

انواع پیل سوختی و کاربردهای آن

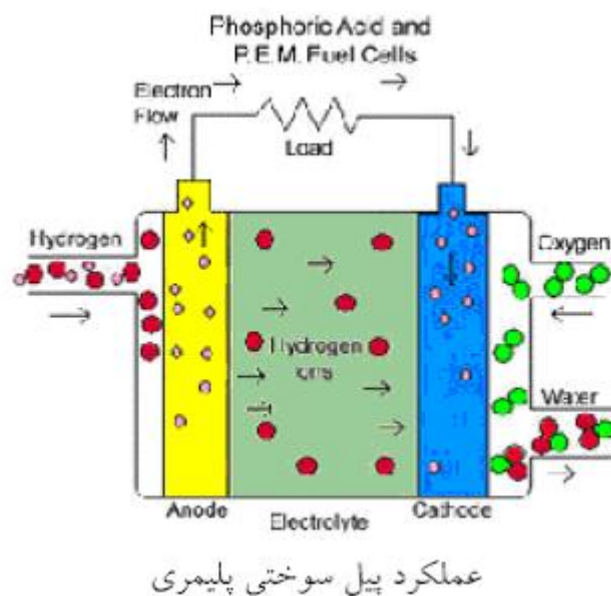
طبقه بندی رایج پیل‌های سوختی بر اساس نوع الکترولیت آنها می باشد که عبارتست از:

- (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 پیل‌های سوختی و جدول خصوصیات آنها بشرح ذیل می باشد:

۱. پیل سوختی غشاء پروتون (PEMFC)

پیل‌های سوختی غشاء پروتون دارای غشاء پلیمری جامد هستند که در حال حاضر عمدتاً غشاء Nafion در این پیل سوختی بکار 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 الکترولیت‌های جامد در دمای بالا کار می کنند. شکل زیر یک الکترولیت غشاء پروتون را به ما نشان می دهد.

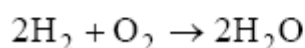
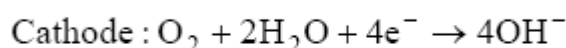
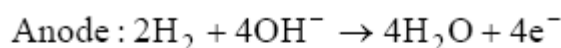


برای سرعت بخشیدن به واکنش، یک کاتالیست پلوتونیومی در دو سطح غشاء الکترولیت استفاده می شود که این کاتالیست موجب افزایش قیمت پیل سوختی می شود؛ اما بدلیل جامد بودن الکترولیت پیل

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 اتمهای هیدروژن در آند یونیزه می شوند و الکترونهای آنها جدا می شود. یونهای هیدروژن که شامل بار مثبت هستند، به سطح غشاء خلل دار نفوذ می کند و بسمت کاتد می روند؛ الکترونهای جدا شده نمی توانند از این غشاء عبور کنند و از یک مدار خارجی عبور می کنند و موجب تولید برق می شوند. در کاتد الکترونها، پروتونهای 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 رفورمر در خارج از پیل سوختی استفاده کنیم تا احتمال بوجود آمدن CO و در نتیجه مسمومیت کاتالیست را کاهش دهیم

واکنشهای انجام شده در آند و کاتد بشرح ذیل است :



مزایا:

- دمای پایین و شروع بکار سریع
- عدم حساسیت به دی اکسیدکربن
- امکان استفاده از گازهای مشتق از هیدروکربن بعنوان سوخت

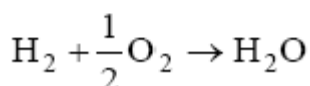
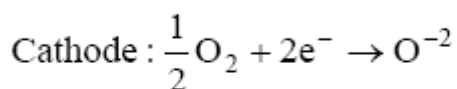
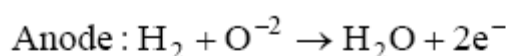
معایب:

- حساسیت به مونواکسید کربن
- بکارگیری فلزات کمیاب در ساختمان پیل
- پیچیده بودن سیستم مدیریت آب در مجموعه غشاء و الکترود

۲. پیل سوختی قلیایی (AFC)

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

در این پیل سوختی یونهای هیدروکسیل OH^- از سمت کاتد به آند رفته و در آند گاز هیدروژن با یونهای هیدروکسیل واکنش داده و آب و الکترون را ایجاد می کند. الکترونهای بوجود آمده در آند توسط یک مدار خارجی، توان الکتریکی تولید می کند و از طریق این مدار خارجی، الکترونها به کاتد باز می گردد. الکترونها در کاتد با اکسیژن و آب واکنش می دهند و موجب تشکیل یونهای هیدروکسیل بیشتری می شوند. این یونهادرون الکترولیت نفوذ کرده و واکنش ادامه پیدا می کند.



