

پیل سوختی، کاربردها

Fuel Cell, Applications

پیل‌های سوختی به علت ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود، مانند بازده انرژی بالا، طول عمر زیاد، دوستدار محیط‌زیست، بی‌صدایی و غیره کاربردهای متنوعی برای تولید انرژی الکتریکی در زمینه‌های مختلف دارند.

پیل‌های سوختی چه به صورت تک‌پیل و یا استک در محدوده وسیعی از چند وات تا مگاوات انرژی الکتریکی تولید می‌کنند و به عنوان راه حل مناسب و پاک تولید انرژی الکتریکی و گرما از طیف وسیعی از منابع اولیه انرژی در قرن بیست و یکم شناخته شده‌اند [۱]. این پیل‌ها در زمینه‌های متنوع و مختلف تولید انرژی الکتریکی و حرارت به صورت توأمان کاربردهای زیادی پیدا کرده‌اند [۲]. به طور کلی، کاربردهای پیل‌های سوختی به سه دسته قابل حمل، ایستا و ترابری [۳]. مطابق جدول ۱ تقسیم می‌شوند.

هر سلول پیل سوختی پتانسیل الکتریکی حدود ۰/۷ ولت تولید می‌کند و به منظور افزایش پتانسیل الکتریکی، برای استفاده در کاربردهای گوناگون، آنها را به صورت استک تهیه می‌کنند [۴].

لذا در همه کاربردهایی که برای پیل‌های سوختی مختلف در جدول ۱ فهرست شده، از استک‌های پیل‌های سوختی مربوط استفاده می‌شود. در این جدول:

proton exchange membrane fuel (PEMFC)
 cell نشانگر پیل سوختی غشای تبدیل پروتونی / غشای الکترولیت پلیمری، (DMFC) direct methanol fuel
 cell پیل سوختی متانول مستقیم، (PAFC) phosphoric acid fuel cell
 پیل سوختی فسفریک اسید، (MCFC) molten carbonate fuel cell
 پیل سوختی کربنات مذاب، (SOFC) solid oxide fuel cell
 پیل سوختی اکسید جامد هستند و پیل‌های سوختی PEMFC دما بالا

جدول ۱. تقسیم‌بندی کلی کاربردهای پیل‌های سوختی [۱].

نوع کاربرد	قابل حمل	ایستا	ترابری
تعریف	- واحدهای پیل سوختی که قابل حمل برای نصب در یک سیستم و یا خارج کردن از آن هستند. واحدهای پیل سوختی که برای تولید برق اضطراری به کار می‌روند (APU)	واحدهای پیل سوختی مولد برق (در بعضی مواقع نیز مولد حرارت) و طوری طراحی می‌شوند که در جای خود، ثابت و غیر قابل حرکت باشند.	واحدهای پیل سوختی تولید برق برای خودروها
محدوده تولید انرژی الکتریکی	5W – 20 kw	0,5W – 400 kw	1kW – 100kW
نوع پیل	PEMFC, DMFC	MCFC, PAFC, PEMFC, SOFC	PEMFC, DMFC
مثال	- تأمین برق کانکس، قایق، روشنایی منازل - کاربردهای نظامی قابل حمل - وسایل قابل حمل مانند باتری شارژ کن، وسایل الکترونیکی شخصی کوچک (پخش ام. پی. تری، دوربین، رایانه شخصی و ...) - تولید توأم برق و حرارت - CHP	- واحدهای پیل سوختی ایستایی بزرگ برای تولید توأم برق و پژوهش‌های حرارت (CHP) انرژی - واحدهای کوچک پیل سوختی میکرو-CHP - یو پی اس - تعدیل جریان برق (در هنگام تولید مازاد برق به صورت هیدروژن از طریق الکترولیز آب ذخیره و در هنگام لزوم مجدداً به برق تبدیل می‌شود). - توزیع مناسب برق (با قراردادن پیل‌های سوختی در نزدیکی مراکز تولید برق از هزینه توزیع و انتقال برق کاسته می‌شود). - تأمین برق محلی که در آن ساختمان‌سازی انجام می‌شود اردوگاه‌های نظامی، دهکده‌های کوچک. - تأمین برق اضطراری بیمارستان‌ها و مراکز آموزشی.	- کامیونت‌های حمل بار - خودروهای برقی پیل سوختی - کامیون و اتوبوس - زیردریایی‌ها

(کاربردهای ایستا) و PEMFC دما پایین (کاربردهای دیگر) هر دو به صورت PEMFC نشان داده شده‌اند. این پنج نوع پیل سوختی و نیز AFC (پیل سوختی قلیایی) مجموعاً شش نوع پیل سوختی اصلی‌اند که بیشترین حجم تجاری پیل‌های سوختی را در دنیا به خود اختصاص داده‌اند [۴].

