نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۸، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص: ۶۵- ۷۶

J. Energy Conversion
Volume: 8, Issue: 3, 2021: 65–76

DOR:20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9

# مروری بر دیدگاه های جدید در مورد فن آوری سلولهای سوختی

**عبدالکریم افروزه**

استادیار، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی مهندسی، مجتمع آموزش عالی لارستان، لار، ایران، afroozeh@lar.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۵/۰۲، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۹

**چکیده**

امروزه سلول های سوختی برای تبدیل کارآمد انرژی، همراه با محصولات جانبی از گرما و آب، با نام مبدل های الکتروشیمیایی موثر شناخته می شوند. سلول های سوختی به عنوان یک فناوری تولید نوین به دلیل نیاز به انرژی پاک ومحدودیت فسیل مورد توجه جامعه جهانی قرار گرفته است. توانایی پیل سوختی به منظور تولید برق بدون ایجاد هیچ گونه حرکت مکانیکی و همچنین فن آوری های آن ها در تجارت نیز بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. سلول های سوختی غشای الکترولیت پلیمر (PEMFC)، سلول سوختی اکسید جامد (SOFC)، متانول مستقیم سلول های سوختی (DMFC)، پیل سوختی اسید فسفریک (PAFC)، پیل سوختی قلیایی (AFC) و پیل سوختی کربنات مذاب (MCFC) سلول های سوختی مورد بحث در این مطالعه می باشد. غشا و بهبود بهره وری سلول و همچنین دوام و قابلیت اطمینان این اجازه را می دهد تا از آن ها در رقابت با موتور احتراق سنتی به کار ببریم. همچنین عملکرد پیل های سوختی، سبب کاهش قابل توجه در هزینه ها نیز می گردد. در این بررسی ، ما تحولات اخیر در پیل های سوختی را تحلیل و آن ها را با هم مقایسه خواهیم کرد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** afroozeh@lar.ac.ir

**کلمات کلیدی:** فناوری سلول سوختی؛ انرژی؛ سلول های سوختی غشای الکترولیت پلیمر (PEMFC)؛ جامد پیل های سوختی اکسید (SOFC)؛ پیل سوختی متانول مستقیم (DMFC)

## ۱- مقدمه

انرژی از نیازهای های ما در زندگی روزمره به شمار می رود. افزایش سریع جمعیت و رشد درآمد چند عاملی است که باعث افزایش تقاضا در حوزه انرژی می شود. تخمین زده می شود که در سال ۲۰۳۵ ، جمعیت جهانی از ۷/۸ میلیارد نفر فراتر خواهد رفت ، به این معنی که ۱,۶ میلیارد نفر دیگر نیز به انرژی احتیاج دارند [۴-۱]. مشکل اصلی که در مواجه با افزایش تقاضای انرژی رو به رو هستیم، کاهش عرضه سوخت فسیلی ، همراه با موضوعات مرتبط با اجرای سوخت های فسیلی سنتی بر سلامت انسان است. لذا نیاز فوری به استفاده از انرژی جایگزین و پایدار سبز به منظور جایگزینی سوخت های فسیلی غیرقابل تجدید موجود، وجود دارد که این نیاز در تولید انرژی تجدیدپذیر در سطح جهانی افزایش یافته است. در یک موتور پیل سوختی هیدروژنی ، آب و گرما تنها اجزای الکتروشیمیایی هستند. در واکنش ها، با استفاده از بازده برتر انرژی سوختی می توان انتشار دی اکسید کربن را کاهش داد [۱۰-۵]. در صورت تولید هیدروژن از تولید، می توان میزان انتشار را به صفر

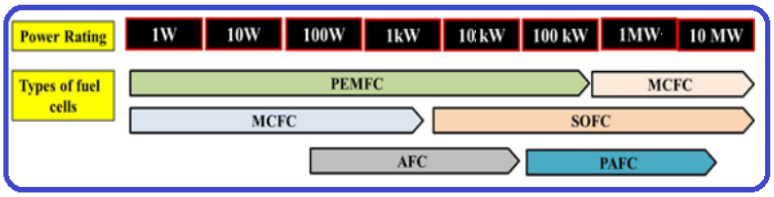
**نحوه استناد به این مقاله**: عبدالکریم افروزه. مروری بر دیدگاه های جدید در مورد فن آوری سلولهای سوختی. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۰; ۸ (۳) :۶۵-۷۶.
**DOR:** 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9 ]

رساند. از منابع تجدید پذیر مانند باد ، انرژی گرمایی و هسته ای خورشیدی برای دستگاه های قابل حمل توسط باتری ها و پیل های سوختی می توان به طور موثر استفاده کرد. از ابزار قدرت قابل حمل که به چند صد وات نیاز دارند می توان به تلفن های همراه که به چند وات برق نیاز دارند نیز اشاره کرد که سلول های سوختی بر روی آن ها تمرکز دارند.