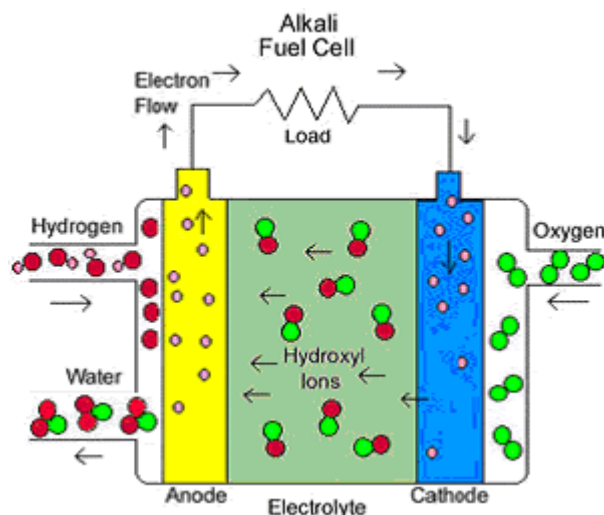
مزایا:

- عدم نیاز به فلزات کمیاب
- بالا بودن راندمان

معایب:

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

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

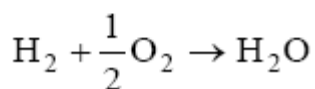
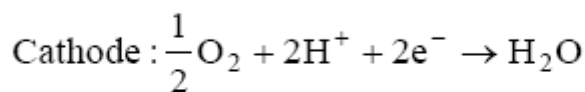
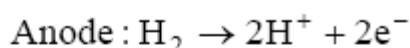


عملکرد یک پیل سوختی قلیایی

۳. 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 استفاده می کند و الک ترودهای پیل های سوختی اسید فسفریک از جنس پلاتین می باشد که بر روی سطح پودر کربن فعال نشانداده شده است . در این نوع پیل سوختی از سوخت های بیشتری می توان استفاده کرد.

عملکرد پیل سوختی اسید فسفریک به این ترتیب است که یون های هیدروژن مثبت توسط الکترود از آند به کاتد می روند و الکتردهای بوجود آمده در آند از طریق یک مدار خارجی عبور می کند و برق تولید می کند و به کاتد برمی گردد . واکنش های انجام شده در این پیل عبارتست از:



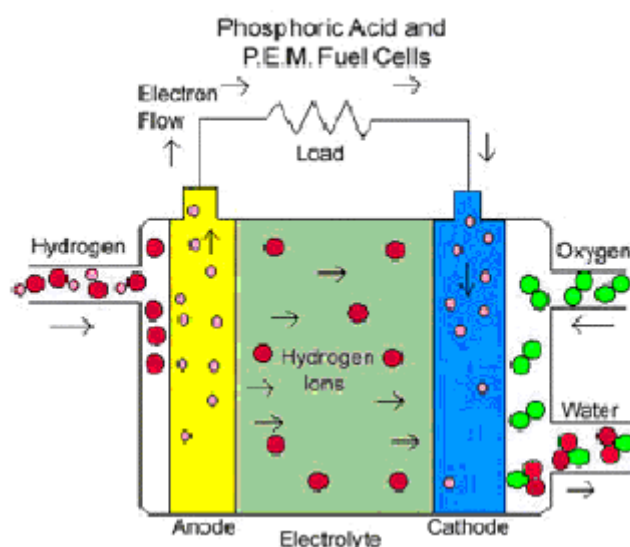
مزایا:

