

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه بیرجند
دانشکده مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

مدل سازی و بهینه سازی یک بعدی و غیر هم دمای پیل سوختی پلیمری و

مقایسه آن با نتایج تجربی

محمود رضائی

استاد راهنما:

دکتر حسن حسن زاده

استاد مشاور:

دکتر سید یوسف احمدی بروغنی

تابستان ۱۳۹۱

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

یک نسخه اصل فرم مربوطه

تقدیم

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم، به خاطر تلاش های بی دریغشان در دوران زندگی

و

به همسر مهربانم، که با همدلی و همراهی خود مرا در این راه یاری رساند.

تشر و قدر دانی

بر خود لازم می دانم که از اساتید محترم گروه مکانیک که توفیق استفاده از محضرشان را داشته‌ام تقدیر و تشر کنم.

به خصوص

اساتید خوبم، آقای دکتر حسن زاده و آقای دکتر احمدی بروغنی که با تواضع و صبر در به ثمر رسیدن این پژوهش مرا یاری رساندند.

چکیده

در کار حاضر پنج ناحیه پیل سوختی پلیمری شامل الکتروود آند، کاتالیست آند، غشاء مبادله کننده پروتون، کاتالیست کاتد و الکتروود کاتد به صورت یک بعدی مورد بررسی قرار گرفت و معادلات حاکم بر انتقال گونه‌ها و معادله انرژی برای هر ناحیه بدست آمده است. همچنین تاثیر تعدادی از پارامترهای عملکردی و ساختاری پیل سوختی مانند: جرم کربن و پلاتین، مساحت سطح فعال واکنش، ضریب نفوذ اکسیژن در لایه کاتالیست، کسر جرمی پلاتین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که تغییر در جرم کربن در مقایسه با تغییر جرم پلاتین تاثیر بیشتری بر منحنی عملکرد می‌گذارد. همچنین بررسی تاثیر کسر جرمی پلاتین (f) نشان داد که افزایش مقدار آن در بازه ۱۰٪-۳۰٪ سبب بهبود عملکرد پیل سوختی می‌شود و کمترین تلفات فعال سازی به ازای $f=30\%$ است.

کلید واژه‌ها: الکتروود، پارامترهای عملکردی، پیل سوختی، کاتالیست، غشاء مبادله کننده پروتون.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ج	فهرست علایم و نشانه‌ها
ه	فهرست جدول‌ها
و	فهرست شکل‌ها
۱	فصل ۱- مروری بر پیل‌های سوختی.....
۱-۱-۱	مقدمه
۱-۲-۱	مزایای استفاده از هیدروژن به عنوان سوخت
۱-۳-۱	پیل سوختی چیست؟
۱-۴-۱	تاریخچه پیل سوختی
۱-۵-۱	زمینه‌های مختلف استفاده از پیل‌های سوختی
۱-۶-۱	معرفی انواع پیل سوختی
۱-۶-۱-۱	مقایسه کلی پیل‌های سوختی
۱-۷-۱	پیل سوختی با غشاء مبادله کننده پروتون
۱-۸-۱	ترمودینامیک پیل سوختی
۱-۹-۱	تاثیر پارامترهای عملکردی بر پتانسیل برگشت پذیر
۱-۹-۱-۱	تاثیر دما بر پتانسیل برگشت پذیر
۱-۹-۱-۲	تاثیر فشار بر پتانسیل برگشت پذیر
۱-۹-۱-۳	تاثیر غلظت بر ولتاژ برگشت پذیر
۱-۱۰-۱	انواع تلفات برگشت ناپذیر
۱-۱۱-۱	الکتروشیمی پیل سوختی
۱-۱۱-۱-۱	انرژی فعال سازی برای واکنش انتقال بار
۱-۱۱-۱-۲	انتقال بار تحت شرایط برگشت پذیر
۱-۱۱-۱-۳	واکنش انتقال بار تحت شرایط برگشت ناپذیر
۱-۱۱-۱-۴	ضریب تخلخل و مساحت سطح فعال الکتروود
۱-۱۱-۱-۵	توزیع پتانسیل پیل سوختی و لایه دوگانه
۱-۱۱-۱-۶	الکتروکاتالیست