سلول های سوختی در مقایسه با باتری مقرون به صرفه تر می باشد. این گفته توسط Haghi و همکاران از طریق تجزیه و تحلیل با استفاده از لیفتراک های مجهز به سلول سوختی و باتری برای کاهش گازهای گلخانه ای در انتشار گازهای گلخانه ای (GHG) در استان انتاریو ، کانادا اثبات شده است [۱۰-۱۴]. در مقایسه کاربرد برای پیل سوختی و باتری، دریافتند که لیفتراک های مجهز به باتری مقرون به صرفه ترند. حتی اگر با وجود اکسیدان هایی مانند هالوژن ها که عملکرد با راندمان بالایی را نشان داده اند ، اکسیژن به دلیل در دسترس بودن آن ها ترجیح داده می شود. علاوه بر این ، هیدروژن حاصل از آمونیاک خالص ، سوخت های هیدروکربن (متانول ، متان) یا مونوکسیدکربن به طور معمول توسط سلول های سوختی استفاده می شود. اصول طراحی و مفاهیم مختلفی چون اتصال شبکه ای در سیستم های پیل سوختی به عنوان منابعی اساسی در سیستم های سلول های سوختی هستند. با اشاره به این ویژگی ها ، شش نوع اصلی سلول سوختی وجود دارد که عبارتند از سلول های سوختی غشای تبادل پروتون (PEMFC) ، سلول های سوختی اکسید جامد (SOFC ها) ، پیل های سوختی قلیایی (AFC ها) ، پیل های سوختی متانول مستقیم (DMFC ها) ، پیل های سوختی اسید فسفریک (PAFC) و سلول های سوختی کربنات مذاب (MCFC). طبقه بندی های مختلف سلول سوختی همراه با میزان قدرت و سود هر نوع پیل سوختی در شکل ۱ نشان داده شده است.




**شکل ۱. گروه های مختلف پیل های سوختی بر اساس رتبه بندی قدرت و مزایای آن ها**

اصطلاحی که برای توصیف نوع سلول سوختی استفاده می شود به نوع رسانای مورد استفاده برای پروتون ها بستگی دارد. (یون ها) یا الکترولیت ، به استثنای DMFC ها که ماهیت آن ها توسط سوخت استفاده شده، تعیین می شود [۱۴-۱۶]. الکترولیت استفاده شده در DMFC معمولاً نوع مشابهی از غشا است که در PEMFC استفاده می شود. این موضوع، با استفاده از گاز غنی از هیدروژن یا گاز هیدروژن که به عنوان پیل سوختی شناخته می شود (تولید اصلاح کننده هیدروکربن) به عنوان سوخت [۱۶-۱۸] مورد بهره گیری قرار می گیرد. ردیف اول الکترولیت است، همچنین ستون دوم مربوط به پارامترهای انتخاب شده است. در روش عملیاتی، سلول های سوختی قلیایی به هیدروژن خالص نیاز دارند، در حالی که گاز غنی از هیدروژن از یک اصلاح کننده هیدروکربن توسط سلول سوختی اسید فسفریک (PAFC) بهره می گیرد [۱۹-۲۲]. انواع متفاوت سلول های سوختی و دمای فرآیند بهینه شده آن ها توسط تحقیقات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. پیل های سوختی کربنات مذاب (MCFC) تقریباً دردمای ۶۵۰ یا بالاتر از ۱۰۰ فعالیت می کنند. محدوده دامنه عملکرد غشا الکترولیت پلیمری نیز مبتنی برنایفون است [۲۳]. عملکرد دمای بالاتر دارای مزایایی چون کاهش حساسیت الکتروکاتالیست به اکسید کربن در جریان آند و ترویج بازیابی آب و همچنین مدیریت مسائل مربوط به حرارت می باشد. پیش از انجام مراحل عملیاتی، نیاز به گرم شدن تقریباً به دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد دارد [۲۴،۲۵]. پیل های سوختی قلیایی قادر به کار در محدوده دمایی گسترده تری هستند و به طور کلی نیازی به فرآیند گرمایش قبل از بهره برداری ندارند.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9 ]

## ۲- انواع پیل سوختی و کاربردهای آن

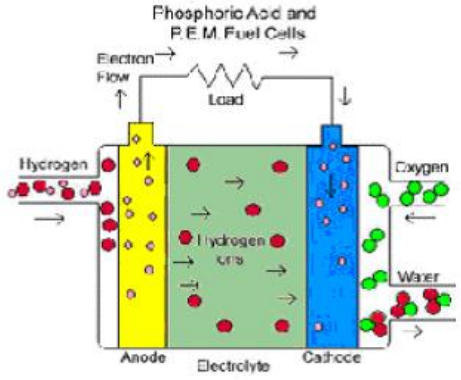
طبقه بندی رایج پیل های سوختی بر اساس نوع الکترولیت ان ها می باشد که عبارتست از:

| | |
|---|---|
| (PEMFC ) پیل سوختی پلیمری | ( AFC) پیل سوختی قلیایی |
| (PAFC) پیل سوختی اسید فسفریک | (MCFC) پیل سوختی کربنات مذاب |
| (SOFC) پیل سوختی اکسید جامد | (DMFC) پیل سوختی متانولی |

خلاصه ای از خصوصیات هر کدام از انواع پیل های سوختی و جدول خصوصیات آن ها در ادامه اشاره شده است:

### ۲-۱- پیل سوختی غشاء پروتون( PEMFC)

پیل های سوختی غشاء پروتون دارای غشاء پلیمری جامد هستند که در حال حاضر عمدتًا غشاء نایفون دراین پیل سوختی به کار برده می شود و به شکل یک ورقه باریک منعطف است. این غشاء کوچک و سبک بوده و در دمای پایین کار می کند (دمای کارکرد بهینه در حدود ۸۵ درجه سانتیگراد است سایر الکترولیت های جامد در دمای بالا کار می کنند. شکل ۲ عملکرد یک الکترولیت غشاء پروتون را به ما نشان می دهد.




