

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مبانی پیل سوختی

نویسندگان:

Ryan O'Hayer
Sul-won Cha
Whitney Colella
Fritz D. Prinz

ترجمہ:

دکتر سہراب فتحی

عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی کرمانشاه

دکتر قاسم بھلکہ

عضو هیأت علمی دانشگاه گلستان

عنوان و نام پدید آور : مبانی پیل سوختی / انویسندگان رایان اوهایر... [او دیگران] :

مترجمین سهراب فتحی، قاسم بهلکه.

شخصیات نشر : تهران: کتاب پدیده، ۱۳۹۲.

شخصیات ظاهری : ۳۲۶ ص: مصور (رنگی) ، جدول (رنگی).

شابک : 978-600-5464-55-9

وضعیت فهرست نویسی : فیبا

ادداشت : [انویسندگان رایان اوهایر ، سوک ونجا، ویتنی کولا ، فریتزی پرنیز]

ادداشت : عنوان اصلی: Fuel cell fundamentals

موضوع : پیل های سوختی

مناسه افزوده : اوهایر، رایان بی.

مناسه افزوده : O'Hayre, Ryan

مناسه افزوده : فتحی، سهراب، ۱۳۵۸ - مترجم

مناسه افزوده : بهلکه، قاسم، مترجم

ده بندی کنگره : ۶۲۱/۶۲۹-۶۲۹

ده بندی دیویی : ۶۲۱/۶۲۹-۶۲۹

سماره کتابشناسی ملی : ۳۲۶۹۲۶۸

نشر : کتاب پدیده

تهران - میدان انقلاب - خیابان انقلاب - خیابان منیری جاوید (اردیبهشت)

پلاک ۱۹ - پنه دوم

تلفن : ۶۶۴۱۴۸۶۰ - ۶۶۱۴۸۶۱

عنوان: مبانی پیل سوختی

تالیف و گردآوری: دکتر سهراب فتحی - دکتر قاسم بهلکه

ناشر: انتشارات کتاب پدیده

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۴۶۴-۵۵-۹

نوبت چاپ: چاپ اول / ۱۳۹۵ ■ تیراژ: ۲۰۰۰ نسخه ■ حروفچینی: زیتون / ۶۶۱۳۳۸۸۸

لیتوگرافی: باختر / ۶۶۹۵۴۱۴۳ ■ چاپ: فرشویه / ۶۶۹۵۸۱۹۲ ■ صحافی: جوان / ۵۵۸۳۴۲۰۰

قیمت: ۲۵۰۰۰۰ ریال

نشر بخش:

ان - انتشارات دانشگاهی کیان تلفن: ۶۶۴۱۱۷۱۵ - ۶۶۴۰۶۸۳۴

شیراز کتابفروشی جمالی: ۷۱۱ - ۲۳۱۸۳۸۸

شیراز شهر کتاب: ۷۱۱ - ۲۳۱۹۲۳۴

اصفهان کتابفروشی مهرگان: ۳۱۱ - ۲۲۱۳۷۵۱

تهران انتشارات آرمیکه هنر: ۹ - ۲۲۱۹۹۷۸ - ۳۱۱

پیشگفتار نویسندگان

یک ماشین پیل سوختی را تصور نمایید که از اگزوز آن تنها آب خالص بیرون می‌آید. یک دستگاه لپ تاپ را تصور کنید که تنها با یک بار شارژ کردن به مدت سی ساعت کار می‌کند. همچنین دنیایی را تصور نمایید که در آن بتوان انرژی خانه خود را با اتومبیل بدست آورده و خطوط برق مستقل از فاصله باشند. این رویاها انگیزه‌های برای تحقیقات امروزی پیل‌های سوختی می‌باشند. اگر چه به واقعیت پیوستن بعضی رویاها (مانند تأمین برق خانه با اتومبیل پیل سوختی، ممد است) در از ذهن باشد، لیکن دیگر رویاها (مانند لپ تابی با سی ساعت دوام باتری که با نیروی برق پیل سوختی کار می‌کند) ممکن است نزدیکتر از آنچه می‌اندیشید، تحقق یابند.

با بردن پیل‌های سوختی از دنیای رویایی به دنیای واقعی، در این کتاب علم فناوری پیل‌های سوختی آموزش داده می‌شود. این کتاب به سؤال‌هایی از قبیل "چگونه" و "چرا" متمرکز می‌شود. در این کتاب توضیح‌های ساده مانند اینکه چگونه پیل‌های سوختی کار می‌کنند، چرا آن‌ها بازدهی بالا دارند و چگونه می‌توان مزیت‌های بی‌نظیر آن‌ها را بهتر بکار برد ارائه می‌شود. همچنین بر اصول بیادین علمی حاکم بر عملکرد پیل سوختی تأکید می‌شود که قطع نظر از نوع یا فناوری پیل سوختی این اصول ثابت بوده و برای همه پیل‌های سوختی قابل کاربرد می‌باشند.