۳۰	۱۲-۱- مدل سازی پیل سوختی
۳۱	۱۳-۱- مروری بر کارهای گذشته
۴۲	۱۴-۱- اهداف
۴۳	فصل ۲- معادلات حاکم
۴۳	۱-۲- الکتروود ها
۴۹	۲-۲- لایه کاتالیست
۵۹	۳-۲- غشاء مبادله کننده پروتون
۶۴	۴-۲- شرایط مرزی
۶۷	فصل ۳- حل و اعتبار سنجی
۶۷	۱-۳- اعتبار سنجی مدل سازی
۷۰	۲-۳- نتایج مدل سازی
۸۴	۳-۳- جمع بندی نتایج
۸۵	۴-۳- پیشنهادات
۸۶	ضمیمه أ- اثر دافور
۸۸	ضمیمه ب- معادله نفوذ برای سیستم متشکل از چند گونه
۹۲	ضمیمه ج- گرادیان غلظت، سرعت نفوذ و شار جرم
۹۸	فهرست مراجع

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
مساحت سطح بر واحد جرم کاتالیست	$A_s \left(\frac{cm^2}{g} \right)$
مساحت سطح فعال واکنش بر واحد حجم	$a \left(\frac{cm^2}{cm^3} \right)$
غلظت	$c \left(\frac{mole}{cm^3} \right)$
ظرفیت گرمایی در فشار ثابت	$c_p \left(\frac{J}{g} \right)$
نفوذپذیری آب در غشاء	$D_3 \left(\frac{cm^2}{s} \right)$
نفوذپذیری گونه i در گونه j	$D_{ij} \left(\frac{cm^2}{s} \right)$
ثابت فاراده	$F \left(\frac{Coulombs}{mole} \right)$
انرژی آزاد گیبس	$g \left(\frac{J}{mole} \right)$
ثابت هنری	$H \left(\frac{atm.cm^3}{mole} \right)$
تغییر آنتالپی	$\Delta h \left(\frac{J}{g} \right)$
ضریب انتقال جرم	$h_m \left(\frac{1}{s} \right)$
چگالی جریان پیل سوختی	$I \left(\frac{A}{cm^2} \right)$
چگالی جریان مبادله	$i_0 \left(\frac{A}{cm^2} \right)$
چگالی جریان پروتون در لایه کاتالیست	$i_m \left(\frac{A}{cm^2} \right)$
چگالی جریان الکترون در لایه کاتالیست	$i_s \left(\frac{A}{cm^2} \right)$
نرخ انجام واکنش	$j(x) \left(\frac{A}{cm^3} \right)$
رسانایی حرارتی	$K \left(\frac{W}{cm.K} \right)$
نفوذپذیری هیدرولیکی	$K_p \left(cm^2 \right)$
رسانایی الکتریکی	$k_s \left(\frac{1}{\Omega.cm} \right)$

$k_m \left(\frac{1}{\Omega \cdot cm} \right)$	رسانایی پروتونی
$M_i \left(\frac{g}{mole} \right)$	جرم مولی گونه i
$m_{pt} (g)$	جرم پلاتین
$N_i \left(\frac{mole}{cm^2 \cdot s} \right)$	شار مولی گونه i
n	مول الکترون بر واحد مول سوخت
$P (atm)$	فشار
$\dot{q} \left(\frac{W}{cm^3} \right)$	شار حرارت
$R \left(\frac{J}{mole \cdot K} \right)$	ثابت جهانی گاز
$\Delta s \left(\frac{J}{g \cdot K} \right)$	تغییر انتروپی
sh	عدد شروود
$T (K)$	دما
$V_{oc} (V)$	پتانسیل برگشت پذیر سلول
$V_{cell} (V)$	اختلاف پتانسیل سلول

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۵	جدول ۱-۱: مقایسه کلی بین پیل‌های سوختی از نظر دمای کارکرد، بازده و توان تولید
۳۲	جدول ۲-۱: بررسی تحقیق زاودز نسکی و همکارانش
۳۳	جدول ۳-۱: بررسی تحقیق مار و لی
۳۴	جدول ۴-۱: بررسی تحقیق برناردی و وربرگ
۳۵	جدول ۵-۱: بررسی تحقیق لیو و همکارانش
۳۶	جدول ۶-۱: بررسی تحقیق یی و نگواین
۳۸	جدول ۷-۱: بررسی تحقیق ونگ و همکارانش
۳۹	جدول ۸-۱: بررسی تحقیق ون زی و همکارانش
۴۰	جدول ۹-۱: بررسی تحقیق سایگل و همکارانش
۴۱	جدول ۱۰-۱: بررسی تحقیق خواجه حسینی و همکارانش
۶۵	جدول ۱-۲: شرایط مرزی الکتروود آند
۶۵	جدول ۲-۲: شرایط مرزی الکتروود کاتد
۶۶	جدول ۳-۲: شرایط مرزی لایه کاتالیست آند
۶۶	جدول ۴-۲: شرایط مرزی لایه کاتالیست کاتد
۶۶	جدول ۵-۲: شرایط مرزی لایه غشاء
۶۹	جدول ۱-۳: پارامترهای عملکردی و فیزیکی در شرایط پایه