کاربردهای پیل سوختی غشای تبدیل پروتونی/غشای کترولیت پلیمری (PEMFC)

کاربرد مهم اینگونه پیل سوختی، در بخش ترابری است؛ زیرا که آثار مثبتی روی کاهش آلاینده‌های محیط زیست دارد و از انتشار گازهای گلخانه‌ای جلوگیری می‌کند [۵]. به‌علاوه، این نوع پیل سوختی، در زمینه‌های تولید جریان الکتریسیته به صورت قابل حمل و نیز ایستایی کاربرد دارد، اما بیشترین کاربرد آن، در تولید جریان برق برای خودروهای پیل سوختی است. اکثر شرکت‌های خودروسازی در جهان، فقط استفاده از اینگونه پیل سوختی را برای خودروها جایز دانسته‌اند؛ زیرا این پیل دانسیته جریان برق بالایی را تولید می‌کند. کشورهای صنعتی جهان که در صنعت تولید اتومبیل پیشروند در حال حاضر در تجاری‌سازی تعداد محدودی از خودروهای پیل سوختی موفق بوده‌اند اما در بررسی‌های مبسوط اقتصادی صنعتی و غیره به این نتیجه رسیده‌اند که تجاری‌سازی اینگونه خودروها می‌تواند در بین سال‌های ۲۰۲۵، ۲۰۳۰ در سطح وسیعی انجام گیرد [۶].

پیل سوختی PEM در تولید برق غیرمتمرکز [۷] در مقیاس ۵۰ تا ۲۵۰ کیلووات و یا کمتر از ۱۰ کیلووات برای مواد انرژی مصارف خانگی نیز کاربرد دارد [۸]. در واقع اولین کاربرد اینگونه پیل‌های سوختی، برای تولید برق خانگی است؛ زیرا توأم از گرمای حاصل نیز در منازل استفاده می‌شد تا راندمان بیشتری، از آن به دست آید [۹].

کاربردهای پیل سوختی فسفریک اسید (PAFC)

پیل‌های سوختی فسفریک اسید، اولین پیل‌های سوختی

هستند که در نیروگاه‌های برق مورد استفاده قرار گرفت و به صورت تجاری درآمد و تا به امروز، نیز بیشترین مصرف تجاری را در میان پیل‌های سوختی دیگر داشته است [۱]. اما انتظار می‌رود این موقعیت خود را در درازمدت، با پیل‌های سوختی دیگری که بهره‌برداری از آنها ارزاتر است و در دمای بالاتری (بالاتر از ۵۰۰ درجه سلسیوس) عمل می‌کنند، عوض کند [۱۰]. اگرچه این پیل در تولید برق اتوبوس‌ها با موفقیت به کار گرفته شده، اما به نظر می‌رسد برای این کار، چندان هم ایدئال نیست [۱۱].

پیل سوختی فسفریک اسید به حالت ایستا، بیشتر برای تولید برق نیروگاهی مناسب است و تا به حال بیش از ۲۰۰ نیروگاه تولید برق فسفریک اسیدی با قدرت ۲۰۰ کیلووات در گوشه و کنار جهان، مخصوصاً در ژاپن در حال بهره‌برداری است [۱۲]. کاربرد چند منظوره این پیل هنگامی است که از برق و گرمای حاصل از آن، به صورت توأم بتوان استفاده کرد. برای این منظور از این نوع کاربرد پیل سوختی فسفریک اسید در آپارتمان‌ها، مراکز خرید، بیمارستان‌ها، هتل‌ها و غیره نیز برای ایجاد انرژی الکتریکی و آب گرم مصرفی برای شستشو و نیز گرم کردن فضا استفاده می‌شود [۱۳]. همچنان برای تأمین برق وسایل رایانه‌ای در جایی که دسترسی به برق شبکه نیست و نیز در بخش‌های نظامی برای استفاده توأم برق و حرارت به کار گرفته می‌شود. مهم‌ترین نقطه ضعف این پیل راندمان پایین آن در مقایسه با سایر پیل‌های سوختی است [۲].