**شکل ۲ - عملکرد پیل سوختی پلیمری**

برای سرعت بخشیدن به واکنش، یک کاتالیست پلوتونیومی در دو سطح غشاء الکترولیت استفاده می شود که این کاتالیست موجب افزایش قیمت پیل سوختی می شود؛ اما به دلیل جامد بودن الکترولیت پیل سوختی و همچنین انعطاف پذیر بودن این الکترولیت، امکان شکستن یا ترک خوردن در آن کم است و این مشخصه ،پیل سوختی PEM را برای کاربردهای خانگی و کاربردهای حمل و نقلی مناسب می کند. در پیل سوختی نوع PEM اتم های هیدروژن در آند یونیزه می شوند و الکترون های آن ها جدا می شود .یون های هیدروژن که شامل بار مثبت هستند، به سطح غشاء خلل دار نفوذ می کند و به سمت کاتد می روند؛الکترون های جدا شده نمی توانند از این غشاء عبور کنند و در نتیجه از یک مدار خارجی عبور کرده و موجب تولید برق می شوند. در کاتد، الکترون ها، پروتون های هیدروژن و اکسیژن موجود در هوا با هم ترکیب می شوند و آب را تشکیل می دهند. پیل سوختی PEM نیازمند هیدروژن خالص است؛ بنابراین باید از یک تغییرشکل دهنده در خارج از پیل سوختی استفاده کنیم تا احتمال به وجود آمدن CO و در نتیجه مسمومیت کاتالیست را کاهش دهیم.

واکنش های انجام شده در آند و کاتد به شرح ذیل است :

$$\text{Anode} : 2H_2 + 4OH^- \longrightarrow 4H_2O + 4e^- \qquad (۱)$$



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9 ]

$$Cathode : O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^- \quad (۲)$$
$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O \quad (۳)$$

**مزایا:**

۱-دمای پایین و شروع به کار سریع ۲- عدم حساسیت به دی اکسیدکربن
۳- امکان استفاده از گازهای مشتق از هیدروکربن به عنوان سوخت

**معایب:**

۱- حساسیت به مونواکسید کربن ۲- به کارگیری فلزات کمیاب در ساختمان پیل
۳- پیچیده بودن سیستم مدیریت آب در مجموعه غشاء و الکترود

### ۲- ۲ پیل سوختی قلیایی(AFC)

پیل سوختی قلیایی با هیدروژن و اکسیژن خالص کار می کند و از محلول هیدروکسید پتاسیم در آب به عنوان الکترولیت بهره می گیرد و الکترود آند آن، از جنس نیکل و الکترود کاتد آن از جنس اکسید نیکل لیتیومی می باشد. درجه حرارت کارکرد این پیل، پایین بوده و بین ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد می باشد.

در این پیل سوختی، یون های هیدروکسیل $OH^-$ از سمت کاتد به سمت آند رفته و در آند گاز هیدروژن با یون های هیدروکسیل واکنش داده و آب و الکترون را ایجاد می کند. الکترون های به وجود آمده در آند توسط یک مدارخارجی، توان الکتریکی تولید می کند و از طریق این مدار خارجی، الکترون ها به کاتد باز می گردد . الکترون ها در کاتد با اکسیژن و آب واکنش می دهند و موجب تشکیل یون های هیدروکسیل بیشتری می شوند. این یون ها درون الکترولیت نفوذ کرده و به این ترتیب واکنش ادامه پیدا می کند.

$$Anode : H_2 + O^{-2} \rightarrow H_2O + 2e^- \quad (۴)$$
$$Cathode : 1/2O_2 + 2e^- \rightarrow O^{-2} \quad (۵)$$
$$H_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow H_2O \quad (۶)$$

**مزایا:**

۱- عدم نیاز به فلزات کمیاب ۲- بالا بودن راندمان

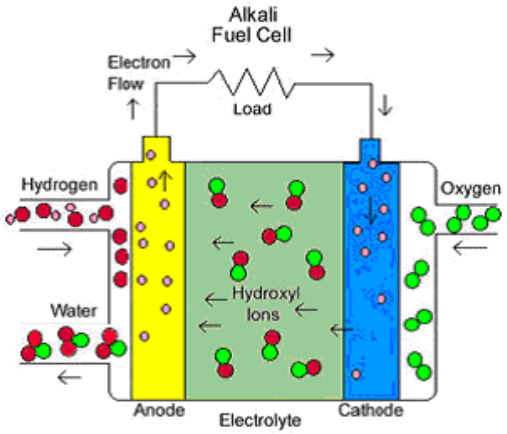
**معایب:**

۱- حساسیت شدید به دی اکسید کربن ۲- لزوم استفاده از هیدروژن خالص

پیل سوختی قلیایی از میزان آلودگی کمی برخوردار است و بخاطر به دلیل احتمال واکنش های ناخواسته در این پیل، نیاز به هیدروژن خالص شده داریم و در صورتی که هیدروژن خالص نباشد موجب واکنش های شیمیایی اضافی و ایجاد کربنات جامد می شود که این ماده در واکنش های پیل سوختی اختلال ایجاد می کند. مشکل دیگر پیل سوختی قلیایی میزان زیاد پلوتونیم است که به عنوان کاتالیست از آن استفاده می شود. این کاتالیست قیمت بالایی دارد و پیل سوختی قلیایی را برای کاربردهای عادی نامناسب می کند و از آنجایی که احتمال نشت الکترولیت مایع نیز وجود دارد ؛ بنابراین برای کاربردهای حمل و نقلی مناسب نیست .در شکل ۳ عملکرد یک پیل سوختی قلیایی نشان داده شده است.



