

مبانی پیل سوختی

احایر، چا، کوللا و پرینز

ترجمه از تاننیکس:

دکتر محمد هادی اکبری

دانشیار دانشگاه شیراز

دکتر غلامرضا مولایی مناس

استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران



عنوان و نام پدیدآور	:	میانی پیل سوختی / اهایر... و دیگران ترجمه و تلخیص محمدهادی اکبری، غلامرضا مولایی‌منش.
مشخصات نشر	:	تهران: چاپار: اساطیر پارسی، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	:	۳۳۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	978-600-276-071-5
وضعیت فهرست نویسی	:	فیبا
یادداشت	:	کتاب حاضر ترجمه بخشهای از کتاب "Fuel cell fundamentals" است.
یادداشت	:	اهایر، چا، کوللا و پرینز.
یادداشت	:	چاپ قبلی: کتاب پدیده، ۱۳۹۲.
موضوع	:	پیل‌های سوختی — کتاب‌های درسی
شماره افزوده	:	اوهیر، رایان پی.
شماره افزوده	:	O'Hayre, Ryan P.
شماره افزوده	:	اکبری، محمدهادی، ۱۳۴۵ — مترجم
شماره افزوده	:	بی‌منش، غلامرضا، ۱۳۶۳ — مترجم
رده بندی کنگره	:	TK۲۹۳۱/م۲ ۱۳۹۴
رده بندی دیویی	:	۶۲۰/۳۱۲
شماره کتابشناسی ملی	:	۴۱۰۲۵۱



تهران: ۸۸۸۹۶۸۰ - ۰۹۱۲۱۹۶۰۲۱۱

تهران - خیابان ولی عصر (عج) - بالاتر از زرتشت

کوچه نوربخش - پلاک ۴۰ - پارس

میانی پیل سوختی

اهایر، چا، کوللا و پرینز

ترجمه و تلخیص:

دکتر محمدهادی اکبری

دکتر غلامرضا مولایی منش

صفحه‌آرا و طراح جلد: رحیم کبیرصابر

ناظر فنی چاپ: مریم تقضلی

چاپ اول ۱۳۹۴

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۲۷۶-۰۷۱-۵ ISBN: 978-600-276-071-5

حق هرگونه چاپ و انتشار محفوظ است.

قیمت: ۲۰.۰۰۰ تومان

فهرست مطالب

۱۱	بخش اول
۱۱	مبانی پیل سوختی
۱۳	فصل ۱: آشنایی با پیل های سوختی
۱۳	۱-۱- پیل سوختی چیست
۱۵	۱-۲- یک پیل سوختی ساده
۱۷	۱-۳- علت محدود بودن جریان الکتریکی
۲۰	۱-۴- اتصال سلول ها به صورت سری و کمک صفحات دوقطبی
۲۵	۱-۵- انواع پیل سوختی ها
۲۵	۱-۵-۱- پیل های سوختی پلیمری
۲۷	۱-۵-۲- پیل های سوختی بازی
۲۷	۱-۵-۳- پیل های سوختی اسید فسفریک
۲۸	۱-۵-۴- پیل های سوختی اکسید جامد
۲۹	۱-۵-۵- پیل های سوختی کربنات مذاب
۳۰	۱-۶- سایر اجزای یک سیستم پیل سوختی
۳۲	۱-۷- مبنای مقایسه سیستم های تولید توان
۳۵	۱-۸- مزایا و کاربردهای سیستم های پیل سوختی
۳۶	۱-۹- معایب سیستم های پیل سوختی
۳۷	۱-۱۰- عملکرد یک پیل سوختی
۳۸	۱-۱۱- مشخصه سازی عملکرد یک پیل سوختی
۴۰	۱-۱۲- پیل های سوختی و محیط زیست
۴۱	۱-۱۳- جمع بندی