کاربرد پیل‌های سوختی اکسید جامد (SOFC)

پیل سوختی اکسید جامد در دماهای بالا عمل می‌کند (۶۰۰-۱۰۰۰ درجه سلسیوس) و لذا کاربرد آن، منحصر به مواردی است که بتوان از جریان برق و حرارت به صورت توأم استفاده کرد و حرارت حاصل را در صنایع برای ایجاد بخار خشک و تولید برق اضافی و نیز در منازل هم مورد استفاده

موضوع تحقیقات جالبی برای پژوهشگران بوده است [۱۴]. متانول ساده‌ترین سوخت آلی است و فعالیت الکتروشیمیایی آن، حداقل سه مرتبه‌نمایی، کمتر از هیدروژن است. اصلاح بخار متانول در دمای به‌مراتب کمتر از هیدروکربن‌های دیگر مانند گاز طبیعی و نیز اتانول انجام می‌گیرد (۲۰۰ درجه سلسیوس در مقایسه با ۷۰۰ درجه سلسیوس) [۱۶] و ذخیره‌سازی متانول نیز به‌مراتب آسان‌تر از ذخیره‌سازی هیدروژن است [۳]. لذا با در نظر گرفتن این نکات، می‌توان از اصلاح متانول در استک‌های این پیل سوختی در نیروگاه‌های برق استفاده کرد. اما در واقع کاربردهای این نوع پیل سوختی در استفاده مستقیم از متانول برای حمل و نقل و وسایل الکترونیکی قابل حمل [۱۷] و نیز برق‌رسانی برای مناطق دور از شبکه ایدئال است [۱۴].

کاربرد پیل‌های سوختی بیولوژیکی و میکروبی (MFC)

پیل‌های سوختی میکروبی، در حال حاضر کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلفی مانند تصفیه فاضلاب‌ها، نمک‌زدایی از آب [۱۸]، تولید هیدروژن، حسگر از راه دور، زدودن آلاینده‌ها دارند و کاربردهای نوینی نیز برای اینگونه پیل‌های سوختی در دست تحقیق و بررسی است [۱۹]. مشخص شده که در تصفیه فاضلاب‌ها، با پیل‌های سوختی میکروبی می‌توان تا ۸۰ درصد از مواد آلی موجود در آنها را کاهش داد [۲۰]. اما در این فرآیند، لازم است مواد سمی و آن دسته از موادی که قابل تجزیه میکروبی نیستند، از فاضلاب خارج شوند که خود هزینه‌بر است، اما در عوض تولید جریان الکتریسته از پالایش فاضلاب، می‌تواند جبران این هزینه را بکند [۲۱]. از مزایای این فرآیند این است که ورود مواد آلاینده به آب‌ها کمتر گردیده و نیز از تولید جریان برق نیز درآمد زیادی کسب می‌شود؛ لذا از اینگونه پیل‌های سوختی، می‌توان در پالایش دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های راکد و غیره نیز استفاده کرد.

قرار داد [۳]. در حال حاضر، از آن برای تولید برق نیروگاه‌های متوسط و بزرگ و سیکل‌های ترکیبی استفاده می‌شود. با توجه به تولید برق با چگالی بالا از آن و فقدان آثار زیانبار زیست‌محیطی، از آنها می‌توان در خودروها نیز استفاده کرد [۱۴].

کاربردهای پیل‌های سوختی کربنات مذاب (MCFC)