به دنبال این شگرد، قسمت اول کتاب، اصول پیل‌های سوختی، به زیربنای پیل‌های سوختی اختصاص می‌یابد. نمودارها، مثال‌ها، متن‌های جعبه‌ای و سؤالات تکلیفی همگی به منظور ایجاد یک شناخت حسی از پیل‌های سوختی طراحی شده‌اند. البته بدون بحثی هر چند مختصر از جنبه‌های کاربردی تکنولوژی پیل سوختی، هیچ توصیفی از پیل سوختی کامل نخواهد بود که این مباحث در بخش دوم کتاب بررسی گردیده و مورد بررسی قرار می‌گیرند.

شواهد زیادی وجود دارد که منابع اصلی انرژی مانند نفت، گاز و زغال سنگ محدود بوده و قادر به تأمین تقاضای انرژی جهانی نمی‌باشند. مصرف کلی سوخت با رشد بیش از ۳ درصد در حال افزایش می‌باشد. برآوردها نشان می‌دهد که با این میزان افزایش تقاضا، مصرف سوخت در سال ۲۰۲۰ به حدود ۱۶ میلیون تن در روز خواهد رسید. بنابراین لزوم بکارگیری روش‌های نوین برای تأمین تقاضای روزافزون انرژی نمایان می‌گردد. از این رو، توسعه روش‌های جدید متعددی برای جایگزین کردن منابع فعلی انرژی مورد نظر محققان قرار گرفته و در حال جستجو برای پیدا کردن راه‌حلی برای این موضوع می‌باشند.

پیل‌های سوختی فناوری جدیدی در تولید انرژی الکتریکی می‌باشند که برخلاف موتورهای احتراق داخلی (درون‌سوز) که در آنها انرژی شیمیایی ابتدای سوخت گرمایی سپس به انرژی مکانیکی و نهایتاً انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، انرژی شیمیایی یک سوخت (مانند هیدروژن، گاز طبیعی، بنزین، اتان و غیره) را از ترکیب مستقیم آن با یک اکسیدکننده (مثلاً هوا یا اکسیژن) به انرژی الکتریکی با بازدهی بالا تبدیل می‌کنند. این تولید مستقیم الکتریسیته بدون محدودیت ترمودینامیکی رانده کارنو اتلاف انرژی را به حداقل ممکن رسانده و بازدهٔ تئوری بالا را حاصل می‌کند. الکتریسیتهٔ تولیدی از پیل‌های سوختی جریان مستقیم (DC) است. بنابراین برای مصرف کننده‌های جریان متناوب از مبدل‌های DC به AC استفاده می‌کنند. در شکل زیر فرآیند تولید انرژی الکتریسیته به کمک تکنولوژی‌های موتورهای درون‌سوز و پیل‌های سوختی مقایسه شده است.

تقریباً تمام تکنولوژی‌ها دارای اثرات جانبی و مخرب بر محیط زیست می‌باشند. اما تکنولوژی و موتور پیل سوختی ضمن برخورداری از بازده و کارایی بالا در تولید انرژی الکتریسیته، از این حیث در مقایسه با مبدل‌های انرژی، اثرات زیست محیطی بسیار ناچیزی دارد. بطور کلی، مزایای پیل‌های سوختی عبارتند از:

- پیل‌های سوختی راندمان بالاتری نسبت به سوخت‌های فسیلی نظیر نفت و بنزین دارند (بازدهی حدود ۳۰٪ تا ۵۵٪ را از خود نشان می‌دهند که در مقایسه با بازده کمتر از ۱۷ درصدی خودروهای متعارف داخلی افزایش بیش از صد درصد راندمان به کمک این فناوری را نشان می‌دهد).

- پیل‌های سوختی آلودگی ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی را حذف نموده و تنها محصول جانبی آنها آب می‌باشد.

- مصرف سوخت در پیل‌های سوختی نسبت به موتورهای درون‌سوز کم بوده و از منابع تجدید پذیر جهت تولید سوخت آنها می‌توان بهره گرفت.

- در صورتی که هیدروژن مصرفی حاصل از الکترولیز آب باشد، نشر گازهای گلخانه‌ای به صفر می‌رسد.

- بدلیل عدم وابستگی به سوخت‌های فسیلی متداول نظیر بنزین و نفت، وابستگی کشورهای ناپایدار اقتصادی را از بین می‌برد.

