

خلايا الوقود

د.حسن بن عبدالعزيز أباعود

٢- أن الطاقة القصوى للبطارية تُحدّد بكمية المواد الكيميائية الموجودة بها، ويتوقف إنتاج البطارية للطاقة الكهربائية عندما يتم استهلاك مواد التفاعل، بينما تستمر خلية الوقود في إنتاج الطاقة الكهربائية نظرياً طالما تم تزويدها بوقود الهيدروجين والأكسجين .

وعملياً تواجه خلية الوقود بعض الانخفاض في مستوى أدائها وذلك بسبب التآكل أو بسبب تعطل بعض مكوناتها .

أنواع خلايا الوقود

تصنف خلايا الوقود - عادة - حسب نوع المادة العازلة (الوسيط) المستخدمة بين الأقطاب، وهناك خمسة أنواع رئيسية من خلايا الوقود وهي :-

● ذات غشاء تبادل البروتون

خلايا الوقود ذات غشاء تبادل البروتون (Proton Exchange Membrane Fuel Cell - PEMFC)، عبارة عن خلايا وقود يتكون الوسط العازل فيها من غشاء من البوليمر، وبسبب ذلك فإنها تسمى أحياناً بخلايا الوقود ذات غشاء البوليمر (PEFC) أو ذات البوليمر الصلب (SPFC). تتميز هذه الخلايا بسرعة بدء التشغيل مع الاستجابة السريعة لتغير الأحمال الكهربائية، ولكن بسبب انخفاض درجة حرارتها التشغيلية (٤٠ إلى ٩٠ م°) - فإن مقاومتها للوقود الملوث تعد ضعيفة جداً. فمثلاً يؤدي التلوث بكميات قليلة جداً - أجزاء من مليون - من ثاني أكسيد الكربون إلى انخفاض كفاءتها بدرجة عالية للغاية. ورغم ذلك يحظى هذا النوع من الخلايا باهتمام مراكز الأبحاث، وهو النوع الذي يزعم استخدامه في وسائل المواصلات (السيارات). وتعد الخلايا التي تستخدم الميثانول مباشرة (Direct Methanol Fuel Cells-DMFC) كوقود إحدى فروع هذا النوع من الخلايا .

وقطب موجب يحتوي كل منهما على مواد محفزة - حسب نوع الخلية - يفصل بينها عازل إلكتروليتي يمنع اختلاط الوقود والأكسجين، كما يمنع انتقال الإلكترونات من خلاله، ولكنه يسمح بانتقال الأيونات كما هو موضح في الشكل (١). وخلال عملية التشغيل يتأكسد الوقود عند القطب السالب بوجود المادة المحفزة وتحرر الإلكترونات، وفي نفس الوقت يتم اختزال الأكسجين في القطب الموجب بوجود المادة المحفزة، فتنقل الإلكترونات المتحررة من القطب السالب إلى القطب الموجب عبر الدائرة الكهربائية الخارجية وبذلك يتولد تياراً كهربائياً مباشراً (Direct current-D C) يمكن تحويله إلى تيار متردد (Alternating Current-A C) لأداء مهام تشغيلية معينة، وللحصول على القدرة الكهربائية المطلوبة توضع أكثر من خلية وقود في إطار واحد على شكل مصفوفات . تتشابه خلية الوقود في بعض مكوناتها وخصائصها مع البطارية، شكل (١). ولكنها تختلف عنها من عدة أوجه، منها :-

