

## فصل: پیل سوختی

### بخش ۱: معرفی پیل‌های سوختی و مزایا و معایب آنها

نویسندگان: محمدرضا بسک آبادی، مهدی قربانی، محسن افسری ولایتی

#### مقدمه:

از نظر منابع انرژی، بشر تاکنون چهار عصر را پشت سر گذاشته است. عصر اول، عصر «زیست‌توده» است که در طی آن، انرژی مورد نیاز بشر از طریق سوزاندن شاخ و برگ درختان تأمین می‌شده است. با کشف زغال سنگ و خواص احتراقی آن، بهره‌برداری از این ماده به‌عنوان یک منبع تولید انرژی حرارتی توسعه فراوانی یافت. با کشف نفت و شناخت مزایای آن نسبت به زغال سنگ، به ویژه در حوزه حمل و نقل، به تدریج بهره‌گیری از زغال سنگ کاهش یافت و نفت خام جایگزین آن شد، تا جاییکه در فاصله زمانی کوتاهی بخش اعظم انرژی مورد نیاز بشر از نفت خام و مشتقات آن تأمین می‌گردید. اما در اثر احتراق نفت، گاز دی‌اکسید کربن تولید می‌شود که یک گاز گلخانه‌ای بوده و سبب آب شدن یخ‌ها و در نهایت، گرم شدن هوا خواهد شد. 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.

امروزه، به علت نگرانی‌های مربوط به گرم شدن هوا، رشد جمعیت، پیشرفت فناوری و همچنین، کاهش سریع منابع نفتی جهان، استفاده از منابع جدید انرژی مورد توجه قرار گرفته است. از جمله موادی که می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی باشد، هیدروژن است و وسیله‌ای که با استفاده از آن می‌توان از هیدروژن انرژی گرفت، «پیل سوختی» نام دارد. با توجه به مزیت‌هایی که هیدروژن نسبت به سوخت‌های دیگر دارد، شاید بتوان ادعا کرد که «عصر آینده، عصر هیدروژن خواهد بود».

در این بخش پیل سوختی به عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای مبدل انرژی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. انواع، ساختار و نحوه عملکرد آنها معرفی می‌شود. در پایان مزایا و معایب پیل‌های سوختی بیان شده و در بخش بعد چگونگی تاثیر فناوری نانو بر بهبود ساختار و عملکرد آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۱- پیل سوختی چیست؟

پیل سوختی وسیله‌ای است که انرژی شیمیایی سوخت را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. برخلاف باتری‌ها که به علت محدود بودن مقدار ماده‌ی واکنش دهنده در مخزن باتری، پس از مدتی

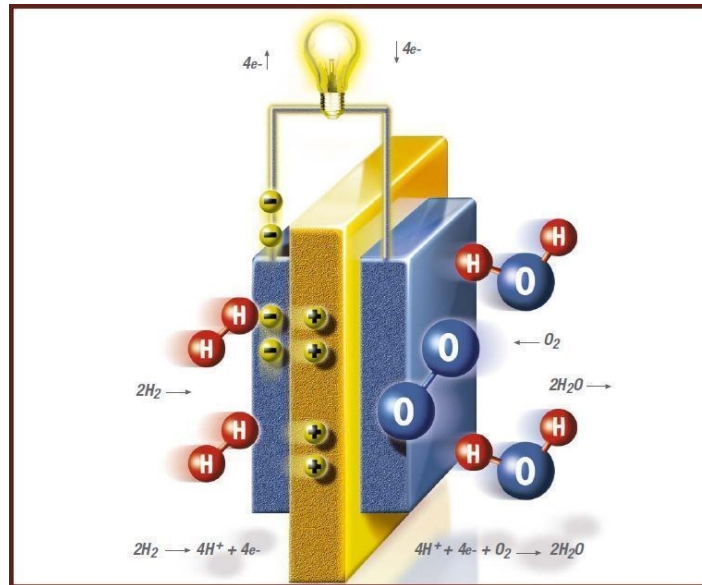
نمی‌توانند انرژی لازم را تأمین کنند، در پیل سوختی مواد واکنش دهنده به صورت پیوسته وارد پیل شده و فرآورده‌ها به صورت پیوسته خارج می‌شوند، بنابراین پیل سوختی می‌تواند به صورت پیوسته کار کند. همچنین به دلیل اینکه تبدیل انرژی به طور مستقیم روی می‌دهد از بازدهی بالایی برخوردار است. در پیل سوختی گاز هیدروژن به عنوان سوخت مصرف شده و از واکنش آن با اکسیژن، علاوه بر انرژی الکتریکی، آب و حرارت نیز تولید می‌گردد. به عبارت دیگر در این تبدیل، عکس واکنش الکترولیز آب رخ می‌دهد.