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲	شکل ۱-۱: روند افزایش آلایندگی دی اکسید کربن (کانادا).....
۲	شکل ۲-۱: رشد سریع تولید خودرو در جهان.....
۳	شکل ۳-۱: منابع مختلف تامین انرژی بشر در اعصار مختلف.....
۳	شکل ۴-۱: شماتیک ساختار مولکول هیدروژن.....
۵	شکل ۵-۱: شماتیک کلی پیل سوختی.....
۶	شکل ۶-۱: اختلاف آنتالپی میان مواد اولیه و محصولات انرژی است که در حین فرآیند آزاد می‌شود.....
۷	شکل ۷-۱: قسمتهای اصلی یک پیل سوختی.....
۷	شکل ۸-۱: طرز کار پیل سوختی با الکترولیت اسیدی.....
۸	شکل ۹-۱: الگوهای مختلف صفحه توزیع کننده جریان.....
۱۰	شکل ۱۰-۱: اولین پیل سوختی سر ویلیام گرو.....
۱۲	شکل ۱۱-۱: کاربرد پیل سوختی در وسایل نقلیه.....
۱۲	شکل ۱۲-۱: کاربرد پیل سوختی در نیروگاه تولید برق.....
۱۳	شکل ۱۳-۱: کاربرد پیل سوختی به عنوان باتری رایانه.....
۱۳	شکل ۱۴-۱: زیردریایی با مولد قدرت پیل سوختی.....
۱۵	شکل ۱۵-۱: مقایسه انواع پیل سوختی.....
۲۳	شکل ۱۶-۱: شماتیک منحنی عملکرد پیل سوختی.....
۲۵	شکل ۱۷-۱: شماتیک تغییر تابع گیبس واکنش الکتروشیمیایی در شرایط برگشت پذیر.....
۲۷	شکل ۱۸-۱: تاثیر اتلاف پتانسیل بر تابع گیبس واکنش دهنده ها و محصولات در شرایط برگشت ناپذیر.....
۲۸	شکل ۱۹-۱: نمای ساده شده ی لایه دوگانه الکتریکی در نزدیکی الکتروود آند.....
۲۹	شکل ۲۰-۱: توزیع پتانسیل درون پیل سوختی.....
۳۰	شکل ۲۱-۱: تاثیر کاتالیست بر سد انرژی فعال سازی.....
۳۱	شکل ۲۲-۱: شماتیک پیل سوختی پلیمری.....
۴۳	شکل ۱-۲: دو جنس مختلف لایه نفوذ گاز (راست: کاغذ کربنی - چپ: پارچه کربنی).....
۴۴	شکل ۲-۲: موازنه جرم در حجم کنترل.....