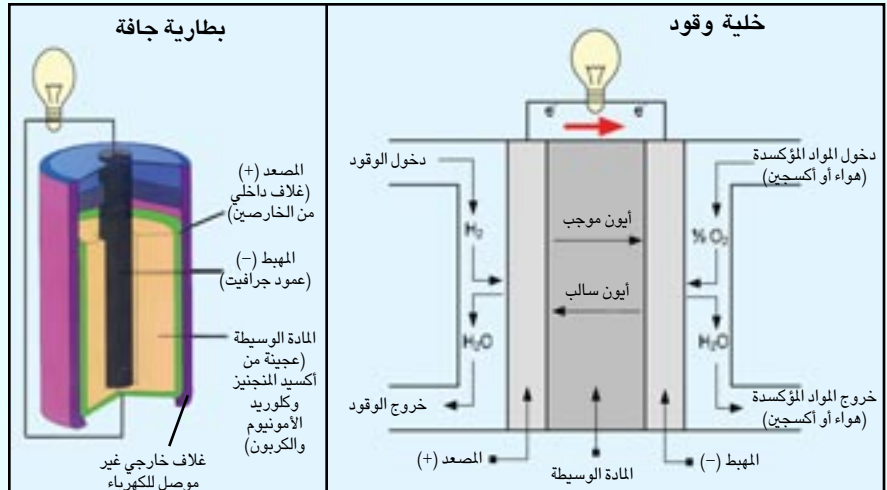
١- أن البطارية جهاز تخزين للطاقة بينما خلية الوقود جهاز تحويل للطاقة .

أعطى استخدام وكالة الفضاء الأمريكية (NASA) لخلايا الوقود في مركباتها الفضائية في ستينات القرن الماضي إشارة عملية لتطبيقاتها المتعددة، إلا أن الاهتمام الفعلي بها لم يبدأ إلا حديثاً؛ وذلك لأسباب سياسية واجتماعية وبيئية واقتصادية. ومن مظاهر هذا الاهتمام أن كثيراً من الدول مثل: الولايات المتحدة الأمريكية وألمانيا واليابان وكندا وحتى بعض الدول النامية مثل كوريا الجنوبية أعدت وشرعت في تنفيذ برامج بحث وتطوير في مجال خلايا الوقود.

يبدو أن هذا المجال قد استحوذ على اهتمام مراكز الأبحاث العالمية، إذ يندر أن تجد مركز أبحاث ليس له نشاط بحثي أو تطويري في مجال خلايا الوقود بصورة أو بأخرى، حيث يعتقد أنها تقنية بديلة واعدة يمكن أن تحقق متطلباتنا من الطاقة، ولكن قد يكون من السابق لأوانه الاقتناع بهذا الاعتقاد على الأقل في المدى القريب.

تعريف خلية الوقود

خلية الوقود هي جهاز كهروكيميائي يُحوّل الطاقة الكيميائية الناتجة من تفاعل وقود الهيدروجين مع أكسجين الهواء مباشرة إلى طاقة كهربائية ذات جهد منخفض بالإضافة إلى حرارة وماء. تتكون الخلية في أبسط صورها من قطب سالب



● الشكل (١) رسم توضيحي لخلية الوقود والبطارية.



● شكل (٢) خلية وقود.

خلايا الوقود بتقنيات مختلفة . وتعتمد درجة نقاوة الهيدروجين المستخلص على الطريقة المستخدمة لإنتاجه، فقد يتطلب معالجة وتنقية إضافية ليكون ملائماً لاستخدامه في خلايا الوقود، كما تعتمد درجة النقاوة أيضاً على مصدر الوقود نفسه . ويمكن أن تتم عملية استخلاص الهيدروجين داخل نظام خلايا الوقود بأقل تكلفة وأكثر مرونة، لإمكانية الاستفادة من الحرارة الناتجة من الخلايا في عملية استخلاص الهيدروجين. وتستخدم هذه الطريقة عادة لخلايا الوقود ذات الحرارة العالية.