## ۲- ساختمان پیل سوختی

یک پیل سوختی از سه جزء اصلی تشکیل شده است: الکتروود آند، الکتروود کاتد و الکترولیت یا غشاء. گاز هیدروژن که به عنوان سوخت به کار می‌رود، به الکتروود آند وارد شده و در آنجا با از دست دادن الکترون، اکسایش می‌یابد. طی این واکنش یون هیدروژن مثبت ( $H^+$ ) و الکترون تولید می‌شوند. یون‌های هیدروژن به همراه الکترون‌ها از کاتد به آند منتقل شده که این انتقال از طریق الکترولیت صورت می‌گیرد. انتقال الکترون از طریق یک مدار خارجی صورت پذیرفته و سبب ایجاد جریان مستقیم (DC) می‌شود. بنابراین مصرف کننده‌های جریان متناوب (AC) از مبدل‌های جریان مستقیم به متناوب استفاده می‌کنند. اکسیژن موجود در کاتد با الکترون‌ها و یون‌های هیدروژن واکنش داده و آب تولید می‌کند.

### بیشتر بدانید

اصطلاح اکسایش، پیش‌تر برای واکنش‌های ترکیب مواد با اکسیژن به کار می‌رفت و کاهش به عنوان برداشتن اکسیژن از یک ترکیب اکسیژن‌دار، تعریف می‌شد. اما امروزه اکسایش و کاهش بر اساس تغییر عدد اکسایش تعریف می‌شود. اکسایش فرآیندی است که در آن عدد اکسایش یک اتم افزایش می‌یابد و کاهش، فرآیندی است که در آن عدد اکسایش یک اتم کم می‌شود.



شکل ۱: شمای کلی یک پیل سوختی

یک سیستم پیل سوختی را می‌توان به طور کلی به سه بخش زیر تقسیم کرد:

- ۱- بخش سوخت رسانی شامل: مبدل سوخت و سیستم ذخیره هیدروژن
- ۲- بخش تولید انرژی شامل: سری پیل سوختی و سیستم کنترل رطوبت، فشار، دما و دبی گازها
- ۳- بخش تبدیل انرژی: که مربوط به فصل مشترک بین پیل سوختی و مصرف کننده برق جهت تبدیل جریان و ولتاژ برق به ولتاژ و جریان مناسب است.

#### فکر کنید

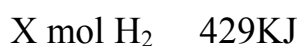
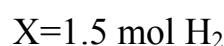
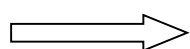
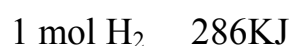
با توجه به این که هر پیل سوختی حدود ۰/۷ ولت اختلاف پتانسیل تولید می‌کند، به نظر شما چرا نیاز است پیل‌های سوختی را به صورت سری استفاده کنیم؟ همچنین در مورد ضرورت سایر بخش‌ها از جمله مبدل سوخت فکر کنید.