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9 ]




**شکل ۳ - عملکرد یک پیل سوختی قلیایی**

### ۳-۲ پیل سوختی اسید فسفریک(PAFC)

پیل سوختی اسید فسفریک در دمای حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد کار می کند و از الکترولیت اسید فسفریک بهره می گیرد. الکترودهای پیل های سوختی اسید فسفریک از جنس پلاتین می باشد که بر روی سطح پودر کربن فعال قرار گرفته است . در این نوع پیل سوختی از سوخت های بیشتری می توان استفاده کرد.

همان گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، عملکرد پیل سوختی اسید فسفریک به این ترتیب است که یون های هیدروژن مثبت توسط الکترود، از آند به کاتد می روند و الکترون های به وجود آمده در آند، از طریق یک مدار خارجی عبورکرده و برق تولید می کند و به کاتد برمی گردد. واکنش های انجام شده در این پیل عبارتست از:

$$\text{Anode} : H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \quad (۷)$$

$$\text{Cathode} : 1/2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O \quad (۸)$$

$$H_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow H_2O \quad (۹)$$

**مزایا:**

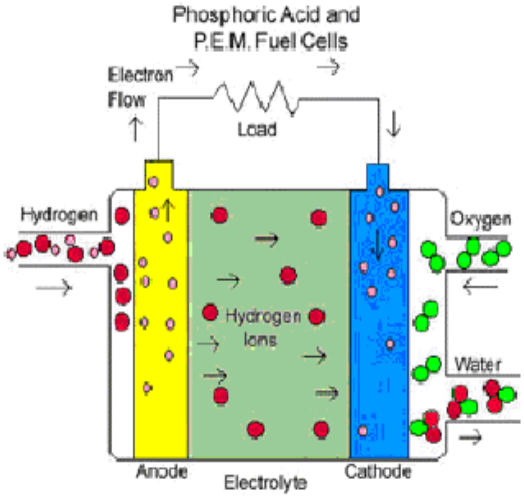
۱- توان تحمل ۱ تا ۲ درصد مونواکسید کربن
۲- امکان استفاده در مولدهای (تولید همزمان برق و حرارت)
۳- ثبات الکترولیت در محیط الکتروشیمیایی
۴- سادگی سیستم مدیریت آب و دما

**معایب:**

۱- کم بودن سرعت احیاء اکسیژن
۲- حساسیت به $H_2S$

در کاتد، الکترون ها، یون های هیدروژن و اکسیژن، منجر به تولید آب شده که با فشار به بیرون پیل سوختی هدایت می شود. به دلیل وجود کاتالیست پلوتونیم، سرعت واکنش ها بالا می رود.از مزایای پیل سوختی اسید فسفریک نیز می توان به توان تحمل پیل سوختی در قبال میزان کمی از مونوکسید کربن و همچنین توانایی تحمل دمای بالاتر از دمای جوش آب را اشاره نمود. این پیل سوختی اجزایی با مقاومت بالا باید داشته باشد تا در مقابل خورندگی اسید مقاومت کند.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9 ]




**شکل ۴ - عملکرد یک پیل سوختی اسیدفسفریک**

هیدروژن مورد نیاز برای PAFC می تواند یک تغییر شکل دهنده خارجی از یک سوخت هیدروکربنی به وجود بیاید. در صورتی که سوخت مورد نظر گازوئیل باشد، سولفور آن باید جدا شود. زیرا سولفور به کاتالیست الکترودها صدمه می زند. همچنین می توان از گرمای به وجود آمده درPAFC ها می توان در کاربردهای ترکیبی در حوزه گرما و برق استفاده کرد.

### ۴-۲. پیل سوختی کربنات مذاب (MCFC)

در پیل سوختی کربنات مذاب(MCFC) ترکیب الکترولیت ۳۲ ٪ درصد کربنات پتاسیم و ۶۸ ٪ درصد کربنات لیتیوم می باشد. الکترود کاتد آن از جنس اکسید نیکل لیتیومی شده و الکترود آند از جنس آلیاژ نیکل کروم (۲ تا ۱۰ درصد کروم ) است. درجه حرارت کارکرد ۶۵۰ درجه سانتیگراد و در زمره پیل های سوختی با دمای کارکرد بالا به شمار می آید. در آند، هیدروژن با این یون ها واکنش می دهد داده و دی اکسیدکربن، آب و الکترون تشکیل می دهد. الکترون ها توسط یک مدار خارجی از آند به کاتد منتقل شده و برق تولید می کند. همچنین اکسیژن هوا و دی اکسیدکربن بازیافت شده از آند با الکترون ها واکنش داده و یون های $CO^{-2}_3$ را به وجود می آورد و الکترولیت را سرشار از یون های $CO^{-2}_3$ می کند.

$$Anode : H_2 + CO^{-2}_3 \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^- \quad (۱۰)$$

$$Cathode : 1/2O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO^{-2}_3 \quad (۱۱)$$

$$H_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow H_2O \quad (۱۲)$$

**مزایا:**

۱- امکان به کارگیری در مولدهای دو منظوره ۲- عدم استفاده از کاتالیست گران قیمت ۳- راندمان بالا

**معایب:**

۱- حساسیت زیاد به سولفور ۲- حل شدن اکسید نیکل ۳- احتیاج به چرخه دی اکسید کربن

پیل سوختی کربنات مذاب، (MCFC) در دمای بالا می توانند هیدروژن را از سوخت های مختلف توسط تغییر شکل دهنده داخلی یا خارجی استخراج کند؛ به علاوه حساسیت کمتری نسبت به مسمومیت ناشی از مونواکسیدکربن دارند.