قد تكون هذه المعالجات مقبولة عند استخدام خلايا الوقود في توليد الطاقة كمحطات إنتاج ثابتة، ولكن تقع الإشكالية عند استخدام خلايا الوقود في وسائل النقل والمواصلات والاستخدامات المتنقلة، لأنه يتطلب إنتاج الهيدروجين وحفظه أو حفظه فقط عندما يكون إنتاجه خارج المركبة، لذلك قامت عدة شركات خصوصاً شركات تصنيع السيارات بعدد من المحاولات التطبيقية لحفظ الهيدروجين على متن المركبة (السيارة) عن طريق اتحاده مع مواد صلبة (Metal Hydrides)، وقد اتضح أن ذلك يزيد من الثقل على المركبة. كذلك كانت هناك محاولات لحفظ الهيدروجين في خزانات على شكل غاز سائل أو غاز مضغوط، وتمت أيضاً محاولات لاستخلاص الهيدروجين على متن المركبة نفسها، مع العلم أن متطلبات الوقود المرغوب فيه لخلايا الوقود يجب أن يكون متوفراً وسهل النقل والتخزين وغير سام، وأن يكون من الناحية الاقتصادية ذا سعر منافس.

لا يوجد حالياً وقود يحقق كل هذه المتطلبات، ولكن هناك بعض أنواع الوقود قريبة من تحقيقها، ومنها الميثانول والجازولين والإيثانول والديزل، ولكل منها محاسنه ومساوئه . فالإيثانول متوفر

متعددة . ولكن يعاني هذا النوع من الخلايا من عملية التآكل مما يتطلب استخدام مواد مقاومة قد تكون مرتفعة التكاليف .

● خلايا الأكسيد الصلب

تستخدم خلايا الأكسيد الصلب (Solid Oxide Fuel Cell - SOFC) أكسيد التيتريوم، وأكسيد الزركونيوم، كمادة وسيطة، وتعمل في درجة حرارة تتراوح ما بين ٨٠٠ إلى ١٠٠٠ م°، وتتميز بقوة تحملها للشوائب الموجودة في الوقود باستثناء مادة الكبريت. ويجرى العمل حالياً على تقنيات ومواد تخفض درجة الحرارة التشغيلية إلى ما دون ٦٠٠ م°، فيما يطلق عليه الآن خلايا الأكسيد الصلب متوسطة الحرارة (Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell-ITSOFC).

وبالرغم من أن التصنيف أعلاه يعتمد على نوع المادة الوسيطة، إلا أن هناك من يصنفها إلى نوعين رئيسيين حسب درجة الحرارة التشغيلية، وهما خلايا الوقود ذات الحرارة العالية والمنخفضة .

ويلخص الجدول (١) أهم خصائص الأنواع الرئيسية لخلايا الوقود. كما يوضح الشكل (٢)، عينة من خلايا الوقود.

وقود خلايا الوقود

تستخدم خلايا الوقود غاز الهيدروجين كوقود لتشغيلها، وهي تعمل على الهيدروجين النقي، ولكن الهيدروجين ليس مصدراً أولياً إنما يتم تصنيعه أو استخراجه من مصادر أخرى مثل النفط ومشتقاته والغاز الطبيعي، والفحم، وعن طريق التحليل الكهربائي للماء إلى عنصريه (الأكسجين والهيدروجين). وعادة تتم عملية استخلاص الهيدروجين من هذه المصادر خارج نظام

● الخلايا القلوية

تستخدم خلايا الوقود القلوية (Alkaline Fuel Cell- AFC) هيدروكسيد البوتاسيوم كمادة وسيطة، وتبلغ درجة حرارتها التشغيلية ما بين ٦٥ إلى ١٢٠ م° . ورغم أنها تعد من أكثر الأنواع تطوراً إلا أن ضعف تحملها لثاني أكسيد الكربون حتى بنسب قليلة جداً يحد من استعمالها على نطاق واسع على الأرض، ويحظر استخدامها في المركبات الفضائية .

