

مبانی پیل‌های سوختی

بخش اول: اصول اولیه

تألیف:

رایان پی. اوهایره، سوک - وون چا،
ویتنی جی. کوللا و فریتز بی. پرینز

ترجمه:

حسن زاده

(استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه بیرجند)

محمدعلی درزاد

(کارشناس ارشد مهندسی هوافضا)

ویراستار: دکتر سیدعلیرضا ذوالفقاری

۱۳۹۵

سرشناسه	اوهایره، رایان پی.
عنوان و نام پدیدآور	مبانی پیل‌های سوختی (بخش اول: اصول اولیه) / تألیف: رایان پی. اوهایره، سوک-وون‌جا، ویتنی جی. کوللا و فریتز بی. پرینز / ترجمه: حسن حسن‌زاده، محمدعلی فرزاد. انتشارات دانشگاه بیرجند، ۱۳۹۵.
ناشر	۲۹۴ ص. : مصور، جدول، نمودار.
مشخصات نشر	۹۷۸-۶۰۰-۹۶۳۴۶-۲-۰
مشخصات ظاهری	Fuel cell fundamentals
شابک	پیل‌های سوختی - کتاب‌های درسی.
عنوان به انگلیسی	حسن‌زاده، حسن، مترجم.
موضوع	فرزاد، محمدعلی، مترجم.
شناسه افزوده	TK۲۹۳۱ / الف ۹۹م ۱۳۹۵
شناسه افزوده	۶۲۱/۳۱۲۴۲۹
رده‌بندی کنگ	
رده‌بندی دیوینی	



انتشارات دانشگاه جند

خدمات نشر: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد
مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه، سازمان مرکزی، جهاد دانشگاهی
ص. پ. ۹۱۷۷۵-۱۳۷۶ تلفن: ۳۸۳۲۳۶۷ دفتر بخش: ۱۳۷۶۲۲۱
www.jampress.com info@jdmpress.com

مبانی پیل‌های سوختی
(بخش اول: اصول اولیه)

تألیف: رایان پی. اوهایره، سوک-وون‌جا، ویتنی جی. کوللا و فریتز بی. پرینز
ترجمه: حسن حسن‌زاده، محمدعلی فرزاد
ویراستار: سیدعلیرضا ذوالفقاری

واژه‌پرداز هاشمی نجفی / لیتوگرافی مشهد اسکنر / چاپ و صحافی دانشگاه فردوسی
چاپ اول پاییز ۱۳۹۵ / ۵۰۰ نسخه

ISBN: 978-600-96346-2-0

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۶۳۴۶-۲-۰

کلیه‌ی حقوق نشر برای ناشر محفوظ است.

قیمت: ۲۲۰.۰۰۰ ریال

فهرست

۱۱	پیشگفتار نویسندگان
۱۲	پیشگفتار ترجمان
۱۳	نمادها
۱۹	۱. مقدمه
۱۹	۱-۱ پیل سوختی چیست؟
۲۲	۲-۱ یک پیل سوختی ساده
۲۴	۳-۱ مزایای پیل سوختی
۲۴	۴-۱ معایب پیل سوختی
۲۷	۵-۱ انواع پیل سوختی
۲۹	۶-۱ اصول کارکرد پیل سوختی
۳۳	۷-۱ کارایی پیل سوختی
۳۵	۸-۱ ارزیابی و مدل سازی
۳۶	۹-۱ فناوری پیل سوختی
۳۶	۱۰-۱ پیل سوختی و محیط زیست
۳۷	خلاصه فصل
۳۸	تمرینات فصل
۳۸	سؤالات مروری
۳۹	محاسبات
۴۱	۲. ترمودینامیک پیل سوختی
۴۱	۱-۲ مروری بر ترمودینامیک
۴۱	۱-۱-۲ ترمودینامیک چیست؟
۴۲	۲-۱-۲ انرژی داخلی
۴۳	۳-۱-۲ قانون اول
۴۴	۴-۱-۲ قانون دوم
۴۶	۵-۱-۲ پتانسیل های ترمودینامیکی
۴۸	۶-۱-۲ کمیت های مولی
۴۹	۷-۱-۲ حالت استاندارد