- توان تحمل ۱ تا ۲ درصد مونواکسید کربن
- امکان استفاده در مولدهای (تولید همزمان برق و حرارت)
- ثبات الکترولیت در محیط الکتروشیمیایی

- سادگی سیستم مدیریت آب و دما

معایب:

- کم بودن سرعت احیاء اکسیژن
- حساسیت به H_2S

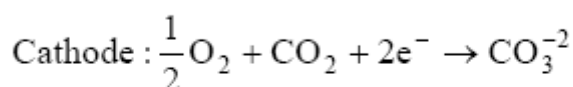
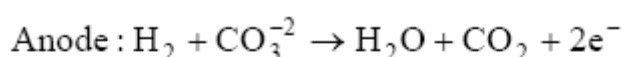


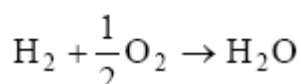
عملکرد یک پیل سوختی اسیدفسفریک

در کاند الکترونها، یونهای هیدروژن و اکسیژن آب بوجود می آورند که با فشار به بیرون پیل سوختی هدایت می شود. با وجود کاتالیست پلوتنیم سرعت واکنشها بالا می رود. از مزایای پیل سوختی اسید فسفریک می توان به توان تحمل پیل سوختی در قبال میزان کمی از مونوکسید کربن و همین طور توانایی تحمل دمای بالای دمای جوش آب را دارد. این پیل سوختی اجزایی با مقاومت بالا باید داشته باشد تا در مقابل خوردگی اسید مقاومت کند. هیدروژن مورد نیاز برای PAFC می تواند یک Reformer خارجی از یک سوخت هیدروکربنی بوجود بیاید در صورتی که سوخت مورد نظر گازوئیل باشد، سولفور آن باید جدا شود. زیرا سولفور به کاتالیست الکترودها صدمه می زند. می توان از گرمای بوجود آمده در PAFC ها در کاربرد ترکیبی گرما و برق استفاده کرد. عملکرد یک پیل سوختی اسید فسفریک را در شکل می بینید.

۴. پیل سوختی کربنات مذاب (MCFC)

در پیل سوختی کربنات مذاب (MCFC) الکترولیت ترکیب ۳۲٪ درصد کربنات پتاسیم و ۶۸٪ درصد کربنات لیتیم می باشد. الکترود کاتد آن از جنس اکسید نیکل لیتیمی شده و الکترود آند از جنس آلیاژ نیکل کروم (۲ تا ۱۰ درصد کروم) است. درجه حرارت کارکرد ۶۵۰ درجه سانتیگراد و جزء پیل‌های سوختی با دمای کارکرد بالا بشمار می آید. در آند، هیدروژن با این یونها واکنش می دهد و دی اکسیدکربن، آب و الکترون تشکیل می دهد. الکترون‌ها توسط یک مدار خارجی از آند به کاتد منتقل می شود و برق تولید می کند. اکسیژن هوا، دی اکسیدکربن بازیافت شده از آند با الکترون‌ها واکنش داده و یونهای CO_3^{2-} را بوجود می آورد و الکترولیت را سرشار از یونها CO_3^{2-} می کند.





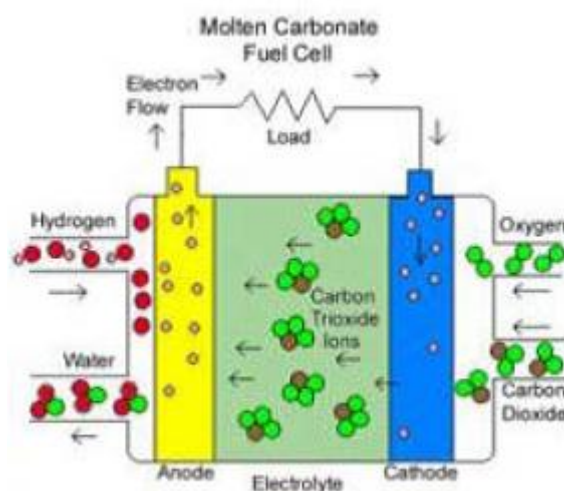
مزایا:

- امکان بکارگیری در مولدهای دو منظوره
- عدم استفاده از کاتالیست گران قیمت
- راندمان بالا

معایب:

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

پیل سوختی کربنات مذاب، (MCFC) دما بالا می توانند هیدروژن را از سوخت‌های مختلف توسط رفورمرداخلی یا خارجی استخراج کند؛ بعلاوه حساسیت کمتری نسبت به مسمومیت مونوکسیدکربن دارند. MCFC ها با کاتالیست‌های نیکلی بسیار خوب کار می کنند و کاتالیست‌های نیکلی ارزانتر، پلوتینم هستند . از گرمای خروجی پیل سوختی می توان برای کارهای صنعتی استفاده نمود.



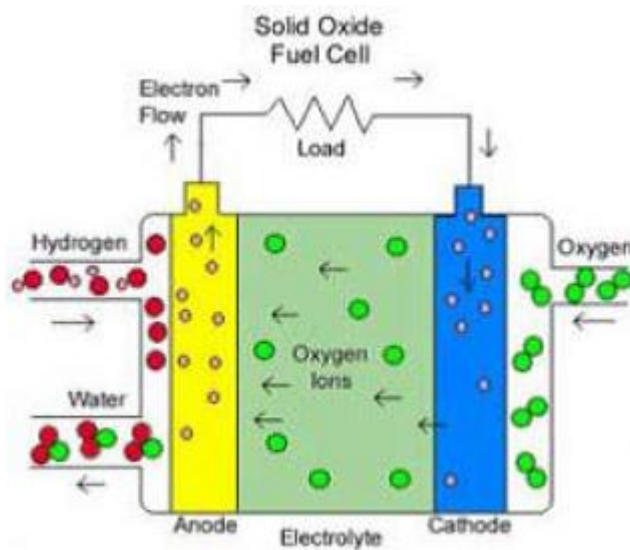
عملکرد پیل سوختی کربنات مذاب

پیل سوختی کربنات در مقایسه با پیل سوختی اکسید جامد دارای دو مشکل است؛ یکی از این مشکلات پیچیدگی کار با الکترولیت مایع است و دومین مشکل باقیمانده های واکنش شیمیایی در پیل سوختی کربنات مذاب است. یونهای کربنات الکترولیت در واکنشهای آند استفاده می شوند؛ بنابراین نیاز داریم که توسط تزریق دی اکسید کربن در کاتد، این مقدار را جبران کنیم.

۵. پیل سوختی اکسید جامد (SOFC)

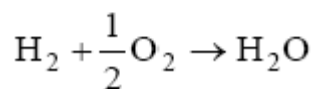
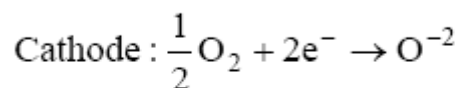
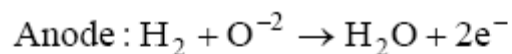
پیل سوختی اکسید جامد (SOFC) از یک الکترولیت سرامیکی (ترکیبی از زیرکنا (Zr) و ایتریا (Y)) با فرمول $Zr_{0.92}Y_{0.08}O_{1.96}$ می باشد بجای یک الکترولیت مایع استفاده می کند. الکتروآند ملغمه ای از نیکل و زیرکنا و الکتروکاتد از جنس منگنیت لانتانیم است. درجه حرارت کارکرد پیل ۷۰۰ الی ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد می باشد. الکترولیت جامد با الکترودها که از مواد متخلخل مخصوصی تشکیل شده اند، پوشانده شده اند. در دمای بالای عملکرد پیل سوختی SOFC، یونهای اکسیژن (با بار منفی) از شبکه کریستالی عبور می کند. وقتی یک سوخت گازی حاوی هیدروژن از آند عبور کند، یک جریان شارژ شده منفی شامل یونهای اکسیژن از الکترولیت عبور می کند تا سوخت را اکسید کنند. اکسیژن ذخیره شده در کاتد معمولاً از هوا گرفته می شود. الکترونهای ایجاد شده در آند از یک بار خارجی (مدار خارجی) عبور کرده و به کاتد می رود.

