

بنام یزدان پاک

فناوری پیل سوختہ

علیمی

www.ketab.ir

دکتر میرا امانے

(عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رباط کریم)

سرشناسه	امانی، میترا، ۱۳۵۸ -
عنوان و نام پدیدآور	فناوری پیل سوختی پلیمری/ میترا امانی
مشخصات نشر	تهران: فرهنگد، ۱۳۹۵
مشخصات ظاهری	۲۹۳ ص: مصور، جدول.
سایک	9786006211717
وضعیت فهرست نویسی	نیا
موضوع	پیل‌های سوختی
موضوع	Fuel cells
موضوع	پلی‌الکترولیت‌ها
موضوع	Polyelectrolytes
رده بندی کنگره	۱۳۹۵ ۹۹۸/الف/TK۲۹۳۱
رده بندی دیویی	۶۲۱/۳۱۲۴۲۹
شماره کتابشناسی ملی	۴۲۴۰۸۷۵



نشر دانشگاهی فرهنگد

نام کتاب: فناوری پیل سوختی پلیمری

مؤلف: دکتر میترا امانی (عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رباط کریم)

سال چاپ: اول ۱۳۹۵

شمارگان: ۲۰۰ نسخه

بها: ۲۱۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۲۱۵-۷۴-۷

نشر دانشگاهی فرهنگد: تهران، خیابان انقلاب، ساختمان ۳۲۰، طبقه زیرین

تلفن: ۶۶۴۱۰۶۸۸-۶۶۹۵۳۷۷۴

خرید مستقیم از طریق سایت با تخفیف www.farbook.ir

حق چاپ برای نشر دانشگاهی فرهنگد محفوظ می باشد. هرگونه کپی برداری، تکثیر بدون اجازه کتبی از ناشر ممنوع بوده و پیگرد قانونی دارد.

www.farbook.ir

farbook.pub@gmail.com

فهرست مطالب

فصل ۱: معرفی پیل سوختی و مروری بر انواع آن

۱-۱ تاریخچه	۲
۲-۱ پیل سوختی	۳
۳-۱ مزایا و معایب پیل سوختی	۶
۴-۱ انواع پیل سوختی	۷
۱-۱ پیل سوختی قلبایی	۸
۴-۱-۱ تاریخچه	۸
۴-۱-۲ مشخصات ساختاری و عملیاتی	۹
۴-۱-۳ واکنش‌های پیل سوختی قلبایی	۱۰
۴-۱-۴ پیل سوختی اسید فسفریک	۱۱
۴-۱-۵ تاریخچه	۱۱
۴-۱-۶ مشخصات ساختاری و عملیاتی	۱۱
۴-۱-۷ عملکرد و واکنش‌های پیل سوختی اسید فسفریک	۱۲
۴-۱-۸ پیل سوختی کربنات مذاب	۱۳
۴-۱-۹ تاریخچه	۱۳
۴-۱-۱۰ مشخصات ساختاری و عملیاتی	۱۴
۴-۱-۱۱ عملکرد و واکنش‌های پیل سوختی کربنات مذاب	۱۴
۴-۱-۱۲ پیل سوختی اکسید جامد	۱۶
۴-۱-۱۳ تاریخچه	۱۶
۴-۱-۱۴ مشخصات ساختاری و عملیاتی	۱۷
۴-۱-۱۵ عملکرد و واکنش‌های پیل سوختی اکسید جامد	۱۷
۴-۱-۱۶ پیل سوختی پلیمری	۱۹
۴-۱-۱۷ تاریخچه	۱۹
۴-۱-۱۸ مشخصات ساختاری و عملیاتی	۲۰
۴-۱-۱۹ عملکرد و واکنش‌های پیل سوختی پلیمری	۲۱
۴-۱-۲۰ پیل سوختی متانولی	۲۲
۴-۱-۲۱ مشخصات ساختاری و عملیاتی	۲۲
۴-۱-۲۲ عملکرد و واکنش‌های پیل سوختی متانولی	۲۳