- ۵۰..... ۸-۱-۲ برگشت‌پذیری
- ۵۰..... ۲-۲ پتانسیل حرارتی یک سوخت: انتالپی واکنش
- ۵۱..... ۱-۲-۲ محاسبه انتالپی‌های واکنش
- ۵۲..... ۲-۲-۲ وابستگی انتالپی به دما
- ۵۳..... ۳-۲ پتانسیل کار سوخت: انرژی آزاد گیبس
- ۵۴..... ۱-۳-۲ محاسبه انرژی آزاد گیبس
- ۵۶..... ۲-۳-۲ ارتباط بین انرژی آزاد گیبس و کار الکتریکی
- ۵۸..... ۳-۳-۲ ارتباط بین انرژی آزاد گیبس و خودبه‌خودی بودن واکنش
- ۵۹..... ۴-۳-۲ ارتباط با انرژی آزاد گیبس و ولتاژ
- ۵۹..... ۵-۳-۲ پتانسیل‌های استاندارد الکتروود: محاسبه ولتاژ برگشت‌پذیر
- ۶۳..... ۴-۲ پیش‌بینی و برگشت‌پذیر پیل سوختی در شرایط غیراستاندارد
- ۶۳..... ۱-۴-۲ تغییر ولتاژ برگشت‌پذیر با دما
- ۶۵..... ۲-۴-۲ تغییر ولتاژ برگشت‌پذیر با فشار
- ۶۶..... ۳-۴-۲ تغییر ولتاژ برگشت‌پذیر غلظت: رابطه نرنست
- ۷۰..... ۴-۴-۲ پیل‌های غلظتی
- ۷۵..... ۵-۴-۲ خلاصه
- ۷۵..... ۵-۲ راندمان پیل سوختی
- ۷۶..... ۱-۵-۲ راندمان پیل سوختی برگشت‌پذیر آیدن
- ۷۸..... ۲-۵-۲ راندمان پیل سوختی واقعی (عملی)
- ۸۰..... ۶-۲ موازنه حرارتی و جرمی در پیل‌های سوختی
- ۸۳..... خلاصه فصل
- ۸۴..... تمرینات فصل
- ۸۴..... سوالات مروری
- ۸۵..... محاسبات
- ۸۷..... ۳. سینتیک واکنش پیل سوختی
- ۸۷..... ۱-۳ مقدمه‌ای بر سینتیک الکتروود
- ۸۷..... ۱-۱-۳ واکنش‌های الکتروشیمیایی با واکنش‌های شیمیایی متفاوت هستند
- ۸۸..... ۲-۱-۳ فرایندهای الکتروشیمیایی ناهمگن هستند
- ۸۸..... ۳-۱-۳ جریان یک نرخ است
- ۸۹..... ۴-۱-۳ بار یک مقدار است
- ۹۰..... ۵-۱-۳ چگالی جریان اساسی‌تر از جریان است
- ۹۰..... ۶-۱-۳ پتانسیل، انرژی الکترون را کنترل می‌کند
- ۹۱..... ۷-۱-۳ نرخ واکنش‌ها محدود هستند
- ۹۲..... ۲-۳ چرا واکنش‌های انتقال بار دارای انرژی فعال‌سازی هستند
- ۹۴..... ۳-۳ انرژی فعال‌سازی نرخ واکنش را تعیین می‌کند
- ۹۶..... ۴-۳ محاسبه نرخ خالص یک واکنش