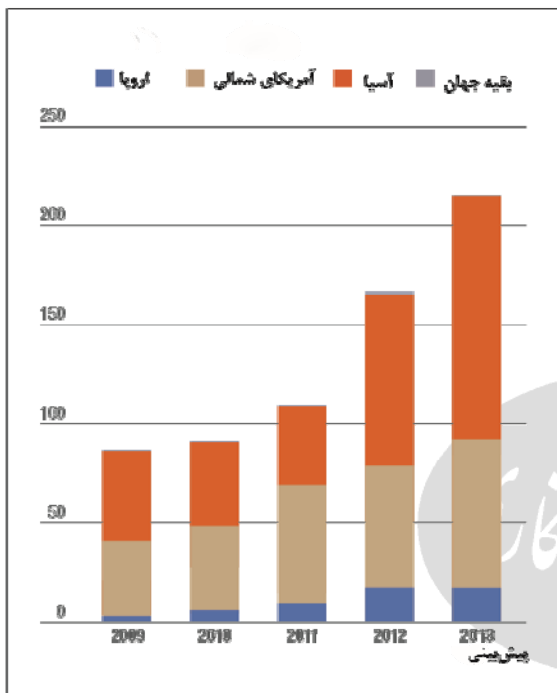
کاربردهای تجاری پیل سوختی کربنات مذاب، شبیه به کاربردهای پیل سوختی اکسید جامد است ولی در دمای کمی پایین‌تر از ۶۵۰ درجه سلسیوس عمل می‌کند و لذا طراحی روش ترکیبی آن، با توربین‌های گازی، آسان‌تر از پیل سوختی اکسید جامد است. تفاوت اصلی این پیل با SOFC استفاده از CO₂ در آن است؛ بدین معنی که طراحی آنها برای بهره‌برداری برای تولید برق کمتر از ۲۵۰ کیلووات مشکل است و لذا بهره‌برداری از آن، در تولید برق در مقیاس‌های بزرگ امکان‌پذیر نیست [۱۲]. کاربردهای این پیل، برای استفاده‌های اقتصادی در صنایع الکتریکی و نظامی گسترش یافته و یک واحد صنعتی در امریکا برای اقتصادی کردن واحد خود، از پیل سوختی کربنات مذاب استفاده کرده است [۱۵].

کاربردهای پیل‌های سوختی قلیایی (AFC)

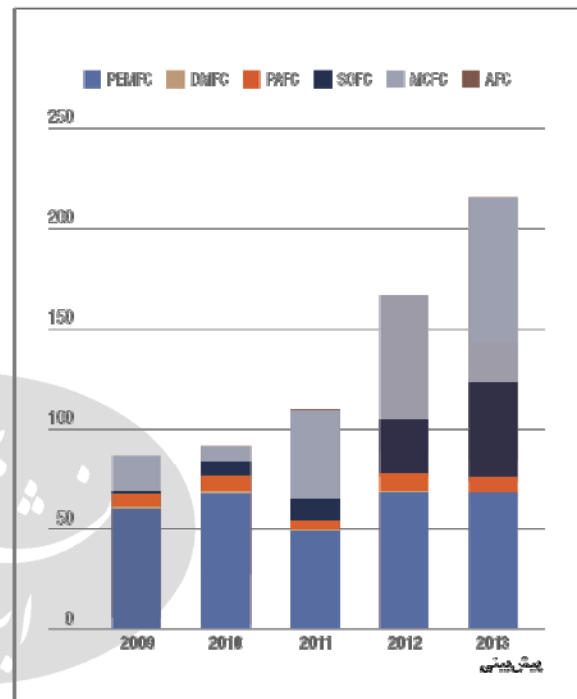
پیل سوختی قلیایی، تاریخچه قدیمی دارد و در واقع اولین پیل سوختی است که توسعه یافت و هنوز هم از آن در مسافرت‌های فضایی استفاده می‌شود؛ زیرا به‌علت استفاده از هیدروژن و اکسیژن خالص در آن، آب آشامیدنی برای فضانوردان تهیه می‌شود [۱]. بیشترین طراحی روی این پیل سوختی، برای کاربردهای خاص در حمل و نقل، مانند تاکسی‌ها، بیل مکانیکی و غیره بوده است [۱۵].

کاربردهای پیل‌های سوختی متانول مستقیم (DMFC)

پیل سوختی متانول مستقیم از سه دهه قبل، تا به حال،



شکل ۱- ب. برق تولیدی از پیل سوختی در مناطق مختلف جهان در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ (مگاوات) [۴].



شکل ۱- الف. تولید برق انواع پیل سوختی طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ (مگاوات) [۴].

۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ است. این شکل نشان‌دهنده این است که در ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۳ قاره آسیا در استفاده از پیل‌های سوختی از بقیه نواحی جهان سبقت گرفته است و بهره‌برداری از اینگونه پیل‌ها در کشورهای امریکای شمالی، به تدریج رو به افزایش بوده است.

مداخل مرتبط

پیل سوختی؛ پیل سوختی میکروبی.