فصل ۲: ترمودینامیک و الکتروشیمی پیل سوختی

- ۲۸ ۱-۲ واکنش‌های ابتدایی ۲۸
- ۲۸ ۲-۲ گرمای واکنش ۲۸
- ۲۹ ۳-۲ کار الکتریکی تئوری ۲۹
- ۳۰ ۴-۲ پتانسیل تئوری پیل سوختی ۳۰
- ۳۱ ۵-۲ تأثیر پارامترهای عملیاتی بر پتانسیل تئوری پیل سوختی ۳۱
- ۳۱ ۱ ۵-۲ بررسی تأثیر دما ۳۱
- ۳۳ ۲-۵-۲ بررسی تأثیر فشار ۳۳
- ۳۵ ۶-۲ اندمان تئوری پیل ۳۵
- ۳۷ ۷-۲ پایه راندمان پیل سوختی با راندمان سیکل کارنو ۳۷
- ۳۹ ۸-۲ سیکل مدار باز ۳۹
- ۴۱ ۹-۲ پیل واقعی پیل ۴۱
- ۴۱ ۹-۲ افت پیل، سبیل، فعال‌سازی (η_{act}) ۴۱
- ۴۵ ۲-۹-۲ افت پیل ناشی از نفوذ سوخت به غشاء / جریان‌های داخلی (نفوذ الکترون به غشاء) ۴۵
- ۴۷ ۳-۹-۲ افت پیل ناشی از افت پیل (η_{ohm}) ۴۷
- ۴۷ ۴-۹-۲ افت پتانسیل محلی (η_{con}) ۴۷
- ۵۰ ۱۰-۲ پتانسیل واقعی پیل: نمودار پلانی ۵۰
- ۵۴ ۱۱-۲ توزیع پتانسیل در یک پیل سوختی ۵۴

فصل ۳: اجزای پیل سوختی پلیمری

- ۵۶ ۱۱-۲ الکترولیت (غشاء تبادل بونی) ۵۶
- ۵۸ ۱-۱-۳ هدایت پروتونی غشاء پلیمری نفیون ۵۸
- ۶۴ ۲-۱-۳ مکانیسم انتقال آب در غشاء نفیون ۶۴
- ۶۵ ۳-۱-۳ نفوذپذیری گازهای واکنش‌گر در غشاء ۶۵
- ۶۶ ۴-۱-۳ محدودیت‌های غشاء نفیون ۶۶
- ۶۷ ۲-۳ الکتروکاتالیست ۶۷
- ۷۱ ۳-۳ لایه کاتالیست ۷۱
- ۷۴ ۴-۳ لایه نفوذ گاز ۷۴
- ۷۷ ۵-۳ مجموعه الکترود غشاء (MEA) ۷۷
- ۸۱ ۶-۳ صفحات جریان (صفحات دوقطبی) ۸۱
- ۸۴ ۱-۶-۳ جنس صفحات دوقطبی ۸۴
- ۸۵ ۱-۱-۶-۳ صفحات فلزی ۸۵
- ۸۵ ۲-۱-۶-۳ صفحات بر پایه گرافیت ۸۵
- ۸۶ ۷-۳ تک‌پیل پلیمری ۸۶
- ۸۸ ۸-۳ توده‌ی پیل سوختی (استک) ۸۸

فصل ۴: شرایط عملیاتی پیل سوختی پلیمری

- ۹۸ ۱-۴ بررسی تأثیر فشار عملیاتی
 ۱۰۰ ۲-۴ بررسی تأثیر دمای عملیاتی
 ۱۰۳ ۳-۴ بررسی تأثیر دبی گازهای واکنش گر
 ۱۰۹ ۴-۴ درصد رطوبت گازهای واکنش گر
 ۱۲۰ ۵-۴ موازنه‌ی جرم پیل سوختی
 ۱۲۱ ۵-۴ شدت جریان گازهای ورودی به پیل
 ۱۲۲ ۵-۴ شدت جریان گازهای خروجی از پیل
 ۱۲۵ ۶-۴ موازنه‌ی انرژی پیل سوختی