۵-۳	نرخ واکنش در تعادل: چگالی جریان مبادله	۹۷
۶-۳	پتانسیل واکنش در تعادل: پتانسیل گالوانی	۹۷
۷-۳	پتانسیل و نرخ: رابطه باتلر-ولمر	۹۹
۸-۳	جریان‌های مبادله و الکتروکاتالیست: چگونگی بهبود عملکرد سینتیک	۱۰۵
۱-۸-۳	افزایش غلظت واکنشگر	۱۰۵
۲-۸-۳	کاهش سد فعال‌سازی	۱۰۶
۳-۸-۳	افزایش دما	۱۰۷
۴-۸-۳	افزایش محل‌های واکنش	۱۰۷
۹-۳	سینتیک فعال‌سازی ساده‌شده: رابطه تافل	۱۰۸
۱۰-۳	واکنش‌های متفاوت پیل سوختی سینتیک‌های مختلفی ایجاد می‌کنند	۱۱۱
۱۱-۳	طراحی الکتروکاتالیست	۱۱۴
۱۲-۳	تایک کوانتوم: چارچوبی برای درک کاتالیز شدن در پیل‌های سوختی	۱۱۵
۱۳-۳	ارتباط‌های روانی: ولمر و نرنست (اختیاری)	۱۱۸
	خلاصه فصل	۱۲۲
	تمرینات فصل	۱۲۴
	سوالات مروری	۱۲۴
	محاسبات	۱۲۶
۴. انتقال بار در پیل سوختی		۱۲۹
۱-۴	بارها در اثر اعمال نیرو حرکت می‌کنند	۱۲۹
۲-۴	انتقال بار منجر به افت ولتاژ می‌شود	۱۳۳
۳-۴	خصوصیات مقاومت انتقال بار در پیل سوختی	۱۳۵
۱-۳-۴	مقاومت با سطح متناسب است	۱۳۶
۲-۳-۴	مقاومت با ضخامت متناسب است	۱۳۸
۳-۳-۴	مقاومت‌های پیل سوختی جمع پذیرند	۱۳۹
۴-۳-۴	مقاومت یونی (الکترولیت) معمولاً مقاومت غالب است	۱۴۰
۴-۴	مفهوم فیزیکی رسانایی	۱۴۰
۱-۴-۴	رساناهای یونی در مقابل رساناهای الکترونی	۱۴۱
۲-۴-۴	رسانایی الکترونی در یک فلز	۱۴۲
۳-۴-۴	رسانایی یونی در یک الکترولیت جامد کریستالی	۱۴۳
۵-۴	مروری بر انواع الکترولیت پیل‌های سوختی	۱۴۴
۱-۵-۴	رسانایی یونی در الکترولیت‌های آبدار/مایعات یونی	۱۴۴
۲-۵-۴	هدایت یونی در الکترولیت‌های پلیمری	۱۴۷
۳-۵-۴	رسانایی یونی در الکترولیت‌های سرامیکی	۱۵۸
۴-۵-۴	رساناهای مرکب الکترونی-یونی	۱۶۲
۶-۴	توضیحات بیشتر در مورد ضریب پخش و رسانایی (اختیاری)	۱۶۴
۱-۶-۴	منشأ ذره‌ای ضریب پخش	۱۶۴

۱۶۷	۴-۲ ارتباط بین رسانایی و ضریب پخش (۱)
۱۶۹	۴-۳ ارتباط بین ضریب پخش و رسانایی (۲)
۱۷۰	۴-۷ چرا نیروهای محرکه الکتریکی در انتقال بار غالب هستند (اختیاری)
۱۷۱	۴-۸ شبیه‌سازی هدایت یونی در الکترولیت‌های اکسیدی براساس مکانیک کوانتوم (اختیاری)
۱۷۴	خلاصه فصل
۱۷۵	تمرینات فصل
۱۷۵	سؤالات مروری
۱۷۵	محاسبات
۱۷۹	۵ انتقال جرم در پیل سوختی
۱۸۰	۵-۱ انتقال در الکترولیت: روبرو، مقابل ساختار جریان
۱۸۲	۵-۲ انتقال در الکترولیت: انتقال بخشی
۱۸۲	۵-۲-۱ واکنش الکتروشیمیایی در پیل سوختی
۱۸۷	۵-۲-۲ چگالی جریان حد
۱۸۸	۵-۲-۳ غلظت، ولتاژ نرم‌ترانست و تأثیر قرار می‌دهد
۱۸۹	۵-۲-۴ غلظت، نرخ واکنش را تحت تأثیر قرار می‌دهد
۱۹۰	۵-۲-۵ تفسیر آفت غلظتی به کمک معادله جریانی-ولتاژ
۱۹۲	۵-۲-۶ خلاصه آفت غلظتی پیل سوختی
۱۹۴	۵-۳ انتقال در ساختارهای جریان: انتقال جابه‌جایی
۱۹۵	۵-۳-۱ مرور مکانیک سیالات
۱۹۹	۵-۳-۲ انتقال جرم در کانال‌های جریان
۲۰۳	۵-۳-۳ گاز در طول کانال جریان مصرف می‌شود
۲۰۷	۵-۳-۴ طراحی ساختار جریان
۲۱۰	خلاصه فصل
۲۱۱	تمرینات فصل
۲۱۱	سؤالات مروری
۲۱۲	محاسبات
۲۱۳	۶ مدل‌سازی پیل سوختی
۲۱۳	۶-۱ گردآوری: یک مدل ساده پیل سوختی
۲۱۷	۶-۲ مدل یک‌بعدی پیل سوختی
۲۱۷	۶-۲-۱ موازنه شار در پیل‌های سوختی
۲۲۰	۶-۲-۲ فرضیات ساده‌کننده
۲۲۳	۶-۲-۳ معادلات حاکم
۲۲۶	۶-۲-۴ مثال‌ها
۲۳۴	۶-۲-۵ ملاحظات اضافی
۲۳۵	۶-۳ مدل‌های پیل سوختی براساس دینامیک سیالات محاسباتی (اختیاری)
۲۳۷	خلاصه فصل