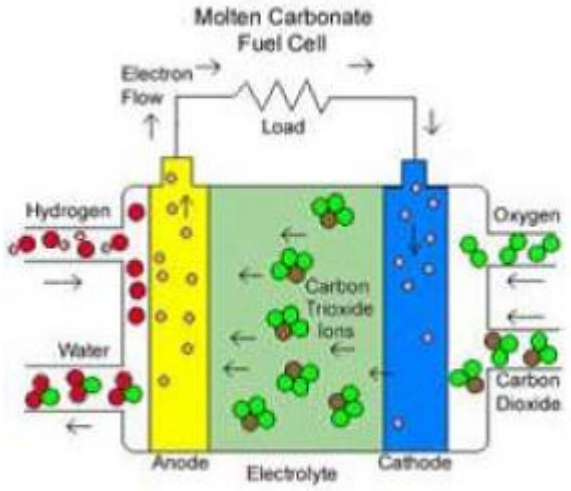


[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9 ]

MCFC ها در ترکیب با کاتالیست های نیکلی بسیار خوب عمل کار می کنند و کاتالیست های نیکلی ارزان تـر از پلـوتینم هستند.

ازگرمای خروجی پیل سوختی می توان برای کارهای صنعتی استفاده نمود. عملکرد پیل سوختی کربنات مذاب در شکل ۵ نشان داده شده است.




**شکل ۵ - کل عملکرد پیل سوختی کربنات مذاب**

پیل سوختی کربنات در مقایسه با پیل سوختی اکسید جامد دارای دو مشکل است؛ یکی از این مشکلات پیچیدگی کار بـا الکترولیت مایع است و دومین مورد، باقیمانده های واکنش شیمیایی در پیل سوختی کربنات مذاب است. در واکنش های آنـد، یون های کربنات مربوط به الکترولیت مورد استفاده قرار می گیرند ؛ بنابراین نیاز داریم توسط تزریق دی اکسید کربن در کاتد، این مقدار را جبران کنیم.

### ۵-۲ - پیل سوختی اکسید جامد(SOFC)

پیـل سـوختی اکسـید جامـد(SOFC) از یـک الکترولیـت سـرامیکی ( ترکیبـی از زیرکنـا(Zr) و ایتریـا (Y) بـا فرمـول .۱،۹۶O۰،۰۸۷۰،۹۲Zr می باشد) که به عنوان یک الکترولیت مـایع مـورد اسـتفاده قـرار مـی گیـرد. الکتـرود آنـد ترکیبـی از نیکلوزیرکنیا و الکترود کاتد از جنس منگنیت لانتانیم است. درجه حرارت کارکرد پیل ۷۰۰ الی ۱۰۰۰ درجـه سـانتیگراد مـی باشد.

الکترولیت جامد، با الکترودهایی که از مواد متخلخل مخصوصی تشکیل شـده انـد، پوشـانده شـده اسـت. در دمـای بـالای عملکرد پیل سوختیSOFC، یون های اکسیژن (با یک بار منفی) از شبکه کریستالی عبور می کنـد. وقتـی یـک سـوخت گـازی حاوی هیدروژن از آند عبور کند، یک جریان شارژ شده منفی، شامل یون های اکسیژن از الکترولیت عبور می کنـد تـا سـوخت رااکسید کنند.

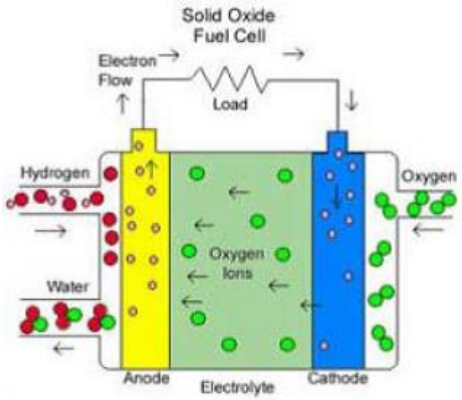
اکسـیژن ذخیـره شـده در کاتـد معمـولاً از هواگرفتـه میشـود مـی شـود . الکترونهـای ایجـاد شـده در آنـد از یک بار خارجی (مدار خارجی ) عبور کرده و به کاتد می رود.

پیل های سوختی نوع اکسید جامدSOFC نیاز به تغییر شکل دهنده خارجی ندارند. عملکـرد کلـی پیـل سـوختی اکسـید جامد را می توان در شکل ۶ مشاهده نمود.