- اکثر پیل‌های سوختی در مقایسه با موتورهای متداول بسیار بی‌صدا هستند.
- انتقال گرما از پیل‌های دما پایین بسیار کم می‌باشد، لذا برای کاربردهای نظامی مناسب می‌باشند.
- زمان عملکرد پیل‌های سوختی از باتری‌های متداول بسیار طولانی‌تر است. بعنوان مثال با دو برابر نمودن سوخت مصرفی می‌توان زمان عملکرد را دو برابر کرد و نیازی به دو برابر کردن خود پیل نمی‌باشد.

- سوخت‌گیری مجدد پیل‌های سوختی به راحتی امکان پذیر می‌باشد.
- به علت عدم وجود اجزای متحرک، تعمیرات آنها بسیار ساده می‌باشد.
- نصب و بهره‌برداری از پیل‌های سوختی بسیار ساده و مقرون به صرفه می‌باشد.
- توان تولیدی از پیل‌های سوختی بر راحتی آنها افزایش می‌باشد.
- این مولدها قابلیت تولید همزمان برق و حرارت را دارند.
- پیل‌های سوختی امکان تولید برق مستقیم با کیفیت بالا را دارند.
- پیل‌های سوختی طول عمر بالایی دارند.

البته در کنار مزیت‌هایی که پیل‌های سوختی از خود نشان می‌دهند از یکسری معایب جزئی نیز برخوردارند که از آن جمله می‌توان به دو مورد زیر اشاره کرد:

- در زمان عملکرد طولانی ممکن است تولید گرما، موجب بروز مشکلاتی چون افت انرژی در آنها گردد.

- استفاده از سوخت‌های ناخالص، ممکن است موجب مسمومیت پیل گردد.

از زمینه‌های مختلف کاربرد پیل‌های سوختی می‌توان موارد زیر را بیان کرد:

۱- حمل و نقل (خودروهای سواری و وسایط نقلیه عمومی)

شاید بتوان گفت که یکی از مهمترین کاربردهای پیل‌های سوختی در مقیاس صنعتی زمینه حمل و نقل است که از ویژگی کاهش قابل ملاحظه و یا تقریباً حذف آلودگی‌های ناشی از مصرف سوخت بهره می‌گیرد. اتومبیل‌هایی که امروزه با استفاده از فناوری پیل سوختی توسط کمپانی‌های مختلف در دنیا به بازار عرضه شده‌اند به اتومبیل‌های هیدروژنی معروف می‌باشند. بعنوان مثال شرکت بلارد چند

مونه اتوبوس هیدروژنی از سال ۲۰۰۷ در ویسلر کانادا مورد استفاده قرار داده است. اولین مدل تجاری خودرو پیل سوختی توسط شرکت خودروسازی هیوندای در سال ۲۰۱۵ به بازار عرضه شده است. مطابق اعلام، سایر شرکت‌های عمده خودروسازی نیز نخستین مدل‌های خودرو هیدروژنی خود را در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ به بازار عرضه خواهند کرد.

۲- نیروگاه‌ها (نیروگاه‌های متمرکز و غیرمتمرکز اعم از خانگی، تجاری، صنعتی)

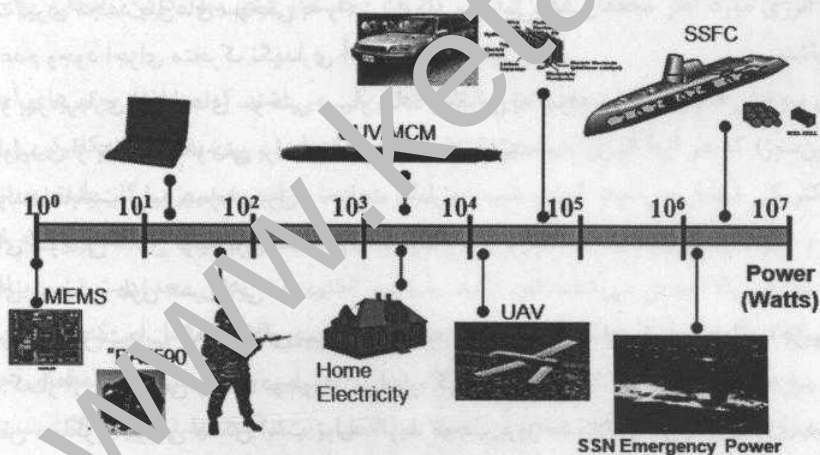
پیل‌های سوختی به دلیل آرام و بی‌صدا بودن برای تولید برق محله‌ای گزینه خوبی محسوب می‌شوند. علاوه بر این، بدلیل کاهش نیاز به گسترش شبکه توزیع برق، از گرمای تولیدی از این نیروگاه‌ها می‌توان برای گرمایش و تولید بخار آب استفاده نمود.