فصل ۵: ارزیابی اجزای پیل و استک پیل پلیمری

- ۱۳۰ ۱-۵ الکتروکاتالیست و لایه کاتالیست
 ۱۳۰ ۱-۵-۱ ترکیب
 ۱۳۱ ۵-۱-۲ اندازه و توزیع ذرات
 ۱۳۴ ۵-۱-۳ مساحت سطح
 ۱۳۵ ۵-۱-۴ فعالیت کاتالیستی
 ۱۳۵ ۵-۱-۴-۱ الکتروکدیسک - رن (RDE)
 ۱۳۸ ۵-۱-۴-۲ ولتامتری چرخه‌ای
 ۱۴۱ ۵-۱-۴-۳ ولتامتری دفع CO
 ۱۴۴ ۵-۲ غشاء
 ۱۴۴ ۵-۲-۱ رسانایی پروتونی
 ۱۴۶ ۵-۲-۲ میزان جذب آب
 ۱۴۷ ۵-۲-۳ دوام و پایداری
 ۱۴۸ ۵-۲-۴ تغییر ابعاد
 ۱۴۹ ۵-۳ لایه‌ی نفوذ گاز
 ۱۴۹ ۵-۳-۱ رسانایی الکتریکی
 ۱۵۱ ۵-۳-۲ آب‌گریزی
 ۱۵۲ ۵-۳-۳ تخلخل و نفوذپذیری
 ۱۵۴ ۵-۴ صفحات جریان
 ۱۵۴ ۵-۴-۱ رسانایی
 ۱۵۸ ۵-۴-۲ چگالی و نفوذپذیری
 ۱۵۹ ۵-۴-۳ مقاومت در برابر اکسایش و خوردگی
 ۱۶۱ ۵-۵ مجموعه‌ی الکتروکد (MEA)
 ۱۶۱ ۵-۵-۱ بارگیری الکتروکاتالیست

۱۶۱	۵-۲ مساحت سطح فعال الکتروشیمیایی (ECSA)
۱۶۱	۵-۳ نفوذ هیدروژن به داخل غشاء
۱۶۲	۵-۶ تک پیل پلیمری
۱۶۲	۵-۶-۱ نمودار پلاریزاسیون
۱۶۵	۵-۶-۲ تکنیک قطع جریان
۱۶۷	۵-۶-۳ طیفسنجی الکتروشیمیایی امیدانس (EIS)
۱۷۲	۵-۶-۴ دوام و پایداری
۱۷۳	۵-۶-۵ تغییرات بار
۱۷۳	۵-۶-۶ تغییرات متناوب دما
۱۷۴	۵-۶-۷ مقاومت در برابر ترکیبات آلاینده
۱۷۶	۵-۶-۸ استاک پیل سوختی
۱۷۶	۵-۷-۱ کاتالیزور و دوام
۱۷۸	۵-۷-۲ سرعت ماندازی و مشکلات دمای زیر حفر