#### ✓ نمونه حل شده

چگالی انرژی کم هیدروژن در حالت گازی کاربرد هیدروژن را به عنوان حامل انرژی با مشکل روبرو می‌سازد. سوخت‌های متداول همچون گاز طبیعی، پروپان و بنزین و سوخت‌هایی مانند متانول و اتانول، همگی در ساختار مولکولی خود هیدروژن دارند. با بکارگیری مبدل نصب شده بر روی خودرو یا مبدل‌هایی که در

محل‌های سوخت‌گیری نصب می‌شوند، می‌توان هیدروژن موجود در این سوخت‌ها را جدا کرده و به عنوان سوخت در پیل سوختی مورد استفاده قرار داد. فرض کنید انرژی حاصله از واکنش سوختن هر مول هیدروژن ۲۸۶ کیلوژول باشد، اگر بخواهیم ۴۲۹ کیلوژول انرژی تولید کنیم، شرایط زیر را مقایسه کنید: حجم مخزن هنگامی که از گاز هیدروژن استفاده کنیم (با فرض اینکه واکنش در شرایط استاندارد رخ دهد)؟

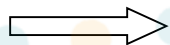
- در شرایط استاندارد هر مول گاز ۲۲/۴ لیتر فضا اشغال می‌کند.



$$1.5 \text{ mol H}_2 \times (22.4 \text{ Liter H}_2 / 1 \text{ mol H}_2) = 33.6 \text{ Liter}$$

حجم مخزن هنگامی که از مایع متانول و مبدل سوخت استفاده کنیم ( $\rho = 0.7918 \text{ g cm}^{-3}$ )؟

- در متانول ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) به ازای هر مول متانول دو مول  $\text{H}_2$  وجود دارد



$$\text{حجم متانول} = 0.75 \text{ mol CH}_3\text{OH} \times (32 \text{ g CH}_3\text{OH} / 1 \text{ mol CH}_3\text{OH}) \times (1 \text{ cm}^3 \text{ CH}_3\text{OH} / 0.7918 \text{ g CH}_3\text{OH}) \times (1 \text{ Liter} / 1000 \text{ cm}^3) = 0.03 \text{ Liter CH}_3\text{OH}$$

#### ۴- انواع پیل سوختی

پیل‌های سوختی را بر اساس نوع الکترولیتی که در آن به کار می‌رود، به پنج دسته طبقه‌بندی می‌کنند:

۱. پیل‌های سوختی قلیایی (AFC)
۲. پیل‌های سوختی کربنات مذاب (MCFC)
۳. پیل‌های سوختی اسید فسفریک (PAFC)
۴. پیل‌های سوختی اکسید جامد (SOFC)
۵. پیل‌های سوختی غشاء مبادله کننده پروتون (PEMFC)

## ۶. پیل سوختی متانولی (DMFC)

از نگاهی دیگر، طبقه‌بندی پیل‌های سوختی بر اساس دمایی است که پیل سوختی در آن کار می‌کند. بر این اساس پیل‌های سوختی به دو دسته کلی پیل سوختی دما بالا و پیل سوختی دما پایین تقسیم‌بندی می‌شوند. در جدول ۱ دمایی که انواع پیل‌های سوختی در آن کار می‌کنند، به همراه نوع الکترولیت و نام اختصاری آنها نشان داده شده است.

جدول ۱: انواع پیل سوختی، دمای عملکرد، نام اختصاری و الکترولیت

نوع پیل سوختی	نام اختصاری	الکترولیت	دمای کارکرد (C°)
پیل سوختی پلیمری	PEMFC	نفیون (نوعی پلیمر)	۸۰-۱۰۰
پیل سوختی قلیایی	AFC	پتاس	۸۰-۱۰۰
پیل سوختی اسید فسفریک	PAFC	اسید فسفریک	۲۲۰-۲۰۰
پیل سوختی کربنات مذاب	MCFC	نمک کربنات مذاب	۶۵۰
پیل سوختی اکسید جامد	SOFC	PYZ (نوعی سرامیک)	۱۰۰۰
پیل سوختی متانولی	DMFC	نفیون	۶۰-۱۲۰

## ۵- مزایا و معایب پیل‌های سوختی

مزایای پیل‌های سوختی عبارتند از:

- داشتن بازدهی بالا نسبت به وسایلی که از سوخت‌های شیمیایی معمول نظیر نفت و بنزین استفاده می‌کنند.
- به دلیل وابسته نبودن به سوخت‌های فسیلی متداول نظیر بنزین و نفت، وابستگی و ناپایداری اقتصادی را کاهش می‌دهند.
- نصب پیل‌های سوختی نیروگاهی کوچک موجب کاهش شبکه توزیع و کاهش اتلاف انرژی می‌شود.
- سازگاری با محیط زیست؛ چون تنها محصول جانبی ایجاد شده در پیل‌های سوختی آب است.