۳- وسایل الکترونیکی قابل حمل نظیر تلفن‌های همراه، رایانه‌های شخصی و غیره

۴- صنایع نظامی

پیل‌های سوختی، با پایین در تانک‌ها و خودروهای نظامی استفاده می‌شوند. نبود قطعات متحرک در این نوع پیل‌های سوختی باعث کاهش صدا شده و به دلیل کارکرد در حرارت پایین ردیابی آنها مشکل‌تر از خودروهایی با موتور بن‌ساز می‌باشد.

در شکل ۱ زمینه‌های متنوع استفاده از پیل‌های سوختی بطور شماتیک ارایه شده است.



شکل ۱: کاربردهای متنوع پیل‌های سوختی

بکارگیری پیل‌های سوختی برای تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز در زمینه‌های مختلف (اعم از مینی مانند حمل و نقل و سیکل‌های ترکیبی در نیروگاه‌ها، مناطق دور از شبکه‌های سراسری انتقال و توزیع برق، کاربردهای آبی مانند زیردریایی‌ها، مقاصد هوا - فضا نظیر ایستگاه‌های ماهواره‌ای و خابراتی و غیره) روز بروز در حال افزایش است تا بتوان از طریق پیل‌های سوختی انرژی مورد نیاز را به صورت پیوسته و پایدار تامین نمود. این امر موجب گردیده است تا در سراسر جهان روی توسعه انش فنی و تکنولوژی ساخت پیل‌های سوختی سرمایه‌گذاری‌های بزرگی صورت گیرد. امروزه

تحقیقات وسیعی در جهت ارتقاء ظرفیت، کاهش هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری و توسعه ویژگی‌های کاربردی پیل‌های سوختی در حال انجام می‌باشد. وزارت انرژی آمریکا (DOE) در گزارشی از بازار فناوری‌های پیل‌سوختی در سال ۲۰۱۳ اعلام کرده است که در این سال میزان فروش صنعت پیل‌سوختی در سطح جهان برای اولین بار از مرز یک میلیارد دلار گذشت و به ۱/۳ میلیارد دلار رسید. حجم مبادلات سامانه‌های پیل‌سوختی در سال ۲۰۱۳ بیش از ۳۵ هزار واحد بوده که نشان دهنده افزایش ۲۶ درصدی تبادل این واحدها نسبت به سال ۲۰۱۲ و ۴۰۰ درصدی نسبت به سال ۲۰۰۸ می‌باشد. به نقل از وزارت انرژی آمریکا در این مدت صنعت پیل‌سوختی پیشرفت قابل توجهی نیز در بخش حمل‌ونقل سبک داشته است که در این میان خودروسازان بیش از همه فعال بوده‌اند که به ترتیب جنرال موتورز، تویوتا، سامسونگ و هوندا در جایگاه‌های اول تا چهارم این رتبه‌بندی قرار می‌گیرند.

مطابق گزارش وزارت انرژی آمریکا و آزمایشگاه ملی انرژی‌های نوین (NREL) این کشور هزینه‌های تولید الکتریسیته، بکارگیری روش‌های مختلف بستگی به عواملی مانند قیمت سوخت، هزینه تعمیر و نگهداری، سرمایه‌گذاری اولیه، ظرفیت واحد و غیره دارد. بر این اساس هزینه تولید الکتریسیته بر مبنای داده‌های سال ۲۰۱۴ در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مقایسه هزینه تولید الکتریسیته از روش‌های مختلف	
نوع طرح	هزینه (\$/MWh)
بادی ساحلی	۴۰-۸۰
بادی فراساحلی	۱۰۰-۲۰۰
سلول‌های خورشیدی (PV)	۶۰-۲۵۰
زمین گرمایی	۵۰-۱
برق آبی	۳۰-۱۰۰
زیستی	۹۰-۱۱۰
پیل سوختی	۱۰۰-۱۶۰
نیروگاه سیکل ترکیبی گازی	۵۰-۸۰
نیروگاه گازی	۱۴۰-۲۰۰
نیروگاه هسته‌ای	۹۰-۱۳۰

در زمینه پژوهش پیل‌های سوختی، در سال‌های اخیر حجم عظیمی از مقالات علمی در کنفرانس‌ها و مجلات معتبر بین‌المللی توسط محققین کشورهای مختلف دنیا بویژه کشورهای پیشرفته نظیر ایالات متحده آمریکا، آلمان، ژاپن، کانادا، انگلیس و کره جنوبی به چاپ رسیده است که این خود به

جو بازی تمرکز کشورها برای توسعه هر چه بیشتر دانش پیل‌های سوختی، کاربردی کردن و تجاری‌سازی این تکنولوژی را نشان می‌دهد.