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9 ]




**شکل ۶ - عملکرد پیل سوختی اکسید جامد**

واکنش های انجام شده در آند و کاتد به صورت زیر می باشد:

$$Anode : H_2 + O^{-2} \rightarrow H_2O + 2e^- \quad (۱۳)$$

$$Cathode : 1/2O_2 + 2e^- \rightarrow O^{-2} \quad (۱۴)$$

$$H_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow H_2O \quad (۱۵)$$

**مزایا:**

۱- عدم حساسیت به مونواکسیدکربن
۲- قابلیت مصرف سوخت های گوناگون
۳- عدم نیاز به هیدروژن خالص
۴- بالا بودن راندمان سیستم
۵- عدم نیاز به سوخت مجزا
۶- امکان استفاده مستقیم از گاز طبیعی به عنوان سوخت
۷- قابل استفاده در مولدهای دو منظوره
۸- عدم استفاده از الکترولیت مایع
۹- عدم استفاده از فلزات گران قیمت و کمیاب در ساخت

**معایب:**

۱- طولانی بودن زمان شروع به کار
۲- تشدید خوردگی و خرابی اجزاء به علت کارکرد در دمای بالا
۳- گران قیمت بودن بعضی از اجزاء

### ۶-۲- پیل سوختی متانولی (DMFC)

پیل سوختی متانولی در حقیقت یک پیل سوختی پلیمری است که قادر است متانول مایع را مستقیماً به عنوان سوخت مصرف کند ؛ از این رو الکترولیت آن، مانند پیل سوختی پلیمری غشاء پلیمری (عمدتًا Nafion) نافئون می باشد. الکترود آند از جنس آلیاژ پلاتین روتینیوم (Pt-Ru) و الکترود کاتد آن از جنس پلاتین است..

این پیل سوختی در محدوده وسیعی از درجه حرارت کار می کند و دمای کارکرد آن بین ۶۰ تا ۱۲۰ درجه سانتیگراداست. واکنش های انجام شده در الکترودهای این پیل سوختی عبارتند از:

$$Anode : CH_3OH + H_2O \rightarrow CO_2 + 6H^+ + 6e^- \quad (۱۶)$$

$$Cathode : 3/2O_2 + 6H^+ + 6e^- \rightarrow 3H_2O \quad (۱۷)$$

$$CH_3OH + 3/2\ O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O \quad (۱۸)$$



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9 ]

**مزایا:**

۱- قابلیت استفاده از متانول مایع به عنوان سوخت
۲- چگالی قدرت بالا
۳- دما و فشار عملکردی پایین
۴-سادگی ساختار و مدیریت حرارت پیل
۵- ضریب اطمینان بالای سیستم
۶- حذف سیستم مبدل سوخت
۷- حذف سیستم پیچیده مدیریت آب و حرارت (به علت همراه بودن سوخت با آب)
۸- کاهش قابل ملاحظه وزن وحجم

**معایب:**

۱- عبور متانول از غشاء و در نتیجه افت ولتاژ کلی پیل و به هدر رفتن سوخت
۲- پایین بودن عملکرد در مقایسه با دیگر پیل ها
۳- استفاده از پلاتین در ساختار پیل
۴- پایین بودن فعالیت کاتالیست Pt-Ru در آند

در جدول ۱ به صورت خلاصه تمایز بین پیل های سوختی مطرح شده نشان داده شده است.

**جدول ۱ – خلاصه ای از تمایز بین پیل های سوختی مختلف**

| نوع پیل‌سوختی | الکترولیت | یون هدایت دهنده | درجه‌حرارت کارکرد (سانتیگراد) | مرحله تکامل | دورنمای دستیابی به کاهش قیمت |
|---|---|---|---|---|---|
| پیل‌سوختی اکسیدجامد | $Zr_{0.92}Y_{0.08}O_{1.96}$ | $O^{-2}$ | ۷۰۰-۱۰۰۰ | عملکرد در آزمایشگاه | متوسط تا خوب |
| | چگالی انرژی متوسط به بالا، CO را به عنوان سوخت مصرف می‌کند | | | | |
| پیل‌سوختی کربنات مذاب | $Li_2CO_3/K_2CO_3$ | $CO_3$ | ۶۵۰ | عملکرد عملی | متوسط |
| | چگالی انرژی پایین، عدم ثبات کاتالیست اکسید نیکل، احتیاج به چرخه $CO_2$ | | | | |
| پیل‌سوختی اسید فسفریک | $H_3PO_4$ | $H^+$ | ۱۹۰-۲۱۰ | کاربردهای اولیه تجاری | متوسط |
| | چگالی انرژی متوسط، مصرف پلاتین به عنوان کاتالیست، حساس به CO | | | | |
| پیل‌سوختی قلیایی | KOH | $OH^-$ | ۶۰-۸۰ | کاربردهای فضایی | خوب |
| | چگالی انرژی بالا، عدم تحمل $CO_2$ | | | | |
| پیل‌سوختی پلیمری | Nafion | $H^+(H_3O^+)$ | ۸۵ | نمونه‌های اولیه | خوب |
| | چگالی انرژی بالا، کاتالیست پلاتین، حساس به CO، احتیاج به مرطوب نگه داشتن دائمی‌غشاء | | | | |
| پیل‌سوختی متانولی | Nafion | $H^+(H_2O,CH_3OH)$ | ۶۰-۱۲۰ | نمونه‌های اولیه | خوب |
| | چگالی انرژی متوسط، راندمان پایین، سادگی ساختار، کاهش وزن و حجم، کاتالیست پلاتین | | | | |