۲۳۹	تمرینات فصل
۲۳۹	سؤالات مروری
۲۳۹	محاسبات
۲۴۲	۷. توصیف مشخصه‌های پیل سوختی
۲۴۲	۱-۷ چه چیزی را می‌خواهیم توصیف کنیم؟
۲۴۵	۲-۷ بررسی روش‌های توصیف مشخصه‌ها
۲۴۷	۳-۷ روش‌های توصیف مشخصه الکتروشیمیایی در محل
۲۴۷	۱-۳-۷ متغیرهای الکتروشیمیایی بنیادی: ولتاژ، جریان و زمان
۲۴۹	۲-۳-۷ روش‌های استگاه آزمایش پیل سوختی ساده
۲۵۱	۳-۳-۷ اندازه‌گیری ولتاژ-جریان
۲۵۳	۱-۳-۷ طاقستجی امپدانس الکتروشیمیایی
۲۶۸	۵-۳-۷ سنجش ولتاژ
۲۷۰	۶-۳-۷ ولتسنجی تناوبی
۲۷۲	۴-۷ روش‌های توصیف خاص در محل
۲۷۲	۱-۴-۷ تعیین تخلخل
۲۷۳	۲-۴-۷ تعیین مساحت سطح BET
۲۷۴	۳-۴-۷ ضریب پخش گاز
۲۷۴	۴-۴-۷ تعیین ساختار
۲۷۴	۵-۴-۷ تعیین شیمیایی
۲۷۵	خلاصه فصل
۲۷۶	تمرینات فصل
۲۷۶	سؤالات مروری
۲۷۷	محاسبات
۲۷۹	پیوست‌ها
۲۸۰	پیوست (الف) ثوابت و تبدیلات
۲۸۱	پیوست (ب) اطلاعات ترمودینامیکی
۲۹۱	پیوست (ج) پتانسیل الکترواستاندارد در 25°C
۲۹۳	مراجع

پیشگفتار نویسندگان

تصور کنید در یک اتومبیل پیل سوختی به خانه می‌روید ولی فقط آب خالص از آگروز آن می‌چکد. یک رایانه قابل حمل را تصور کنید که فقط با یک‌بار شارژ می‌تواند تا ۳۰ ساعت کار کند. دنیایی را تصور کنید که در آن شما خانه خود را به اتومبیل خود متصل می‌کنید و وجود خطوط انتقال نیرو، به‌خطاره‌ها پیوسته است.

این رؤیاها، محرک تحقیقات فعلی پیل سوختی هستند. اگرچه تعدادی از این رؤیاها (مثل تأمین انرژی خانه با اتومبیل پیل سوختی) دور به نظر می‌رسند ولی بقیه (مثل یک کامپیوتر قابل حمل با قابلیت ۳۰ ساعت کار مداوم) نزدیک‌تر از آن‌ها به فکر می‌کنند.

این کتاب دانش موجود در پس فناوری را با بردن پیل سوختی از جهان خیالی به جهان واقعی به شما می‌آموزد. این کتاب بر سؤال‌های چگونگی و چرایی تمرکز دارد. در آن شرح ساده‌ای از چگونگی کارکرد پیل سوختی، چرایی قابلیت راندمان بالا و چگونگی ارزیابی منحصربه‌فرد استفاده از آن‌ها خواهید یافت. تمرکز بر روی اصول علمی اساسی حاکم بر کارکرد پیل سوختی قرار دارد. این اصول بدون توجه به نوع پیل سوختی یا فناوری آن، ثابت و عموماً قابل استفاده هستند.

پس از این فلسفه، بخش اول، "مبانی پایه" به مبانی فیزیکی پیل سوختی اختصاص دارد. نمودارهای مصور، مثال‌ها، جعبه‌های نوشتاری و سؤالات تمرینی همگی رای رساندن فهم شهودی یکپارچه پیل‌های سوختی طراحی شده‌اند. البته هیچ کاری درخصوص پیل سوختی بدون حداقل بحث مختصری بر روی جنبه‌های عملی فناوری پیل سوختی کامل نیست. این هدف بخش دوم کتاب، "فناوری پیل سوختی"، است. نمودارهای مفید، جداول و مثال‌ها، مرور سرگرم‌کننده‌ای از فناوری‌های پیل سوختی را فراهم می‌کنند. در این بخش از کتاب خواهید آموخت که چگونه پیل سوختی مناسب را برای یک کاربرد مشخص انتخاب کنید و چگونه یک سیستم کامل را طراحی کنید. درنهایت، چگونگی ارزیابی پتانسیل اثرات محیطی فناوری پیل سوختی را خواهید آموخت.