کتاب‌شناسی

- [1] Giogr, L.; Leccese, F. "Fuel cells: technologies and applications". *The Open Fuel Cells Journal*, vol.6, 2013.
- [2] Holland, B.J.; et al. "Fuel cell technology and applications". University of Technology, Sydney, 2007.
- [3] Behra, P.R; et al. "A review on fuel cell and its applications". *Research in Engineering and Technology*, vol. 3, issue. 3, 2014.

حجم مصرف کلی و میزان تولید انواع پیل‌های سوختی (مگاوات) در جهان (۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳)

همانطور که در شکل ۱-الف مشاهده می‌شود، تولید برق در مقیاس مگاوات در دنیا به وسیله استک‌های پیل سوختی کربنات مذاب در سال ۲۰۱۳م، از انواع دیگر پیل‌های سوختی سبقت گرفته و پیل‌های سوختی پلیمری، اکسید جامد، فسفریک اسید، متانول مستقیم در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند و تولید پیل سوختی قلیایی، کمتر از یک مگاوات در دنیا در بین سال‌های مذکور بوده است. نمودار شکل مذکور، نشان‌دهنده افزایش بهره‌گیری از پیل اکسید جامد در این سال‌ها بوده و نیز تولید و استفاده جهانی از پیل سوختی پلیمری، در این محدوده زمانی تقریباً ثابت مانده است.

شکل ۱- ب نشان‌دهنده حجم بهره‌برداری (مگاوات) کلی از پیل‌های سوختی در نقاط مختلف جهان در سال‌های

- [4] Nice, K.; Strickland, J. "How fuel cells works: Polymer exchange membrane fuel cells". *How Stuff Works*, 2011.
- [5] Wang, Y.; et al. "A review of polymer electrolyte membrane fuel cells; Technology, applications, and needs on fundamental research". *Applied Energy*, vol. 88, 2011.
- [6] Greene, D.L.; Duleep, G. "Status and Prospects of the Global Automotive Fuel Cell Industry and Plans for Deployment of Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Refueling Infrastructure". *Oak Ridge National Laboratory*, 2013.
- [7] Karger, C.R.; Hennigs, W. "Sustainability evaluation of decentralized electricity generation". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, iss. 3, 2009.
- [8] Garhe, J.; Jorissen, L. *Handbook of Fuel Cells*. John Wiley & Sons, 2010.
- [9] Geiger, S.; Copper, M. "Fuel cell small stationary market survey". *Fuel Cell Today*, 2003.
- [10] Remick, R.; Wheeler D. "MCFC and PAFC R&D workshop summary report". U.S.Department of Energy, USA, 2010.
- [11] Brandon, N.; Hart, D. "An introduction to fuel cell technology and economics". *Occasional Paper*, 1, Imperial College, 1999.
- [12] National Fuel Cell Research Center. "Fuel cell types". University of California , Irvine, 2013.
- [13] Blomen, L.; Mugerwa, M. *Fuel Cell Systems*. New York: Springer Science and Meda, 2013.
- [۱۴] سلطانی، نیلوفر. تحقیق و بررسی در فناوری پیل سوختی. تهران: جهاد دانشگاهی شهید بهشتی، ۱۳۹۱.
- [15] Odeh, A.O.; et al. "Chitosan: a low cost material for the production of membrane for use in PEMFC. A review". *Energy Source*, part A., vol. 35, 2013.
- [16] Casalegno, A.; et al. "Experimental analysis of methanol cross over in a direct methanol fuel cell". *Applied Thermal Energy*, vol. 27, 2007.
- [17] Kamardian, S.K.; et al. "Overview on the application of direct methanol fuel cell (DMFC) for portable electronic devices". *Hydrogen Energy*, vol. 34, 2009.
- [18] CaO, X.; et al. "A new method for water desalination using microbial desalination cells". *Environ. Sci. Technol*, vol. 43, iss. 18, 2009.
- [19] Mercer, J. "Microbial fuel cells: generating power from waste". *Illumin*, vol. 16, iss. 1, 2015.
- [20] Liu, H.; et al. "Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell". *Environmental Science and Technology*, vol. 38, iss. 7, 2004.
- [21] Logan, B.E. "Microbial fuel cell: methodology and Technology". *Environmental Science and Technology*, vol. 40, issue. 17, 2006.

منصور کیانپور راد