**۳- نتیجه گیری**

طراحی سیستم های پیل سوختی را می توان به عنوان یک فرایند در تصمیم گیری در نظر گرفت که شامل مرحله شناسایی مناسب ترین گزینه ها جهت انتخاب نیز می باشد. در صورتی که گزینه موردنظر با مشخصات طراحی و اهداف ما مطابقت داشته و به خوبی ارزیابی و طبقه بندی شده باشد، می توان به بهترین شکل از آن استفاده نمود. مشخصات و اهداف یک سیستم پیل سوختی شامل موارد متعددی می باشد. عملکرد، بعد، یعنی وزن و اندازه ، آلایندگی، توان خروجی، راه اندازی سریع و پاسخ سریع به تغییرات بار، طول عمر، عملکرد در محیط های شدید و سر و صدا ، که ممکن است در برخی از برنامه های کاربردی مهم و تأثیرگذار باشد. همچنین در طراحی سیستم های پیل سوختی توجه ویژه ای به استفاده از بهینه سازی مبتنی بر رایانه و مدل سازی شده است. یکی از مزایای این روش تأثیر مثبت در صرف هزینه زیاد و صرفه جویی در زمان



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9 ]

چرخه طراحی ، و همچنین بهبود عملکرد و طراحی آن می باشد. عملکرد بهینه توسعه در درجه اول به روشی که توسط آن نمونه اولیه ساخته شده بستگی دارد. شناسایی عوامل مهم و مواردی که عارضه جانبی نداشته باشند، تأثیر به سزایی بر طراحی دارد. برای گرفتن جنبه های جالب توجه، مدل سازی سلول سوختی توسط طراح از سلول سوختی انجام می شود. یک مدل ریاضی می تواند جنبه های خاص سیستم پیل سوختی را نشان دهد و ویژگی ها می توانند به شکلی از معادلات جبری ، معادلات دیفرانسیل یا یک فرایند یا زیرروال باشند که بر اساس یک کامپیوتر قابل طراحی است. این مدل می تواند جایگزین های مختلفی برای طراحی داشته باشد مانند تغییر پارامترها ، متغیرها ، محدودیت ها یا شرایط گام اصلی که در قبل توضیح داده شد به اساس مقایسه انواع گزینه های مختلف طراحی کمک می کند. سپس ، نمونه اولیه می تواند با یک الگوریتم بهینه سازی عددی ترکیب شود و طرح های بهبود یافته را به صورت تکراری تولید کند. این موضوع می تواند به یک یا چند راه حل بهینه منجر شود. مدل سازی و بهینه سازی به بررسی بیشتر در لیستی کوتاه تر از طرح ها به طراح کمک می کند. با این حال ، بهینه سازی همیشه تعیین کننده نیست و طراحی بهتر و مناسب برای ساخت، ممکن است عاملی تأثیرگذارتر باشد. در این وضعیت ، تکرار نکات قبلی و استفاده از معادلات درست برای تأیید پدیده های پیل سوختی مناسب در مدل و حاکمیت دقیق مورد نیاز است. اعتبار فرضیات به کار رفته در مدل سازی و همچنین تحلیل سبب می شودکه مشخصات و اهداف طراحی اصلاح شده و در صورت لزوم تغییر یابد. طرح نهایی یا در یک نمونه اولیه نهایی یا در بهبود یک طرح آینده موجود ایجاد می شود.

## مراجع


[1] Senjyu, T.; Howlader, A.M. Operational aspects of distribution systems with massive DER penetrations. Integr. Distrib. Energy Resour. Power Syst. 2016, 51–76.

[2] Bilgili, M.; Özbek, A.; Sahin, B.; Kahraman, A. An overview of renewable electric power capacity and progress in new technologies in the world. Renew. Sustain. Energy Rev. 2015, 49, 323–334.

[3] Ajanovic, A.; Haas, R. Economic prospects and policy framework for hydrogen as fuel in the transport sector. Energy Policy 2018, 123, 280–288.

[4] Hames, Y.; Kaya, K.; Baltacio ˘glu, E.; Turksoy, A. Analysis of the control strategies for fuel saving in the hydrogen fuel cell vehicles. Int. J. Hydrog. Energy 2018, 43, 10810–10821.

[5] lleh, M.T.; Jaafar, J.; Mohamed, M.A.; Norddin, M.; Ismail, A.F.; Othman, M.; Rahman, M.A.; Yusof, N¸. Aziz, F.; Salleh, W.N.W. Stability of SPEEK/Cloisite®/TAP nanocomposite membrane under Fenton reagent condition for direct methanol fuel cell application. Polym. Degrad. Stab. 2017, 137, 83–99.

[6] Kim, D.J.; Jo, M.J.; Nam, S.Y. A review of polymer–nanocomposite electrolyte membranes for fuel cell application. J. Ind. Eng. Chem. 2015, 21, 36–52.

[7] Karimi, M.B.; Mohammadi, F.; Hooshyari, K. Recent approaches to improve Nafion performance for fuel cell applications: A review. Int. J. Hydrog. Energy 2019, 44, 28919–28938.

[8] Li, H.; Zhang, G.; Wu, J.; Zhao, C.; Jia, Q.; Lew, C.M.; Zhang, L.; Zhang, Y.; Han, M.; Zhu, J.; et al. A facile approach to prepare self-cross-linkable sulfonated poly(ether ether ketone) membranes for direct methanol fuel cells. J. Power Sources 2010, 195, 8061–8066.