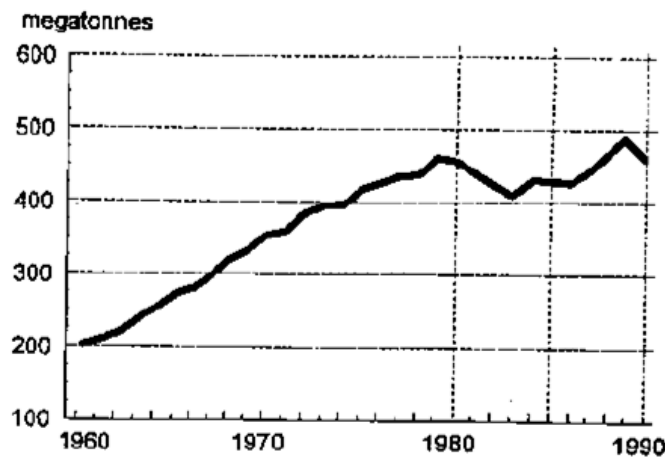
- شکل ۲-۳: موازنه انرژی در حجم کنترل ۴۷
- شکل ۲-۴: شماتیک نفوذ سری اکسیژن در لایه کاتالیست ۵۰
- شکل ۲-۵: بقای گونه ها در حجم کنترل بی نهایت کوچک ۵۲
- شکل ۲-۶: موازنه ترم های انرژی روی حجم کنترل ۵۵
- شکل ۲-۷: ترم های موازنه انرژی در یک بعد ۵۷
- شکل ۲-۸: شماتیک انتقال پروتون در زنجیره پلیمر ۵۹
- شکل ۲-۹: ساختار شیمیایی نفیون ۶۰
- شکل ۲-۱۰: بقای گونه ها در حجم کنترل بی نهایت کوچک ۶۳
- شکل ۲-۱۱: شماتیک یک بعدی پنج ناحیه پیل سوختی ۶۴
- شکل ۳-۱: مقایسه نتایج مدل سازی و داده های تجربی ۶۸
- شکل ۳-۲: چگونگی تغییرات تلفات اهمی و فعال سازی با چگالی جریان ۷۰
- شکل ۳-۳: چگونگی تغییرات چگالی جریان پروتون، افت ولتاژ فعال سازی و غلظت اکسیژن در شرایط پایه ۷۱
- شکل ۳-۴: چگونگی تغییرات چگالی جریان پروتون، افت ولتاژ فعال سازی و غلظت اکسیژن برای لایه کاتالیست با ضخامت ۱۰ میکرومتر ۷۲
- شکل ۳-۵: مقایسه منحنی عملکرد برای شرایط پایه و حالت نفوذپذیری بالا ۷۳
- شکل ۳-۶: مقایسه منحنی عملکرد برای شرایط پایه و فرض مساحت سطح فعال بالا ۷۴
- شکل ۳-۷: ضخامت استفاده شده لایه کاتالیست در چگالی جریان های مختلف ۷۵
- شکل ۳-۸: بررسی تاثیر جرم کربن بر منحنی عملکرد پیل سوختی ۷۶
- شکل ۳-۹: بررسی تاثیر جرم پلاتین بر منحنی عملکرد پیل سوختی ۷۷
- شکل ۳-۱۰: بررسی تاثیر کسر جرمی پلاتین بر تلفات فعال سازی ۷۸
- شکل ۳-۱۱: بررسی نحوه تغییر سطح فعال کاتالیست با کسر جرمی پلاتین ۸۰
- شکل ۳-۱۲: مقایسه تاثیر جرم کربن و پلاتین بر افت فعال سازی ۸۱
- شکل ۳-۱۳: تغییرات افت ولتاژ در بخش های مختلف پیل سوختی ۸۲
- شکل ۳-۱۴: توزیع غلظت اکسیژن در الکترودها و کاتالیست ها ۸۳
- شکل ا-۱: اثر دافور و اثر سورت ۸۶
- شکل ج-۱: نمودار بردارهای سرعت ۹۳