فصل ۲: ترمودینامیک پیل سوختی.....	۴۵
۱-۲- مروری بر ترمودینامیک.....	۴۶
۱-۱-۲- ترمودینامیک چیست؟.....	۴۶
۲-۱-۲- انرژی داخلی.....	۴۷
۳-۱-۲- قانون اول ترمودینامیک.....	۴۸
۴-۱-۲- قانون دوم ترمودینامیک.....	۴۹
۵-۱-۲- پتانسیل‌های ترمودینامیکی.....	۵۲
۶-۱-۲- انواع کمیت‌ها.....	۵۶
۷-۱-۲- شرایط استاندارد.....	۵۷
۸-۱-۲- برگشت‌پذیری.....	۵۷
۲-۲- پدسیا، نرمای، سوخت: آنتالپی واکنش.....	۵۸
۲-۲-۲- سبه آنتالپی‌های واکنش.....	۶۰
۲-۲-۲- مایی آنتالپی.....	۶۲
۳-۲- پتانسیل کاری یک سوخت، انرژی آزاد گیز.....	۶۳
۱-۳-۲- محاسبه‌ی انرژی آزاد گیز.....	۶۳
۲-۳-۲- رابطه بین انرژی آزاد گیز و بار الکتریکی.....	۶۶
۳-۳-۲- ارتباط انرژی آزاد گیز و میزا خودبه‌خودی بودن واکنش.....	۶۷
۴-۳-۲- ارتباط انرژی آزاد گیز و ولتاژ.....	۶۸
۵-۳-۲- پتانسیل استاندارد الکترودها: محاسبه‌ی رسانای برگشت‌پذیر.....	۷۰
۴-۲- پیش‌بینی ولتاژ برگشت‌پذیر یک پیل سوختی تحت شرایط استاندارد.....	۷۴
۱-۴-۲- تغییرات ولتاژ برگشت‌پذیر با دما.....	۷۵
۲-۴-۲- تغییرات ولتاژ برگشت‌پذیر با فشار.....	۷۷
۳-۴-۲- تغییرات ولتاژ برگشت‌پذیر با غلظت: معادله‌ی نرسنت.....	۷۹
۴-۴-۲- سلول‌های غلظتی.....	۸۴
۵-۴-۲- جمع‌بندی.....	۸۶
۵-۲- بازده پیل سوختی.....	۸۷
۱-۵-۲- بازده ایده‌آل برگشت‌پذیر پیل سوختی.....	۸۸
۲-۵-۲- بازده واقعی (عملی) یک پیل سوختی.....	۹۰
۶-۲- جمع‌بندی.....	۹۳
فصل ۳: سینتیک واکنش در پیل سوختی.....	۹۵
۱-۳- مقدمه‌ای بر سینتیک الکتروود.....	۹۶

- ۱-۱-۳- واکنش‌های الکتروشیمیایی متفاوت از واکنش‌های شیمیایی هستند..... ۹۶
- ۱-۱-۳-۲- فرایندهای الکتروشیمیایی از نوع ناهمگن هستند..... ۹۶
- ۱-۱-۳-۳- جریان الکتریکی نوعی نرخ است..... ۹۷
- ۱-۱-۳-۴- بار الکتریکی نوعی مقدار است..... ۹۸
- ۱-۱-۳-۵- چگالی جریان اساسی‌تر از جریان است..... ۹۸
- ۱-۱-۳-۶- پتانسیل الکتریکی، انرژی الکترون را کنترل می‌کند..... ۹۹
- ۱-۱-۳-۷- نرخ‌های واکنش‌ها محدود هستند..... ۱۰۰
- ۱-۱-۳-۲- انرژی فعال‌سازی، نرخ واکنش را معین می‌کند..... ۱۰۱
- ۱-۱-۳-۲- محاسبه‌ی نرخ برآیند یک واکنش..... ۱۰۳
- ۱-۱-۳-۳- نرخ واکنش در حالت تعادل: چگالی جریان مبادله‌ای..... ۱۰۵
- ۱-۱-۳-۵- پتانسیل، الکتریکی و نرخ واکنش: معادله‌ی باتلر- فولمر..... ۱۰۸
- ۱-۱-۳-۶- جریان مبادله‌ای الکتروکاتالیزور: چگونه کارایی سینتیکی را افزایش دهیم؟..... ۱۱۴
- ۱-۱-۳-۶-۱- بررسی غایت واکنش دهنده..... ۱۱۵
- ۱-۱-۳-۶-۲- کاهش مانع دالسی..... ۱۱۶
- ۱-۱-۳-۶-۳- چگونه یک "کاتالیزور" مانع فعال‌سازی را کاهش می‌دهد؟..... ۱۱۷
- ۱-۱-۳-۶-۴- افزایش دما..... ۱۲۰
- ۱-۱-۳-۶-۵- افزایش تعداد سایت‌های واکنشی..... ۱۲۱
- ۱-۱-۳-۷- سینتیک فعال‌سازی ساده‌سازی شده: معادله‌ی زایل..... ۱۲۲
- ۱-۱-۳-۸- واکنش‌های مختلف پیل سوختی، سینتیک‌ها..... ۱۲۶
- ۱-۱-۳-۹- طراحی مجموعه‌ی الکتروکاتالیزور..... ۱۲۹
- ۱-۱-۳-۱۰- جمع‌بندی..... ۱۳۱
- فصل ۴: انتقال بار الکتریکی در پیل سوختی..... ۱۳۵
- ۴-۱- بارها در پاسخ به نیروها حرکت می‌کنند..... ۱۳۶
- ۴-۲- انتقال بار افت ولتاژ ایجاد می‌کند..... ۱۴۰
- ۴-۳- مشخصات مقاومت انتقال بار الکتریکی در پیل سوختی..... ۱۴۳
- ۴-۱-۳- مقاومت با مساحت رابطه دارد..... ۱۴۴
- ۴-۲-۳- مقاومت با ضخامت رابطه دارد..... ۱۴۷
- ۴-۳-۳- مقاومت‌های پیل سوختی با هم جمع می‌شوند..... ۱۴۸
- ۴-۳-۴- مقاومت یونی (مقاومت الکتروولیت) معمولاً بیشترین تأثیر را دارد..... ۱۴۹
- ۴-۴- معنی فیزیکی هدایت الکتریکی (یا یونی)..... ۱۵۰
- ۴-۱-۴- هادی‌های الکترونی در مقابل هادی‌های یونی..... ۱۵۱