در کشورمان ایران نیز این تکنولوژی بعنوان یکی از تکنولوژی‌ها و منابع چهارگانه انرژی نو و پاک مورد توجه قرار گرفته و همواره مورد تاکید سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) بوده است. بنابراین توسعه و استفاده از این تکنولوژی یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. در کشور ما توجه به این موضوع و فعالیت در این عرصه از حدود ده سال گذشته بیشتر در قالب تعریف پایان‌نامه‌ها و پروژه‌های دانشجویی در مقاطع تحصیلات تکمیلی در دانشگاه‌های بزرگ کشور و مراکز پژوهشی آغاز گردیده است. امروزه فعالیت‌ها در حوزه تحقیق و توسعه دانش و فناوری پیل سوختی تقریباً در بیشتر دانشگاه‌های بزرگ کشور و موسسات و مراکز پژوهشی زیادی در حال انجام می‌باشد.

از اقداماتی که در سال‌های گذشته توسط سازمان انرژی‌های نو ایران با همکاری معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری انجام شده می‌توان به ایجاد زیر ساخت در دانشگاه‌ها اشاره کرد که در حال حاضر حدود دوازده مرکز دانش‌گاه به نام گاه پیل سوختی مجهز می‌باشند. این آزمایشگاه‌ها تقریباً مجهز به تمام دستگاه‌های مورد نیاز جهت انجام تست‌های مختلف پیل‌های سوختی بوده و امکانات مورد نیاز پژوهشگران را فراهم می‌کند. به عنوان مثال آزمایشگاه مرکزی پیل سوختی با حمایت سازمان انرژی‌های نو ایران در دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پل خنیک تهران) راه‌اندازی شده است. علاوه بر مطالعات گسترده تجربی، با راه‌اندازی مراکز محاسبات بر روی رایانه‌های فوق سریع (ابررایانه‌ها) در دانشگاه‌های بزرگ و موسسات پژوهشی، اخیراً تحقیقات بنیادی بر روی جزای مختلف پیل سوختی اعم از الکتروکاتالیست‌ها و غشاءها نیز بطور رضایت‌بخشی شروع شده است. علاوه بر این، جهت تولید پیل‌های سوختی بعنوان یک محصول و تجاری‌سازی آن، شرکت‌های دانش‌بنیان در حوزه هیدروژن و پیل سوختی شکل گرفته‌اند.

در حال حاضر دو کنفرانس که در سطح ملی برگزار می‌گردند نتایج و یافته‌های پژوهشگران پیل سوختی کشور را پوشش می‌دهند: سمینار ملی پیل سوختی ایران که سالانه توسط انجمن الکتروشیمی ایران، و کنفرانس هیدروژن و پیل سوختی توسط انجمن هیدروژن و پیل سوختی ایران برگزار می‌گردد.

در ایران از میان انواع پیل‌های سوختی، پیل‌های سوختی الکترولیت پلیمری و اکسید جامد بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین یک مجله داخلی به نام مجله هیدروژن و پیل سوختی ایران (Iranian Journal of Hydrogen & Fuel Cell (IJHFC)) نتایج و یافته‌های تحقیقات در حوزه علوم و فناوری‌های هیدروژن و پیل سوختی را منتشر می‌کند.

از دستاوردهای برجسته تلاش محققان عرصه پیل سوختی در کشورمان علاوه بر تولید و چاپ مقالات علمی در مجلات معتبر دنیا می‌توان به تولید پیل سوختی از نوع الکترولیت پلیمری با ظرفیت

۱۰ کیلو وات و ساخت اولین هواپیمای بدون سرنشین هیبریدی پیل سوختی و باتری لیتیومی کشور اشاره کرد.

در پایان به اطلاع اساتید، دانشجویان و پژوهشگران رشته‌های مختلف شیمی، مهندسی شیمی، مهندسی پلیمر، مهندسی برق، مهندسی مکانیک، فیزیک و غیره می‌رساند که برای اطلاع از فعالیت‌های پژوهشی در زمینه پیل‌های سوختی می‌توانند به وب سایت کمیته راهبردی پیل سوختی بعنوان یکی از کمیته‌های تحت نظر سانا و همچنین وب سایت انجمن هیدروژن و پیل سوختی ایران مراجعه نمایند. برای کسب اطلاعات بیشتر در این خصوص و همچنین جهت اطلاع از تازه‌ترین فعالیت‌های انجام شده در زمینه پیل‌های سوختی در کشورمان و دنیا می‌توان به آدرس‌های ذیل مراجعه نمود:

<http://ihfca.ir/>

انجمن هیدروژن و پیل سوختی ایران

<http://fcc.gov.ir/>

کمیته راهبردی پیل سوختی

علاقه‌مندان به مطالعه در خصوص پیل‌های سوختی نیز می‌توانند به وب سایت تخصصی پیل سوختی مراجعه نمایند:

<http://www.fuelcells.org/>

در پایان یادآوری می‌شود که تجربه ترجمین نشان می‌دهد کتاب “Fuel Cell Fundamentals” نویسنده رایان آ. هایر و همکاران یکی از بهترین و معروفترین کتاب‌های حال حاضر در زمینه پیل‌های سوختی است و ترجمه حاضر مربوط به ویرایش دوم این کتاب در سال ۲۰۰۹ می‌باشد که توسط انتشارات وایلی چاپ شده است. فصل‌های این کتاب، تمامی مسائل اصلی پیل‌های سوختی را پوشش داده و مبانی نظری آنها را به شیوه دروس دانشگاهی تدریس می‌کند. از این رو با توجه به اهمیت موضوع پیل‌های سوختی و کاربرد کتاب حاضر در تحقیقات دانشگاهی، مراکز پژوهشی، ترجمه این کتاب انجام گرفته و تقدیم دانشجویان، اساتید و محققان عزیز می‌گردد. مطالب این کتاب بیشتر به مبانی اصلی و بنیادی و چگونگی کارکرد پیل‌های سوختی پرداخته و پدیده‌های مختلف مرتبط با آنها از قبیل ترمودینامیک، انتقال جرم، انتقال بار و سینتیک واکنش‌ها را بیان می‌دارد. جایزه‌های کاربردی و تکنولوژی‌های ساخت پیل‌های سوختی نیز از دیگر مباحث مهم و مورد توجه می‌باشد که امیدواریم در آینده بتوان آن را تقدیم جامعه علمی کشور نمود.

تلاش مترجمین در هر چه بهتر شدن ترجمه کتاب حاضر بوده است اما مسلماً خالی از اشکال و ایراد نمی‌باشد، لذا از تمامی خوانندگان عزیز تقاضا نمودیم که نظرات، پیشنهادات و مشکلات این اثر را به اطلاع ما رسانده تا در چاپ‌های بعدی مورد نظر قرار گیرد.

لازم به ذکر است که این کتاب با حمایت و پشتیبانی شرکت ملی گاز ایران ترجمه شده است. مساعدت‌های جناب آقای دکتر سعید پاک‌سرشت مدیر محترم پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران و همچنین همکاری‌های بی‌دریغ جناب آقای مهندس هدایت امیدوار رئیس محترم امور ارتباط با

مراکز و مجامع علمی و پژوهشی آن مدیریت، قابل تقدیر بوده و صمیمانه از آنها تشکر و قدردانی می‌نمائیم.

در اینجا فرصت را مغتنم شمرده و از جناب آقای حسن نقی‌زاده مدیر محترم انتشارات کتاب پدیده که زحمت آماده‌سازی، چاپ و انتشار این کتاب را متقبل شدند، کمال تشکر را داریم.

دکتر سهراب فتحی

دکتر قاسم بهلکه

زمستان ۱۳۹۴

www.ketab.ir

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱۸	۱-۱ پیل سوختی چیست؟
۲۰	۲-۱ یک پیل سوختی ساده
۲۳	۳-۱ مزیت‌های پیل سوختی
۲۳	۴-۱ معایب پیل سوختی
۲۶	۵-۱ انواع پیل سوختی
۲۷	۶-۱ اساس عملکرد پیل سوختی
۲۲	۷-۱ بازدهی پیل سوختی
۲۴	۸-۱ ارزیابی و مدل‌سازی
۲۴	۹-۱ تکنولوژی پیل سوختی
۳۴	۱۰-۱ پیل‌های سوختی و محیط زیست
۳۶	خلاصه فصل
۳۷	تمرین‌های فصل
۳۸	محاسبات

فصل دوم: ترمودینامیک پیل سوختی

۴۰	۱-۲ مروری بر ترمودینامیک
۴۰	۱-۱-۲ ترمودینامیک چیست؟
۴۱	۲-۱-۲ انرژی درونی
۴۱	۳-۱-۲ قانون اول
۴۲	۴-۱-۲ قانون دوم
۴۵	۵-۱-۲ پتانسیل‌های ترمودینامیکی
۴۷	۶-۱-۲ کمیت‌های مولار
۴۸	۷-۱-۲ حالت استاندارد
۴۸	۸-۱-۲ برگشت پذیری
۴۹	۲-۲ پتانسیل حرارتی یک سوخت: آنتالپی واکنش
۵۰	۱-۲-۲ محاسبه آنتالپی‌های واکنش
۵۱	۲-۲-۲ وابستگی دمای آنتالپی