با این کار یک مدار الکتریکی کامل می شود و انرژی برق تولید می شود. پیلهای سوختی نوع اکسید جامد SOFC نیاز به رفورمر خارجی ندارند. عملکرد کلی پیل سوختی اکسید جامد را می توان در شکل زیر دید



عملکرد پیل سوختی اکسید جامد

واکنشهای انجام شده در آند و کاتد بصورت زیر می باشد:



مزایا:

- عدم حساسیت به مونواکسیدکربن
- قابلیت مصرف سوختهای گوناگون
- عدم نیاز به هیدروژن خالص
- بالا بودن راندمان سیستم
- عدم نیاز به سوخت مجزا
- امکان استفاده مستقیم از گاز طبیعی بعنوان سوخت

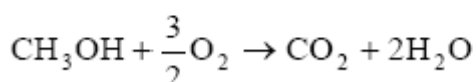
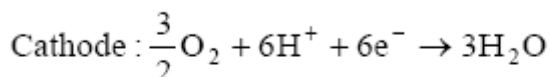
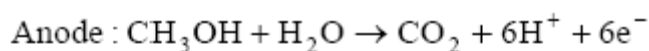
- قابل استفاده در مولدهای دو منظوره
- عدم استفاده از الکترولیت مایع
- عدم استفاده از فلزات گران قیمت و کمیاب در ساخت

معایب:

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

۶. پیل سوختی متانولی (DMFC)

پیل سوختی متانولی در حقیقت یک پیل سوختی پلیمری است که قادر است متانول مایع را مستقیماً بعنوان سوخت مصرف کند؛ از اینرو الکترولیت آن مانند پیل سوختی پلیمری غشاء پلیمری (عمدتاً Nafion) می باشد. الکتروکاتد از جنس آلیاژ پلاتین روتینیوم (Pt-Ru) و الکتروکاتد 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 سانتیگراد است. واکنشهای انجام شده در الکترودهای این پیل سوختی عبارتند از:



مزایا:

- قابلیت استفاده از متانول مایع بعنوان سوخت
- چگالی قدرت بالا
- دما و فشار عملکردی پایین
- سادگی ساختار و مدیریت حرارت پیل
- ضریب اطمینان بالای سیستم
- حذف سیستم مبدل سوخت
- حذف سیستم پیچیده مدیریت آب و حرارت (بعلت همراه بودن سوخت با آب)

- کاهش قابل ملاحظه وزن و حجم

معایب:

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

در جدول زیر انواع پیل‌های سوختی با خصوصیات مورد نظر آنها به منظور مقایسه آورده شده است:

نوع پیل سوختی	الکترولیت	یون هدایت دهنده	درجه حرارت کارکرد (سانتیکراد)	مرحله تکامل	دورنمای دستیابی به کاهش قیمت
پیل سوختی اکسید جامد	$Zr_{0.92}Y_{0.08}O_{1.96}$	O^{2-}	۷۰۰-۱۰۰۰	عملکرد در آزمایشگاه	متوسط تا خوب
	چگالی انرژی متوسط به بالا، CO را به عنوان سوخت مصرف می‌کند				
پیل سوختی کربنات مذاب	Li_2CO_3/K_2CO_3	CO_3^{2-}	۶۵۰	عملکرد عملی	متوسط
	چگالی انرژی پایین، عدم ثبات کاتالیست اکسید نیکل، احتیاج به چرخه CO_2				
پیل سوختی اسید فسفریک	H_3PO_4	H^+	۱۹۰-۲۱۰	کاربردهای اولیه تجاری	متوسط
	چگالی انرژی متوسط، مصرف پلاتین به عنوان کاتالیست، حساس به CO				
پیل سوختی قلیایی	KOH	OH^-	۶۰-۸۰	کاربردهای فضایی	خوب
	چگالی انرژی بالا، عدم تحمل CO_2				
پیل سوختی پلیمری	Nafion	$H^+(H_3O^+)$	۸۵	نمونه‌های اولیه	خوب
	چگالی انرژی بالا، کاتالیست پلاتین، حساس به CO، احتیاج به مرطوب نگه داشتن دائمی غشاء				
پیل سوختی 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				