- ۱۵۳..... ۴-۴-۲- هدایت الکترون در یک فلز.
- ۱۵۴..... ۴-۴-۳- هدایت یونی در یک الکترولیت جامد کریستالی.
- ۱۵۵..... ۴-۵-۵- مروری بر گروه‌های مختلف الکترولیت در پیل‌های سوختی.
- ۱۵۶..... ۴-۵-۱- هدایت یونی در الکترولیت‌های محلول آبی / مایع‌های یونی.
- ۱۶۰..... ۴-۵-۲- هدایت یونی در الکترولیت‌های پلیمری.
- ۱۷۲..... ۴-۵-۳- هدایت یونی در الکترولیت‌های سرامیکی.
- ۱۷۶..... ۴-۶-۶- چرا نیروی محرک الکتریکی بیشترین اثر را در انتقال بار دارد؟
- ۱۷۹..... ۴-۷- جمع‌بندی.

فصل ۵: انتقال جرم در پیل‌های سوختی..... ۱۸۱

- ۱۸۲..... ۵-۱- انتقال جرم: الکترودها در مقایسه با ساختار جریان.
- ۱۸۵..... ۵-۲- انتقال جرم در آنزودها: انتقال جرم نفوذی.
- ۱۸۶..... ۵-۱-۲- رانش یای اکتروشمیایی باعث نفوذ می‌شوند.
- ۱۹۲..... ۵-۲-۲- چگالی جریان حد.
- ۱۹۳..... ۵-۲-۳- غلظت، برآیند رانش می‌گذارد.
- ۱۹۵..... ۵-۲-۴- غلظت بر نرخ و رانش می‌گذارد.
- ۱۹۷..... ۵-۲-۵- جمع‌بندی تلفات غلظت، در پیل سوختی.
- ۱۹۹..... ۵-۳- انتقال جرم در ساختارهای جریان: انتقال جرم همرفتی.
- ۲۰۱..... ۵-۳-۱- مروری بر مکانیک سیالات.
- ۲۰۳..... ۵-۳-۲- انتقال جرم در کانال‌های جریان.
- ۲۰۶..... ۵-۳-۳- گاز در امتداد کانال جریان مصرف می‌شود.
- ۲۱۱..... ۵-۳-۴- طراحی ساختار جریان.
- ۲۱۴..... ۵-۴- جمع‌بندی.

فصل ۶: مدل‌سازی پیل سوختی..... ۲۱۹

- ۲۲۰..... ۶-۱- یک مدل ساده پیل سوختی، کنار هم قرار دادن همه چیز.
- ۲۲۵..... ۶-۲- معرفی یک مدل یک بعدی پیل سوختی اکسید جامد و پیل سوختی پلیمری.
- ۲۲۶..... ۶-۲-۱- بالانس شار در پیل‌های سوختی.
- ۲۳۰..... ۶-۲-۲- فرضیات ساده‌کننده.
- ۲۳۴..... ۶-۲-۳- معادلات حاکم.
- ۲۳۸..... ۶-۳- مثال‌ها.
- ۲۳۸..... ۶-۳-۱- مثال مربوط به مدل یک بعدی پیل‌های سوختی اکسید جامد.