چنانچه نظر یا سؤال، پیشنهادی برای بهبود کتاب و یا اشتباه چاپی در کتاب یافتید، با ما می‌کنید که توضیحات ما می‌تواند بهتر از این باشد، پیشنهادی درمورد سایر مفاهیم مهم برای بحث داشتید یا فکر می‌کنید ما کاملاً اشتباه می‌کنیم، لطفاً نظرات خود را به fcf3@yahoo.com بفرستید. ما پیشنهادات شما را در ویرایش بعدی کتاب در نظر خواهیم داشت. این بحث‌ها و اطلاعات درسی دیگر را می‌توانید با عضویت در گروه اینترنتی مان به آدرس: <http://groups.yahoo.com/group/fcf3> مشاهده کنید. متشکریم.

رایان پی. اوهایرد، سوک-وون چا

ویتنی جی. کوللا، فریتز پی. پرینز

پیشگفتار مترجمان

ویژگی‌های منحصر به فرد پیل‌های سوختی باعث شده در دو دهه اخیر به شدت مورد توجه قرار گیرند. پیشرفت بسیار سریع این فناوری نیز تأییدی بر این امر است. پیش‌بینی می‌شود در آینده نزدیک، پیل‌های سوختی سهم به‌سزایی در بخش انرژی داشته باشد.

کتابی که هم‌اکنون در دست دارید، ترجمه بخش اول و ویرایش دوم (۲۰۰۹) کتاب *مبانی پیل‌های سوختی* است، که بی‌شک یکی از مراجع مطرح در این زمینه می‌باشد. این کتاب با متنی روان و به‌کمک اشکال و مثال‌های مختلف، مبانی پیل سوختی را بر اساس مفاهیم اولیه بیان می‌کند. بنابراین، این کتاب برای دانشجویان و محققان علاقه‌مند در زمینه پیل‌های سوختی، جدا از رشته و مقطع تحصیلی، مفید خواهد بود.

کتاب کتب فارسی در زمینه پیل‌های سوختی مترجمان را بر آن داشت تا برای اولین بار در کشور نسبت به ترجمه این کتاب اقدام کنند. این امر در سال ۱۳۸۰ آغاز و در سال ۱۳۹۲ پایان پذیرفت. متأسفانه به دلیل مشکلات نشر و مراحل اداری، چاپ کتاب تا زمان حاضر تعویق افتاد که در نهایت با موافقت دانشگاه بیرجند این موضوع به سرانجام رسید، که مزید امتنان است. به لطف و یاری خداوند ارک و تعالی، اینک متن فارسی این کتاب در اختیار شماست و امید است که مورد قبول واقع شود.

با توجه به این موضوع که کتاب حاضر اولین تجربه مترجمان است بی‌شک خالی از اشکال نیست. نبود معادل فارسی برای بسیاری از اصطلاحات نیز بر دشواری کار افزوده است. لذا سعی شده در اولین اشاره به اصطلاحات خاص، کلمه اصلی نیز در پاورقی ذکر گردد. تمام سعی مترجمان بر این بوده که در عین رعایت اصالت کتاب، مفاهیم به‌بیانی ساده ترجمه شوند. از اساتید، دانشجویان و خوانندگان محترم انتظار می‌رود در صورت مشاهده هر مشکلی در متن و یا چاپ کتاب و یا هرگونه انتقاد و پیشنهادی در مورد کلیت کتاب، مترجمان را از طریق پست الکترونیک h.hassanzadeh@birjand.ac.ir مطلع سازند، که موجب تشکر و امتنان خواهد بود.

در اینجا لازم است از زحمات آقایان دکتر حسین فرسی، مهندس محمد نعیمی‌پور، خانم دکتر کتابون زارعی‌طوسی که در ترجمه بعضی از اصطلاحات به‌ما کمک کردند، تشکر کنیم. همچنین از زحمات آقای دکتر سیدعلیرضا ذوالفقاری که با دقت نظر خاصی در ویرایش کتاب ما را یاری کردند، قدردانی می‌شود. در پایان از خانم‌ها مهندسین فریبا نصیری و نرجس لبافی که در آماده‌سازی اشکال به‌ما کمک فراوانی کردند، تشکر می‌کنیم.

حسن حسن‌زاده

دکترای مهندسی مکانیک، استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه بیرجند

محمدعلی فرزاد

کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، کارشناس تأسیسات کارخانه کویرتایر بیرجند

دی‌ماه ۱۳۹۴