۵۲	۳-۲ پتانسیل کاری یک سوخت: انرژی آزاد گیبس
۵۲	۱-۳-۲ محاسبه انرژی آزاد گیبس
۵۴	۲-۳-۲ رابطه بین انرژی آزاد گیبس و کار الکتریکی
۵۵	۳-۳-۲ رابطه بین انرژی آزاد گیبس و خودبخودی واکنش
۵۶	۴-۳-۲ رابطه بین انرژی آزاد گیبس و ولتاژ
۵۷	۵-۳-۲ پتانسیل های الکتروود استاندارد: محاسبه ولتاژ برگشت پذیر
۶۰	۴-۲ پیش بینی ولتاژ برگشت پذیر یک پیل سوختی تحت شرایط حالت غیر استاندارد
۶۱	۱-۴-۲ تغییر ولتاژ برگشت پذیر با دما
۶۳	۲-۴-۲ تغییر ولتاژ برگشت پذیر با فشار
۶۴	۳-۴-۲ تغییر ولتاژ برگشت پذیر با غلظت: معادله نرنست
۶۸	۴-۴-۲ پیل های غلظتی
۷۰	۵-۴-۲ خلاصه
۷۱	۵-۲ بازده پیل سوختی
۷۱	۱-۵-۲ بازده برگشت پذیر ایده آل: پیل سوختی
۷۴	۲-۵-۲ بازده واقعی (کاربردی) پیل سوختی
۷۶	خلاصه فصل
۷۷	تمرین های فصل
۷۸	محاسبات

فصل سوم: سیستم واکنش پیل سوختی

۸۰	۱-۲ مقدمه ای بر سینتیک الکتروود
۸۰	۱-۱-۳ واکنش های الکتروشیمیایی متفاوت از واکنش های شیمیایی هستند
۸۰	۲-۱-۳ فرآیندهای الکتروشیمیایی ناهمگن هستند
۸۱	۳-۱-۳ جریان یک شدت است
۸۲	۴-۱-۳ جریان یک مقدار است
۸۳	۵-۱-۳ دانسیته جریان مهم تر از جریان است
۸۳	۶-۱-۳ پتانسیل انرژی الکترون را کنترل می کند
۸۴	۷-۱-۳ سرعت های واکنش محدود هستند
۸۵	۲-۳ چرا واکنش های انتقال بار یک انرژی فعال سازی دارند
۸۷	۳-۳ انرژی آزاد سرعت واکنش را تعیین می کند
۸۸	۴-۳ محاسبه سرعت خالص یک واکنش
۸۹	۵-۳ سرعت واکنش در شرایط تعادل: دانسیته جریان میادلهای
۹۰	۶-۳ پتانسیل یک واکنش در شرایط تعادل: پتانسیل گالوانی

۹۲	۲-۷ پتانسیل و سرعت: معادله باتلر - ولمر
۹۸	۲-۸ جریان‌های مبادله‌ای و تجزیه الکترونی: بازده سینتیکی چگونه بهبود می‌یابد
۹۸	۲-۸-۱ افزایش غلظت واکنش‌گر
۹۹	۲-۸-۲ کاهش مانع فعال‌سازی
۱۰۰	۲-۸-۳ افزایش دما
۱۰۰	۲-۸-۴ افزایش مکان‌های واکنش
۱۰۱	۲-۹ سینتیک‌های فعال‌سازی ساده شده: معادله تافل
۱۰۴	۲-۱۰ واکنش‌های مختلف پیل سوختی سینتیک‌های مختلفی تولید می‌کنند
۱۰۷	۲-۱۱ طراحی کاتالیست - الکتروود
۱۰۹	۲-۱۲ مکانیک روانه: م: چارچوبی برای شناخت کاتالیست در پیل‌های سوختی
۱۱۳	خلاصه فصل
۱۱۵	تمرین‌های فصل
۱۱۷	محاسبات
	فصل چهارم: انتقال بار پیل سوختی
۱۲۰	۴-۱ بارها در نتیجه اعمال نیرو حرکت می‌کنند
۱۲۳	۴-۲ انتقال بار منجر به یک افت ولتاژ می‌شود
۱۲۶	۴-۳ مشخصه‌های مقاومت انتقال بار پیل سوختی
۱۲۷	۴-۳-۱ مقاومت با مساحت سطح مقطع مقیاس می‌شود
۱۲۹	۴-۳-۲ مقاومت به وسیله ضخامت مقیاس می‌شود
۱۳۰	۴-۳-۳ مقاومت‌های پیل سوختی افزایشی هستند
۱۳۱	۴-۳-۴ مقاومت یونی (الکترولیت) معمولاً کنترل‌کننده است
۱۳۲	۴-۴ مفهوم فیزیکی هدایت‌پذیری
۱۳۳	۴-۴-۱ هدایت‌کننده‌های الکترونی و یونی
۱۳۴	۴-۴-۲ هدایت‌پذیری الکترون در یک فلز
۱۳۴	۴-۴-۳ هدایت‌پذیری یونی در الکترولیت‌های بلوری
۱۳۵	۴-۵ مروری بر دسته الکترولیت پیل سوختی
۱۳۶	۴-۵-۱ هدایت یون در الکترولیت محلول آبی / مایعات یونی
۱۳۹	۴-۵-۲ هدایت یونی در الکترولیت‌های پلیمری
۱۵۰	۴-۵-۳ هدایت یونی در الکترولیت‌های سرامیکی
۱۵۵	۴-۶ توضیح بیشتر ضریب نفوذ و هدایت‌پذیری
۱۶۱	۴-۷ چرا نیروهای محرکه الکتریکی کنترل‌کننده انتقال بار هستند
۱۶۳	خلاصه فصل

