سهم بسیار مهمی در تامین انرژی بدون آلایندگی و با بازده بالا داشته باشد. انواع مختلفی از پیل های سوختی موجود است که با توجه به نوع الکترولیت و ساختار آن، دماهای عملیاتی مختلف و ویژگی‌های عملکردی مخصوص بخود را دارا می‌باشند. در جدول ۱-۲ خلاصه ای از ویژگیهای برجسته انواع مختلف پیل سوختی ارائه شده است. اما دو نوع از آنها که توجه بیشتری را در میان دولتها، صنایع و مجامع علمی به خود جلب کرده‌اند نوع غشاء تبادل پروتونی[1] و نوع اکسید جامد[2] است .

پیل های اکسید جامد به دلیل کار در دمای بالا غالباً در ایستگاههای تولید برق و نیز در ماشینهای سنگین مورد استفاده قرار میگیرند. این پیل ها علاوه بر خصوصیات ذکر شده مشخصات منحصر بفردی نسبت به سایر پیل ها دارند که آنها را برای کاربردهای تولید توان در هر دو نوع واحد نیروگاههای اصلی بزرگ و نیز واحدهای غیرمتمرکز مفید و به صرفه ساخته است [۳]، که از آن جمله میتوان حفظ رسانایی بالای یون اکسید، فعالیت سینتیکی بالا حتی بدون کاتالیست، بهره‌گیری از مسموم کننده مونواکسید کربن به عنوان سوخت و استفاده از گرمای خروجی جهت گرمایش هوا و سوخت ورودی را نام برد.



۱-۲ مقایسه بازدهی منابع تولید برق با توجه به توان خروجی [۳]

[1] PEMFC
[2] Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)

جدول ۱-۲ ویژگیهای ساختاری و عملیاتی انواع مختلف پیل سوختی [۳]

متغیرها	انواع پیل سوختی					
	اکسید جامد	غشای تبادل یونی	متانولی	اسید فسفریک	آلکالاین	کربنات مذاب
دمای عملیاتی c^0	۸۰۰-۱۰۰۰	۵۰-۱۰۰	۶۰-۲۰۰	۲۰۰	۵۰-۲۰۰	۶۵۰
سوخت	و سایر $H_2.CO,CH_4$ هیدروکربنها	H_2	CH_3OH	H_2	H_2	و سایر $H_2.CO,CH_4$ هیدروکربنها
بازدهی	٪۵۰<	٪۴۰-۵۰	٪۴۰	٪۴۰	٪۵۰	٪۵۰<
ولتاژ پیل	۰.۸-۱	۱.۱	۰.۲-۰.۴	۱.۱	۱	۰.۷-۱
چگالی توان	۰.۱-۱.۵	۳.۸-۶.۵	۰.۶	۰.۸-۱.۹	۱	۱.۵-۲.۶
هزینه نصب($/Kw)	۳۰۰۰	۱۵۰۰>	-	۲۱۰۰	۱۸۰۰	۳۰۰۰-۲۰۰۰
ظرفیت	۱KW-۱.۷MW	۳۰W- ۲۵۰kW	۱W-۱MW	۱۰۰kw- ۱.۳MW	۱۰-۱۰۰kW	۱۵۵kW-۳MW
الکترولیت	YSZ	نفیون	غشای پلیمری جامد	اسید فسفریک	KOH	کربنات لیتیم و پتاسیم
نیاز به ریفورمر	-	بلی	-	بلی	بلی	-
بازیابی حرارتی	بلی	-	خیر	بلی	-	بلی
مزایا	الکترولیت جامد، بازدهی بالا	چگالی توان بالا، شروع بکار سریع، الکترولیت جامد	عدم نیاز به ریفورمر	کاراکترهای الکترولیت ثابت	چگالی توان بالا، شروع بکار سریع	بازده بالا، عدم نیاز به کاتالیست فلزی
معایب	هزینه بالا، شروع بکار زمانبر	کاتالیست پلاتینیوم گران،حساس به ناخالصی‌ها	چگالی توان و بازده کم	الکترولیت خورنده،حساس به ناخالصی خوراک	کاتالیست پلاتینیوم گران،حساس به ناخالصی‌ها	هزینه بالا،شروع بکار زمانبر،الکترولیت مایع خورنده
مصارف	مسکونی،بازیابهای حرارتی صنعتی،حمل‌ونقل	مسکونی،برق اضطراری بیمارستان،بانک،حمل‌ونقل	تامین نیرو موبایل،لپ‌تاپ	تولید نیرو قابل حمل، حمل‌ونقل،بازیاب حرارتی صنعتی	حمل‌ونقل، ایستگاه‌های فضایی،تولین نیرو قابل حمل	حمل‌ونقل، صنعت،واحدهای تولید نیرو