فصل ۶. دوام و پایداری پیل های پلیمری

۱۸۲	۶-۱ مقدمه
۱۸۳	۶-۲ انواع افت کارایی در پیل
۱۸۶	۶-۳ بررسی نمودار تغییر افت پتانسیل در شرایط عملی
۱۸۶	۶-۴ انواع افت های ناشی از اجزای پیل پلیمری
۱۹۰	۶-۴-۱ افت فعالیت کاتالیستی
۱۹۰	۶-۴-۲ مهم ترین عوامل کاهش فعالیت کاتالیست
۱۹۱	۶-۴-۳ افت اهمی
۱۹۱	۶-۴-۴ مهم ترین عوامل ایجاد افت اهمی
۱۹۱	۶-۴-۵ افت ناشی از مقاومت در برابر انتقال جرم واکنش گرما
۱۹۲	۶-۴-۶ مهم ترین عوامل افت انتقال جرم
۱۹۲	۶-۴-۷ نفوذ الکترون و واکنش گرما به درون غشاء و اتصال کوتاه الکتریکی
۱۹۲	۶-۴-۸ مهم ترین عوامل نفوذ به درون غشاء و اتصال کوتاه الکتریکی
۱۹۳	۶-۵ شرایط عملیاتی
۱۹۳	۶-۵-۱ پتانسیل
۱۹۸	۶-۵-۲ تاثیر پتانسیل بالا و سیکل های پتانسیل بر پلاتین
۱۹۹	۶-۵-۳ تاثیر پتانسیل بر پایداری کربن
۲۰۱	۶-۵-۴ دما
۲۰۲	۶-۵-۵ رطوبت غشاء
۲۰۴	۶-۵-۶ تاثیر رطوبت و سیکل های مرطوب سازی بر غشاء پلیمری
۲۰۴	۶-۶ آزمون های شتاب دار

- ۲۱۰ ۱-۷ کاربرد پیل سوختی پلیمری در حمل و نقل
- ۲۱۲ ۲-۷ کاربرد پیل سوختی پلیمری در شرایط ساکن
- ۲۱۳ ۳-۷ برق اضطراری
- ۲۱۴ ۴-۷ کاربرد پیل سوختی پلیمری جهت تامین انرژی در تجهیزات قابل حمل کوچک

فصل ۸: هیدروژن

- ۲۱۶ ۱-۸ خواص هیدروژن (H_2)
- ۲۱۸ ۲-۸ تولید هیدروژن
- ۲۱۸ ۳-۸ رفرمینگ ترکیبات هیدروکربنی و الکل‌ها
- ۲۳۰ ۴-۸ تجزیه آمونیاک
- ۲۳۴ ۵-۸ استرولیز (برقکافت) آب
- ۲۳۴ ۶-۸ اندمان
- ۲۳۹ ۷-۸ افزایش فشار داخلی
- ۲۴۱ ۸-۲ منابع هیدروژن
- ۲۴۱ ۹-۲ فلز
- ۲۴۴ ۱۰-۲ هیدریدهای فلزی کم‌سلکس (بمبیده)
- ۲۴۷ ۱۱-۲ ذخیره‌سازی هیدروژن
- ۲۴۷ ۱۲-۲ گاز فشرده
- ۲۴۹ ۱۳-۲ هیدرید فلزی
- ۲۵۲ ۱۴-۲ حمل و نقل و سوخت‌گیری هیدروژن
- ۲۵۳ ۱۵-۲ ایمنی هیدروژن به عنوان سوخت

فصل ۹: پیل سوختی متانولی

- ۲۶۰ ۱-۹ مقدمه
- ۲۶۱ ۲-۹ انواع پیل‌های متانولی
- ۲۶۲ ۳-۹ الکترولیت متانولی
- ۲۶۲ ۴-۹ واکنش آندی در پیل متانولی با الکترولیت قلیایی
- ۲۶۳ ۵-۹ واکنش آندی در پیل متانولی با غشاء پلیمری
- ۲۶۵ ۶-۹ سوخت آند
- ۲۶۶ ۷-۹ الکترود کاتالیست‌های آند
- ۲۶۷ ۸-۹ غشاء پیل متانولی
- ۲۶۷ ۹-۴ چگونگی نفوذ سوخت در غشاء
- ۲۶۸ ۱۰-۴ اندازه‌گیری میزان نفوذ متانول در غشاء
- ۲۶۹ ۱۱-۴ روش‌های استاندارد کاهش نفوذ سوخت در غشاء