۱۶۵	تمرین‌های فصل
۱۶۶	محاسبات
فصل پنجم: انتقال جرم پیل سوختی	
۱۷۱	۵-۱ انتقال در الکتروود در برابر ساختار جریان
۱۷۳	۵-۲ انتقال در الکتروود: انتقال نفوذی
۱۷۳	۵-۲-۱ واکنش شیمیایی سبب نفوذ می‌شود
۱۷۸	۵-۲-۲ دانسیته جریان محدودکننده
۱۸۰	۵-۲-۳ غلظت ولتاژ نرنست را تحت تأثیر می‌گذارد
۱۸۱	۵-۲-۴ غلظت سرعت واکنش را تحت تأثیر قرار می‌دهد
۱۸۲	۵-۲-۵ خاصه انت غلظت پیل سوختی
۱۸۴	۵-۳ انتقال در ساختارهای بان: انتقال جابجایی (همرفتی)
۱۸۵	۵-۳-۱ مروری بر مکانیک سیالات
۱۹۰	۵-۳-۲ انتقال جرم در مانا - جریان
۱۹۴	۵-۳-۳ گاز در طول کانال جریان خالی می‌گردد
۱۹۸	۵-۳-۴ طراحی ساختار جریان
۲۰۳	خلاصه فصل
۲۰۵	تمرین‌های فصل
۲۰۶	محاسبات
فصل ششم: مدل‌سازی پیل سوختی	
۲۰۸	۶-۱ کاربرد همزمان ابزارهای پیل سوختی: مدل اصلی پیل سوختی
۲۱۲	۶-۲ مدل یک بعدی پیل سوختی
۲۱۳	۶-۲-۱ موازنه شار در پیل‌های سوختی
۲۱۶	۶-۲-۲ فرضیات ساده‌کننده
۲۱۹	۶-۲-۳ معادلات حاکم
۲۲۳	۶-۲-۴ مثال‌ها
۲۲۴	۶-۲-۵ ملاحظات اضافی
۲۲۴	۶-۳ مدل‌های پیل سوختی بر پایه دینامیک سیال محاسباتی
۲۳۸	خلاصه فصل
۲۳۹	تمرین‌های فصل
۲۴۱	محاسبات

فصل هفتم: ارزیابی پیل سوختی

۲۴۶	۱-۷ چه چیزی برای ارزیابی مورد نیاز است؟
۲۴۸	۲-۷ مروری بر تکنیک‌های ارزیابی
۲۵۰	۳-۷ تکنیک‌های ارزیابی الکتروشیمیایی در محل
۲۵۰	۱-۳-۷ متغیرهای الکتروشیمیایی پایه‌ای: ولتاژ، جریان و زمان
۲۵۲	۲-۳-۷ نیازمندی‌های ایستگاه تست اصلی پیل سوختی
۲۵۳	۳-۳-۷ اندازه‌گیری ولتاژ - جریان
۲۵۶	۴-۳-۷ طیف‌بینی مقاومت الکتروشیمیایی
۲۷۳	۵-۳-۷ اندازه‌گیری قطع جریان
۲۷۵	۶-۳-۷ ولتاژ و پتانسیل
۲۷۷	۴-۷ تکنیک‌های ارزیابی سابق درجا
۲۷۷	۱-۴-۷ تعیین تداخل
۲۷۸	۲-۴-۷ تعیین مساحت سطح BET
۲۷۹	۳-۴-۷ نفوذپذیری گاز
۲۷۹	۴-۴-۷ تعیین ساختار
۲۷۹	۵-۴-۷ تعیین شیمیایی
۲۸۰	خلاصه فصل
۲۸۲	تمرین‌های فصل
۲۸۳	محاسبات
۲۸۵	پیوست‌ها