[9] Kim, K.; Heo, P.; Han, J.; Kim, J.; Lee, J.-C. End-group cross-linked sulfonated poly(arylene ether sulfone) via thiol-ene click reaction for high-performance proton exchange membrane. J. Power Sources 2018, 401, 20–28.


[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9 ]

[10] Pan, L.; Ott, S.; Dionigi, F.; Strasser, P. Current challenges related to the deployment of shape-controlled Pt alloy oxygen reduction reaction nanocatalysts into low Pt-loaded cathode layers of proton exchange membrane fuel cells. Curr. Opin. Electrochem. 2019, 18, 61–71.

[11] Liu, X.; Reddi, K.; Elgowainy, A.; Lohse-Busch, H.; Wang, M.; Rustagi, N. Comparison of well-to-wheels energy use and emissions of a hydrogen fuel cell electric vehicle relative to a conventional gasoline-powered internal combustion engine vehicle. Int. J. Hydrog. Energy 2020, 45,

[12] Sun, T.; Zhang, X.; Chen, B.; Liu, X. Coordination control strategy for the air management of heavy vehicle fuel cell engine. Int. J. Hydrog. Energy 2019. [CrossRef]

[13] Hossain, S.; Abdalla, A.M.; Suhaili, S.B.H.; Kamal, I.; Shaikh, S.P.S.; Dawood, M.K.; Azad, A.K. Nanostructured graphene materials utilization in fuel cells and batteries: A review. J. Energy Storage 2020, 29, 101386.

[14] Haghi, E.; Shamsi, H.; Dimitrov, S.; Fowler, M.; Raahemifar, K. Assessing the potential of fuel cell-powered and battery-powered forklifts for reducing GHG emissions using clean surplus power; a game theory approach. Int. J. Hydrog. Energy 2020. [CrossRef]

[15] Cano, Z.P.; Banham, D.; Ye, S.; Hintennach, A.; Lu, J.; Fowler, M.; Chen, Z. Batteries and fuel cells for emerging electric vehicle markets. Nat. Energy 2018, 3, 279–289. Membranes 2020, 10, 99 14

[16] Inci, M.; Turksoy, O. Review of fuel cells to grid interface: Configurations, technical challenges and trends. J Clean. Prod. 2019, 213, 1353–1370.

[17] Kamarudin, S.K.; Daud, W.R.W.; Ho, S.L.; Hasran, U. Overview on the challenges and developments of micro-direct methanol fuel cells (DMFC). J. Power Sources 2007, 163, 743–754.

[18] Moreno, N.G.; Molina, M.C.; Gervasio, D.; Robles, J.F.P. Approaches to polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFCs) and their cost. Renew. Sustain. Energy Rev. 2015, 52, 897–906.

[19] Chandan, A.; Hattenberger, M.; El-Kharouf, A.; Du, S.; Dhir, A.; Self, V.; Pollet, B.G.; Ingram, A.; Bujalski, W.High temperature (HT) polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFC)—A review. J. Power Sources 2013,

[20] Alcaide, F.; Cabot, P.-L.; Brillas, E. Fuel cells for chemicals and energy cogeneration. J. Power Sources 2006, technologies and application in fuel cell technology. Renew. Sustain. Energy Rev. 2016, 66, 137–162.

[21] J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp. 68-73.

[22] I. S. Jacobs and C. P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in Magnetism, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271-350.

[23] C. J. Kaufman, Rocky Mountain Research Laboratories, Boulder, CO, personal communication, 1992.

[24] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," IEEE Transl. J. Magn. Jpn., vol. 2, pp. 740-741, August 1987 .

[۲۵] محمد تشنه لب، نیما صفار پور، داریوش افیونی، " سیستم های فازی و کنترل فازی"، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۷۸.

[26] M. Young, *The* Technical *Writer's Handbook*, Mill Valley, CA: University Science, 1989.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9 ]

**چکیده انگلیسی:**

# An overview of new perspectives on fuel cell technology

**Abdolkarim Afroozeh**

Department of Electrical Engineering, University of Larestan, Lar, Iran

Received: May 2021, Accepted: July 2021

## Abstract

The use of limited reserves and pollution problems related to fossil fuels, the need for storage options as well as the use of renewable energy is felt. Solving environmental problems also requires a clean and efficient method. Today, fuel cells for energy efficient conversion, along with by-products of heat and water, known as efficient electrochemical converters and electricity, have been considered as a new production technology due to the need for clean energy and fossil constraints. . These include the ability of fuel cells to generate electricity without creating any mechanical movement, as well as their technologies, which have also received much attention in commerce. Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC), Solid Oxide Fuel Cell (SOFC), Direct Methanol Fuel Cell (DMFC), Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC), Alkaline Fuel Cell (AFC) and Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC) Fuels are discussed in this study. Membranes and improved cell efficiency as well as durability and reliability allow us to use them in competition with traditional combustion engines. Also, the performance of fuel cells causes a significant reduction in costs. In this review, we will analyze recent developments in fuel cells and compare them.

**Key words:** Fuel cell technology; Energy; Polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFCs); Solid Oxide Fuel Cells (SOFC); Direct methanol fuel cell (DMFC).

*corresponding author: **afroozeh@lar.ac.ir**

**https://dorl.net/dor/** 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9

**Cite this article as:** Abdolkarim Afroozeh, An overview of new perspectives on fuel cell technology. Journal of Energy Conversion, 2021, 8(3), 65-76. DOR**: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9**

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.1.9 ]