- ۲۷۱ ۹ ۵ الکتروود کنند
- ۲۷۱ ۹-۶ تولید متانول
- ۲۷۲ ۹-۷ ایمنی متانول
- ۲۷۵ ۹-۸ مقایسه‌ی متانول و اتانول
- ۲۷۶ ۹-۹ ذخیره‌سازی متانول
- ۲۷۶ ۹-۱۰ کاربردهای پیل سوختی متانولی

www.ketab.ir

تحقیقات گسترده و سرمایه‌گذاری کلان کشورهای صنعتی در راستای توسعه‌ی فناوری پیل سوختی، وضع قوانین سخت زیست محیطی، تخصیص بارانه به انرژی‌های نو و سرعت بخشیدن به ایجاد زیر ساخت‌های سوخت هیدروژن، پایان‌پذیری منابع نفتی، افزایش دمای کردی زمین و رشد جمعیت. همگی دال بر قطعیت جایگزینی فناوری پیل سوختی و کاهش گرایش به سمت موتورهای درون‌سوز است. اهمیت بالای هیدروژن و فناوری پیل سوختی، بسیاری از کشورهای پیشرفته‌ی جهان را به تحقیق و برنامه‌ریزی درازمدت در در این زمینه واداشته است. در این رابطه می‌توان به تلاش‌های گسترده‌ی کشورهای ژاپن، آمریکا و اتحادیه‌ی اروپا به عنوان سه قطب اصلی توسعه‌ی این فناوری و فعالیت‌های کشورهای در حال توسعه نظیر چین، کره جنوبی، هند و برزیل اشاره کرد. اخیراً، اتحادیه‌ای متشکل از باترزد کشور جهان به همراه کمیسیون اروپا نیز همکاری‌های بین‌المللی خود را در زمینه‌ی توسعه‌ی فناوری‌های مرتبط با هیدروژن سرعت بخشیده‌اند. لذا انتظار می‌رود این فناوری تأثیر سگرفی بر بازار جهانی انرژی و انرژی مصرف آن داشته باشد.

در ایران نیز هیئت وزیران در جلسه‌ی مورخ ۱۳۸۶/۴/۳ بنا به پیشنهاد شماره‌ی ۶۶۸۹۲/۳۵/۱۰۰ مورخ ۱۳۸۴/۱۱/۸ وزارت نیرو، به تصویب اساسنامه‌ی یکصد و سی و هشتم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، سند راهبرد ملی توسعه‌ی فناوری پیل سوختی کشور را به منظور توسعه‌ی نظام‌مند این فناوری در کشور و بر مبنای مطالعات امکان‌سنجی، تحلیل جذابیت پیل سوختی، تدوین استراتژی توسعه‌ی این فناوری در کشور (که در مدت دو سال ۱۳۸۲-۱۳۸۱) در کمیته راهبری پیل سوختی تصویب شده است.) تصویب نموده است.

با توجه به وجود منابع عظیم گاز طبیعی، یکی از مهم‌ترین منابع استحصال هیدروژن و قابل استفاده‌ی مستقیم در برخی انواع پیل سوختی، برخورداری کشور از پتانسیل مناسب نیروی انسانی متخصص، وجود تجربه و توان علمی در تبدیل و فناوری سوخت‌های فسیلی، وجود منابع مناسب انرژی‌های تجدیدپذیر با قابلیت استحصال هیدروژن دستیابی به جایگاه مناسب برای ایران در فناوری پیل سوختی به سادگی امکان‌پذیر است.