- عدم آلودگی صوتی؛ از آنجایی که در پیل‌های سوختی اجزای متحرک وجود ندارد، این وسیله بسیار بی‌صدا و آرام است.
- هزینه نصب کم و راه‌اندازی آسان
- قابل تنظیم بودن زمان عملکرد با توجه به میزان سوخت
- امکان استفاده از سوخت‌های گوناگون
- به علت عدم وجود اجزای متحرک نگهداری از آنها بسیار ساده است.
- برخی از این مولدها قابلیت تولید همزمان برق و حرارت را دارند.

معایب پیل‌های سوختی عبارتند از:

- ناشناخته بودن فناوری پیل‌های سوختی در جهان
- گران بودن؛ از آنجایی که هنوز خطوط تولید پیل‌های سوختی وجود ندارد، تولید انبوه آنها بسیار گران است. علاوه بر این، در ساخت این وسایل از برخی مواد گران قیمت (مانند کاتالیست‌ها) نیز استفاده می‌شود.
- ممکن است در مدت طولانی کار، گرما موجب مشکلاتی چون ناسازگاری عناصر و افت انرژی شود.
- در صورت استفاده از سوخت ناخالص، کار و گرمای بیش از حد موجب رسوب کربن و در نهایت مسمومیت پیل می‌گردد.

## ۶- بحث و بررسی

یکی از پیل‌های سوختی که بیش‌ترین کاربرد تجاری را دارا هستند پیل‌های سوختی متانولی مستقیم (DMFC) است. استفاده از پیل‌های سوختی متانولی مستقیم، توسط سازندگان اتومبیل‌ها در حال بررسی و مطالعه است تا جایگزین سوخت‌های فسیلی در اتومبیل‌های نسل آینده شوند. همچنین این نوع از پیل‌ها به علت داشتن دانسیته انرژی بالا می‌توانند به عنوان باتری در وسایل الکترونیکی قابل حمل مانند لپ‌تاپ و گوشی موبایل مورد استفاده قرار گیرند و جایگزین مناسبی برای باتری‌های یون لیتیومی کنونی باشند. اما محدودیت‌های زیادی بر سر راه تجاری شدن پیل‌های سوختی وجود دارد که این محدودیت‌ها شامل موارد زیر می‌شود:

- مشکلات و خطرات ذخیره‌سازی هیدروژن

- گران بودن کاتالیست پلاتین (Pt)
- مسمومیت کاتالیست توسط سوخت‌های غیر هیدروژن

#### کاتالیست:

کاتالیست ماده‌ای است که سرعت یک واکنش شیمیایی را زیاد می‌کند، بدون این‌که خود در جریان واکنش مصرف شود. از این رو؛ کاتالیست را می‌توان بدون تغییر، در پایان واکنش بازیابی کرد.

#### مسمومیت کاتالیست:

از بین رفتن اثر کاتالیستی یک کاتالیست به صورت جزئی یا کلی ناشی از قرار گرفتن در معرض طیفی از ترکیبات شیمیایی را، مسمومیت کاتالیست گویند.

فناوری نانو راه‌حلهایی را ارائه می‌دهد که می‌تواند مشکلات پیل‌های سوختی را تا حد زیادی بهبود دهد و راه را برای گسترش صنعت پیل‌های سوختی هموارتر سازد. در بخش بعد به طور خلاصه به کاربردهای فناوری نانو در پیل‌های سوختی پرداخته شده است.

#### منابع:

- 1- <http://www.nano.ir/>
- 2- <http://americanhistory.si.edu/fuelcells/basics.htm>
- ۳- مقدمه ای بر پیل سوختی بر پایه نانو الیاف کربن و کاربرد آن در صنایع نوین احسان زاهدی، آرش تیموری راد، احسان دهنوی. قرارگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء (ص) آجا