۶-۳-۲- تأثیرات مصرف شدن گازها: تغییر مدل یک بُعدی

- ۲۴۲..... پیل‌های سوختی اکسید جامد.....
 ۲۴۵..... مثال: مدل یک بُعدی پیل سوختی پلیمری.....
 ۲۵۳..... ملاحظات دیگر.....
 ۲۵۴..... مدل‌های پیل سوختی بر اساس دینامیک سیالات محاسباتی.....
 ۲۵۶..... جمع‌بندی.....

بخش دوم..... ۲۵۹

فصل ۱: بررسی مختصر انواع پیل‌های سوختی..... ۲۶۱

- ۲۶۲..... ۱-۷- پیل حرارتی اکسید فسفریک.....
 ۲۶۴..... ۲-۷- پیل سوختی پلیمری.....
 ۲۶۷..... ۳-۷- پیل سوختی بازی.....
 ۲۶۹..... ۴-۷- پیل سوختی کاتولیک.....
 ۲۷۱..... ۵-۷- پیل سوختی اکسید جامد.....
 ۲۷۳..... ۶-۷- جمع‌بندی مقایسه‌ای.....
 ۲۷۵..... ۷-۷- جمع‌بندی.....

فصل ۸: سیستم‌های یک پیل سوختی..... ۲۷۷

- ۲۷۸..... ۱-۸- استک پیل سوختی (زیرسیستم پیل سوختی).....
 ۲۸۱..... ۲-۸- زیرسیستم مدیریت حرارتی.....
 ۲۸۵..... ۳-۸- زیرسیستم تأمین یا فرآیند سوخت.....
 ۲۸۶..... ۱-۳-۸- ذخیره‌سازی هیدروژن.....
 ۲۸۸..... ۲-۳-۸- استفاده از یک حامل هیدروژن.....
 ۲۹۳..... ۳-۳-۸- جمع‌بندی زیرسیستم تأمین سوخت فرآیند سوخت.....
 ۲۹۳..... ۴-۸- زیرسیستم الکترونیک قدرت.....
 ۲۹۶..... ۵-۸- طراحی یک مورد نمونه‌ی سیستم پیل سوختی:
 تعیین اندازه یک پیل سوختی قابل حمل.....
 ۲۹۸..... ۶-۸- جمع‌بندی.....

فصل ۹: یکپارچه‌سازی سیستم پیل سوختی و طراحی زیرسیستم‌ها..... ۳۰۳

- ۳۰۴..... ۱-۹- نگاهی کلی به یکپارچه‌سازی چهار زیرسیستم اصلی.....
 ۳۰۶..... ۱-۱-۹- مدل سوخت.....
 ۳۰۷..... ۲-۱-۹- زیرسیستم پیل سوختی.....

- ۳۰۸-۳-۱-۹- زیرسیستم توان الکتریکی.....
- ۳۱۰-۴-۱-۹- زیرسیستم مدیریت حرارتی.....
- ۳۱۰-۵-۱-۹- رانده‌مان‌های جریان الکتریکی خالص و بازیافت حرارت.....
- ۳۱۱-۲-۹- زیرسیستم‌های تبدیل سوخت.....
- ۳۱۲-۱-۲-۹- نگاه کلی به ریفورمینگ سوخت.....
- ۳۱۴-۲-۲-۹- ریفورمینگ بخار (SR).....
- ۳۱۵-۳-۲-۹- ریفورمینگ اکسایش جزئی (POX).....
- ۳۱۷-۴-۲-۹- ریفورمینگ خود دما (ATR).....
- ۳۱۹-۵-۱-۹- راکتورهای شیف‌ت آب و گاز (WGS).....
- ۳۲۰-۶-۲-۹- مرحله پاک‌سازی CO.....
- ۳۲۱-۱-۲-۹- تبدیل انتخابی مونوکسید کربن به متان.....
- ۳۲۲-۲-۲-۹- تبدیل انتخابی مونوکسید کربن به دی‌اکسید کربن.....
- ۳۲۲-۹-۲-۹- جداسازی با فشار (PSA).....
- ۳۲۳-۱۰-۲-۹- جداسازی با اشتهاء الادیوم.....
- ۳۲۴-۳-۹- زیرسیستم مدیریت حرارتی.....
- ۳۲۵-۱-۳-۹- دید کلی از مراحل تحلیل پیل سوختی.....
- ۳۲۸-۴-۹- جمع‌بندی.....