از میان انواع پیل سوختی، پیل سوختی پلیمری (هیدروژنی و متانولی) به دلیل دمای عملیاتی پایین و وجود الکترولیت جامد در آن، جایگزین مناسبی برای موتورهای درون‌سوز در خودرو و باتری‌های لیتیومی در وسایل الکترونیکی قابل حمل محسوب می‌شوند. امروزه توسعه‌ی خودروهای پیل سوختی در جهان به سرعت در حال رشد بوده و شرکت‌های بزرگ خودروسازی مانند جنرال موتورز و هوندا بیش از یک میلیارد دلار صرف تحقیقات در این تکنولوژی کرده‌اند. شرکت هوندا تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص پیل‌های سوختی و خود‌های هیدروژنی انجام داده است. این شرکت یکی از چند شرکت خودروسازی است که در سال ۲۰۱۲ با ساخت یک خودروی سوخت هیدروژنی انجام پیل سوختی و ایجاد زیر ساخت‌های سوخت‌گیری هیدروژنی در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۴ را به امضا رسانده است. این شرکت در سال ۲۰۰۸ خودروی پیل سوختی FCX Clarity را به بازار خودرو معرفی کرد و بر اساس اعلام آن در سال ۲۰۱۲، خودروی مجهز به پیل سوختی الکتریکی جدید را تا سال ۲۰۱۶ به بازار عرضه خواهد نمود که

۱. اعضای این کمیته: معاونت انرژی وزارت نیرو، دفتر همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری، سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران (به نمایندگی از وزارت صنایع)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، سازمان حفاظت محیط زیست، سازمان انرژی‌های نو ایران (وابسته به وزارت نیرو)، پژوهشگاه صنعت نفت و سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت (به نمایندگی از وزارت نفت)، توانیر، مرکز گسترش فناوری اطلاعات، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران (به نمایندگی از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری) و شرکت‌های خصوصی فعال در این بخش نظیر کارخانجات خودروسازی ایران خودرو، سایپا و مرکز تحقیقات زیست محیطی دانا.

این خودرو در مقایسه با FCX Clarity از لحاظ فناوری پیل سوختی پیشرفته‌تر و هزینه‌های تولید آن کمتر است. شرکت‌های جنرال موتورز و هوندا از پیشگامان فناوری پیل سوختی هستند و در فهرست رشد شاخص انرژی پاک^۱ به ترتیب مقام اول و دوم را به خود اختصاص داده و از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ بیش از ۱۲۰۰ حق امتیاز به ثبت رسانده‌اند.

علیرغم مزایای مذکور، راندمان پایین و قیمت بالای پیل‌های پلیمری کاربرد گسترده‌ی آنها را محدود ساخته است. رفع این نواقص نیازمند شناخت دقیق این پیل‌ها و عملکرد آنها است. بدین این کتاب در راستای تحقق این هدف و با بهره‌گیری از منابع معتبر داخلی و خارجی بوده است. در دو فصل اول این کتاب انواع پیل سوختی معرفی شده و اصول الکتروشیمیایی و ترمودینامیکی حاکم بر آنها مورد مطالعه قرار گرفته است. در فصول بعدی اجزای سازنده‌ی یک پیل پلیمری، شرایط عملیاتی این پیل‌ها و روابط مربوطه، روش‌های ارزیابی عملکرد این اجزا و ارزیابی عملکرد تک پیل و توده‌ی پیل پلیمری، عوامل موثر بر دوام و طول عمر این پیل‌ها و کاربرد آنها به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. با توجه به اهمیت مسائل مربوط به هیدروژن از نظر روش‌های تولید، ذخیره‌سازی و ایمنی، یک فصل از این کتاب نیز به این موارد اختصاص یافته است. در فصل آخر نیز پیل متانولی به عنوان یکی از انواع پیل پلیمری و جایگزین مناسب باتری‌های لیتیومی مورد مطالعه قرار گرفته است.

امید است این اثر مورد توجه عناوین متخصصین و علاقمندان به این فناوری قرار گیرد. از تمامی صاحب‌نظران و اساتید گرامی تقاضا دارم نظرات اصلاحی خود را یا نویسنده مطرح سازند تا در کارهای آتی مورد توجه قرار گیرد.

www.ketabonline.ir