فصل ۱ - مروری بر پیل های سوختی

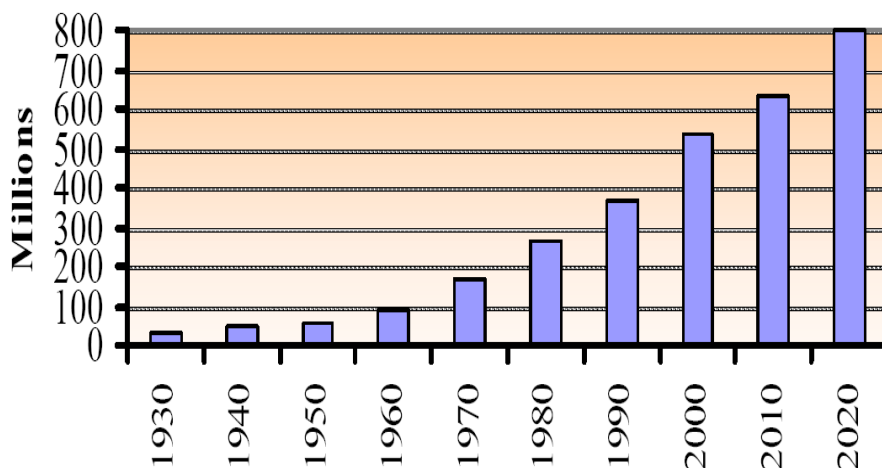
۱-۱ - مقدمه

همواره یکی از چالش‌های اساسی بشر تامین انرژی مورد نیاز خود بوده‌است و در این مسیر تاکنون چهار عصر را پشت سر گذاشته‌است. عصر اول، عصر زیست‌توده؛ که در طی آن، انرژی مورد نیاز خود را از طریق سوزاندن شاخ و برگ درختان تأمین می‌کرده‌است. علاوه بر چوب درختان، منابع جنگلی، ضایعات کشاورزی، فاضلاب شهری و فضولات دامی نیز از منابع زیست‌توده به شمار می‌روند اما جمع‌آوری زیست‌توده در حجم بالا بسیار هزینه‌بر بوده و مقدار انرژی بر واحد حجم پایین دارد. با کشف زغال سنگ و خواص احتراقی آن، بهره‌برداری از این ماده به عنوان یک منبع تولید انرژی توسعه فراوانی یافت. این مسئله با اختراع موتورهای بخار که تحول عظیمی در صنعت محسوب می‌شدند، شتاب بیشتری گرفت. توسعه شبکه‌های راه‌آهن با لوکوموتیوهایی که از سوخت زغال‌سنگ استفاده می‌کردند نیز در شکوفایی این عصر تاثیر فراوانی داشت. در واقع این دوره زمانی، عصر تأمین انرژی بشر به وسیله زغال‌سنگ یا عصر زغال‌سنگ است. با کشف نفت و شناخت مزایای آن نسبت به زغال‌سنگ، به ویژه در حوزه حمل و نقل، به تدریج بهره‌گیری از زغال‌سنگ کاهش یافت و نفت خام جایگزین آن شد، تا جایی که در فاصله زمانی کوتاهی بخش اعظم انرژی مورد نیاز بشر از نفت خام و مشتقات آن تأمین می‌گردید. بر مبنای این روند سریع بود که نفت خام به عنوان مهمترین ماده تأمین کننده انرژی بشر شناخته شد و این دوره زمانی را باید بدون تردید عصر نفت نام نهاد. اما به دلیل ویژگی‌های خاص سوخت‌های فسیلی (از جمله عناصر تشکیل دهنده) و دمای کارکرد بالای موتورهای حرارتی، مواد آلاینده متعددی وارد اتمسفر زمین می‌گردد که از آن میان می‌توان به CO ، NO_x ، هیدروکربن‌های نسوخته، CO_2 و غیره اشاره کرد. که هر یک به تنهایی اثرات زیست محیطی مخربی دارند. از این رو، گاز طبیعی به سبب ارزان و در دسترس بودن و همچنین کاهش آلودگی زیست‌محیطی، در کنار نفت به عنوان منبع دیگری برای تولید انرژی مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۱-۱ روند افزایش میزان گاز CO_2 نشان داده شده‌است.

از طرف دیگر سوخت‌های فسیلی منابع انرژی رو به زوالی هستند که جامعه رو به توسعه انسانی را در آینده‌ای نه چندان دور دچار کمبود می‌سازند. با رشد سریع جمعیت و رسیدن آن به مرز ۱۰ میلیارد نفر تا ۵۰ سال دیگر نیاز به منابع پایان ناپذیر سوخت افزایش خواهد یافت به طوری که برآورد شده تا حدود سال ۲۰۵۰ عمده ذخایر نفت خام جهان پایان می‌پذیرد. شکل ۱-۲ رشد سریع تولید خودرو در جهان را نشان می‌دهد.



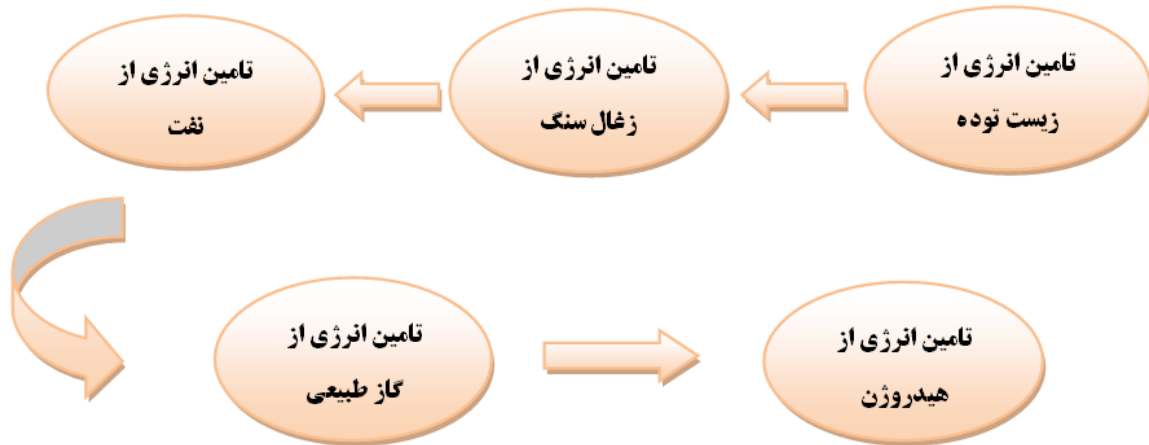
شکل ۱-۱: روند افزایش آلاینده‌ی دی اکسید کربن (کانادا)



شکل ۱-۲: رشد سریع تولید خودرو در جهان

از این رو امروزه استفاده از منابع جدید انرژی مورد توجه قرار گرفته است. از جمله موادی که می‌تواند در آینده جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی باشد، هیدروژن است و با توجه به

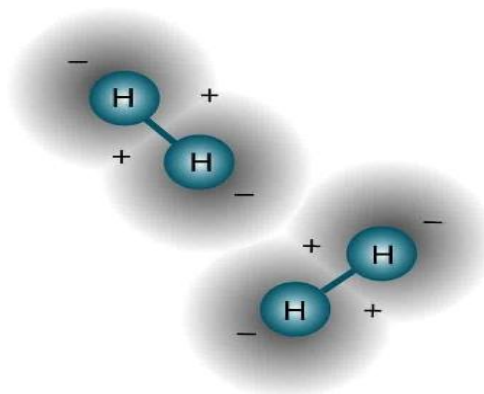
مزیت‌هایی که هیدروژن نسبت به سوخت‌های دیگر دارد، شاید بتوان ادعا کرد که عصر آینده، عصر هیدروژن خواهد بود. منابع تامین انرژی بشر در اعصار مختلف در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱-۳: منابع مختلف تامین انرژی بشر در اعصار مختلف

۱-۲- مزایای استفاده از هیدروژن به عنوان سوخت

همانطور که در قسمت قبل اشاره شد روند تغییر سوخت‌ها از گذشته تا به حال به سمت سوخت‌هایی با آلاینده‌گی کمتر بوده است یعنی از چوب به زغال‌سنگ، از زغال‌سنگ به نفت و از نفت به گاز طبیعی. آنچه در این روند رخ می‌دهد روشن است؛ نسبت تعداد اتم‌های هیدروژن به تعداد اتم‌های سایر عناصر در هر مولکول سوختی افزایش می‌یابد به این ترتیب، پس از احتراق، محصولات نظیر CO و CO₂ کمتر تولید می‌شود و از این منظر روند تغییر سوخت‌ها به سمت سوخت‌های پاک‌تر است.



شکل ۱-۴: شماتیک ساختار مولکول هیدروژن

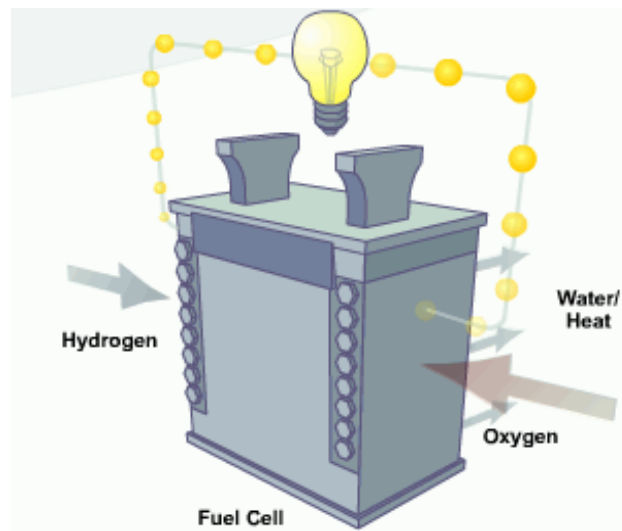
افزایش تعداد اتم‌های هیدروژن نسبت به کربن در سوخت‌های مورد استفاده در طی دوره‌های مختلف، سوختی پاک‌تر را نتیجه می‌دهد و بدیهی است که بهترین حالت زمانی رخ می‌دهد که تنها اتم موجود در مولکول سوخت، هیدروژن باشد چرا که میزان تولید CO و CO₂ ناشی از احتراق به صفر می‌رسد، بعلاوه اینکه هیدروکربنی وجود ندارد که نگرانی برای هیدروکربن‌های نسوخته معنی پیدا کند. شکل ۱-۴ شماتیک مولکول هیدروژن را نشان می‌دهد. در عین حال در صورت استفاده از هیدروژن حتی در موتورهای احتراقی میزان اکسیدهای نیتروژن تولیدی به مراتب کمتر از احتراق هیدروکربن‌هاست. بنابراین طی تحول بعدی در صورت استفاده از هیدروژن به جای متان، مشکلات زیست محیطی بشر حل می‌شود و البته این مزیت مستلزم آن است که در هنگام تولید هیدروژن آلاینده‌هایی تولید نشوند. روش‌های گوناگونی برای تولید هیدروژن وجود دارد که از آن میان می‌توان به تولید هیدروژن از سوخت‌های فسیلی اشاره کرد. در این روش‌ها، در صورت عدم جذب CO₂ و سایر آلاینده‌های تولیدی، هیدروژن مزیت پاک بودن خود را از دست می‌دهد، اما در صورت تولید هیدروژن با قیمت قابل رقابت از منابع انرژی تجدیدپذیر (که فاقد آلاینده‌گی هستند) این مهم نیز میسر می‌شود. استفاده از هیدروژن به عنوان سوخت سبب می‌شود که امکان مهار انرژی‌های تجدیدپذیر فراهم گردد، چرا که از تجزیه آب هیدروژن تولید می‌شود و برعکس سوزاندن هیدروژن آب تولید می‌نماید. این چرخه تکرارپذیر می‌تواند با توسعه روش‌های تجزیه آب با انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی آب، باد، خورشید و ...) به جریان افتد. مهار انرژی‌های تجدیدپذیر به واسطه هیدروژن از این جهت مهم است که همه کشورها به بعضی از انواع این انرژی‌های تجدیدپذیر دسترسی دارند و لذا فارغ از تنش‌های سیاسی و دخالت بیگانگان خواهند بود.

۱-۳- پیل سوختی چیست؟

پیل سوختی^۱ مبدل الکتروشیمیایی انرژی است که انرژی شیمیایی سوخت را به طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. شکل ۱-۵ نمای کلی از یک پیل سوختی را نشان می‌دهد. چنین تبدیل

^۱ Fuel Cell

انرژی به کمک باطری و موتورهای حرارتی نیز قابل انجام است، اما بین عملکرد پیل سوختی و دو مورد دیگر تفاوت‌هایی وجود دارد.



شکل ۱-۵: شماتیک کلی پیل سوختی

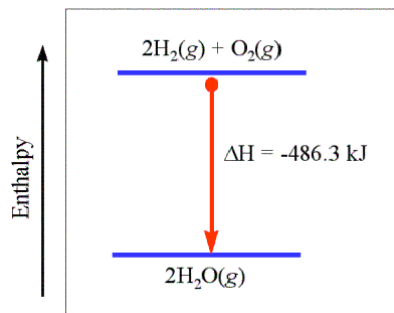
باطری و پیل سوختی هر دو مبدل الکتروشیمیایی هستند با این تفاوت که در باطری مواد اولیه که طی فرآیند تولید الکتروسیسته مصرف می‌شود، داخل آن ذخیره شده است بطوریکه با اتمام این مواد اولیه عمر باطری نیز به پایان می‌رسد. اما پیل سوختی این‌گونه نیست و تا هر وقت که سوخت آن تأمین شود الکتروسیسته تولید می‌نماید. از چنین منظری، پیل سوختی مانند یک کارخانه عمل می‌کند و تا زمانی که مواد اولیه برای آن تأمین شود انرژی تولید می‌کند.

در موتورهای احتراقی می‌توان انرژی شیمیایی سوخت را به انرژی مکانیکی و سپس انرژی مکانیکی را به کمک ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل نمود. طی کردن این مراحل چندگانه به دلیل ملاحظات ترمودینامیکی سبب کاهش بازده این سیستم می‌شود در حالی که در پیل‌های سوختی انرژی شیمیایی سوخت به طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود و این موضوع سبب بالا رفتن قابل ملاحظه راندمان این پیل‌ها می‌شود.

برای آگاهی از چگونگی تبدیل تک مرحله‌ای انرژی شیمیایی سوخت به انرژی الکتریکی در پیل سوختی واکنش ساده تولید آب از هیدروژن و اکسیژن را در نظر بگیرید. در موتورهای حرارتی ترکیب

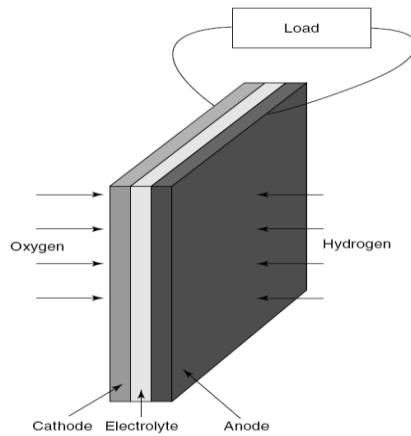
این دو عنصر در یک فضا بسته صورت می‌گیرد و طبقاً اختلاف سطح انرژی مواد اولیه و محصولات (شکل ۶-۱) به صورت گرما آزاد می‌شود.

در پیل سوختی این فرآیند در دو فضای مجزا انجام می‌گیرد. در حقیقت واکنش تولید آب به دو واکنش اکسایش (آزاد شدن الکترون) و کاهش (دریافت الکترون) تقسیم شده و هر یک از این دو واکنش در فضایی مجزا صورت می‌گیرد و این دو فضا به واسطه الکترولیت (که تنها یون را از خود عبور می‌دهد، نه الکترون) از هم جدا می‌شوند. برای انجام واکنش تولید آب، الکترون باید به واسطه مدار الکتریکی از الکتروود آند (الکتروودی که در آن اکسایش صورت می‌پذیرد) به الکتروود کاتد (الکتروودی که در آن کاهش صورت می‌گیرد) حرکت کند، حین عبور الکترون از مدار، انرژی آن به صورت انرژی الکتریکی مهار می‌شود. پروتون نیز به واسطه الکترولیت از آند به کاتد انتقال می‌یابد و به این ترتیب تمامی اجزای نیم‌واکنش کاهش در کاتد فراهم شده و واکنش تولید آب تکمیل می‌گردد.



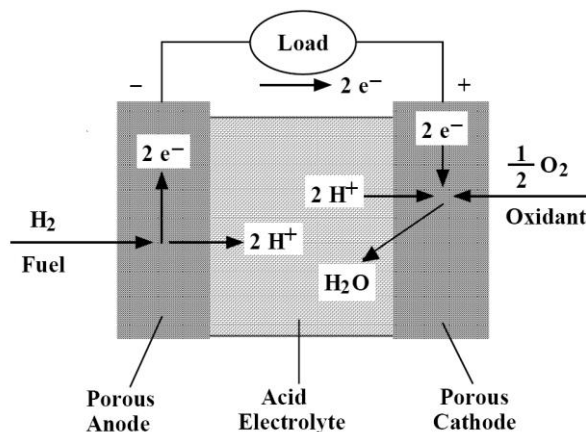
شکل ۶-۱: اختلاف آنتالپی میان مواد اولیه و محصولات انرژی است که در حین فرآیند آزاد می‌شود

آنچه در شکل ۷-۱ آمده است، شماتیک بسیار ساده‌ای از پیل سوختی است که چهار جز اساسی الکتروود آند، الکتروود کاتد، الکترولیت و مدار الکتریکی را نشان داده است. به طور کلی عملکرد پیل سوختی را می‌توان به چهار مرحله تفکیک نمود. جایگاه وقوع این پدیده‌ها در شکل ۸-۱ آمده است و در زیر هر یک از این مراحل تشریح می‌شود.



شکل ۷-۱: قسمتهای اصلی یک پیل سوختی

۱- انتقال واکنش دهنده‌ها: برای آنکه پیل سوختی جریان الکتریکی تولید نماید، ضروری است که به طور دائم با سوخت و اکسید کننده تغذیه شود. بدیهی است که اگر این مهم به هر دلیلی صورت نگیرد عملکرد پیل سوختی مختل می‌شود. دو بخش از پیل سوختی انتقال واکنش دهنده‌ها را به عهده دارند: صفحات توزیع کننده جریان و بخشی از الکتروود موسوم به لایه نفوذ گاز. صفحات توزیع کننده جریان دارای کانال‌ها و یا شیارهای ریزی هستند که می‌توانند جریان گاز را روی سطوح لایه نفوذ گاز توزیع کنند. شکل و اندازه و الگوی شیارهای صفحات توزیع کننده جریان می‌تواند اثر عمده‌ای بر عملکرد پیل سوختی داشته باشد. نمونه‌ای از الگوهای مختلف این شیارها در شکل ۹-۱ آمده است. این کانال‌ها با بخشی از الکتروود موسوم به لایه نفوذ گاز در تماس است. در حقیقت الکتروود از دو بخش تشکیل شده است یکی لایه نفوذ گاز که محیطی است متخلخل و وظیفه آن رساندن واکنش دهنده‌های گازی به محل واکنش است و دیگری لایه کاتالیست است که محل انجام واکنش الکتروشیمیایی به شمار می‌آید.



شکل ۸-۱: طرز کار پیل سوختی با الکتروولیت اسیدی