● خلايا حمض الفسفور

تستخدم خلايا حامض الفسفور (Phosphoric Acid Fuel Cell - PAFC) المركز كمادة وسيطة، وتبلغ درجة حرارتها التشغيلية بين ١٥٠ إلى ٢٠٠ م° وتعد الأكثر تطوراً والأقرب للتسويق التجاري، حيث تستخدم حالياً في بعض المستشفيات والفنادق ويستفاد أيضاً من حرارتها الناتجة في أداء مهام أخرى مثل التدفئة وتسخين المياه. وتمتاز خلايا حمض الفسفور بأن حرارتها التشغيلية أعلى من خلايا الوقود ذات غشاء تبادل البروتون (PEMFC)، وبأنها أكثر تحملاً لتلوث الوقود بأول أكسيد الكربون، ولكنها تحتاج إلى فترة أطول قبل إتمام عملية إنتاج الطاقة مما يحد من استخدامها في المركبات، لذلك يقتصر استخدامها على المحطات الأرضية لإنتاج الطاقة.

● خلايا الكربونات المصهورة

تستخدم خلايا الكربونات المصهورة (Molten Carbonate Fuel Cell - MCFC) مادة كربونات الصوديوم، والبوتاسيوم كمادة وسيطة، وتتراوح درجة حرارتها التشغيلية ما بين ٦٠٠ إلى ٧٠٠ م° مما يمكن الاستفادة من حرارتها العالية لأغراض

النوع	درجة حرارة التشغيل (م°)	مادة القطب السالب	المادة الوسيطة	مادة القطب الموجب
ذات غشاء تبادل البروتون	٩٠-٤٠	البلاتين / كربون تفلون	بوليمر	البلاتين / كربون + تفلون
ذات الوسط القلوي	١٢٠-٦٥	البلاتين / البالياديوم + تفلون	هيدروكسيد البوتاسيوم	البلاتين / الذهب + تفلون
ذات الوسط الحمضي الفوسفوري	٢٠٠-١٥٠	البلاتين / كربون + تفلون	الحامض الفوسفوري	البلاتين / كربون + تفلون
ذات الوسط الكربوني المصهور	٧٠٠-٦٠٠	النيكل / الكروم	كربونات الليثيوم أو البوتاسيوم أو الصوديوم	أكسيد النيكل
ذات الوسط الأكسيدي الصلب	١٠٠٠-٦٥٠	الكوبلت / النيكل / أو أكسيد الزركونيوم	أكسيد البتريوم / أكسيد الزركونيوم	السترنيوم

● جدول (١) أنواع خلايا الوقود الرئيسية.

خلايا الوقود

مجال التطبيق	العوائق	مستوى الصعوبة
وسائل المواصلات	التكلفة المتأنة البنية التحتية للوقود تخزين الوقود	عال عال عال عال
محطات توليد الطاقة الثابتة	التكلفة المتأنة البنية التحتية للوقود تخزين الوقود	متوسط عال متوسط منخفض
محطات التوزيع الطاقة	التكلفة المتأنة البنية التحتية للوقود تخزين الوقود	متوسط عال متوسط منخفض
الأجزاء المنقلة	التكلفة المتأنة تصغير النظام الوقود وتغليفه	منخفض عال عال متوسط

جدول (٢) عوائق تطوير خلايا الوقود حسب الاستخدام. ووسائل المواصلات والأجهزة المنقلة. ويلخص جدول (٢) العوائق والتحديات التي تواجه تطوير خلايا الوقود ومستوى الصعوبة وذلك حسب مجال التطبيق.

الخلاصة

تشهد تقنية خلايا الوقود اهتماماً متزايداً من قبل الدول الصناعية المستهدفة للطاقة لأسباب عدة، منها: محاولة رفع كفاءة استهلاك الوقود للتقليل من استهلاكه ولحماية البيئة من ملوثات مولدات الطاقة التقليدية خصوصاً في مجال النقل، مما حدا بالعديد من شركات السيارات العالمية بأن تعلن عن خطط استراتيجية لإنتاج سيارات تستخدم خلايا الوقود، مما يوحي باستمرار عملية تطوير خلايا الوقود أملاً في تحقيق الأهداف المنشودة. إلا أن واقع الحال يشير إلى وجود العديد من العوائق الفنية والاقتصادية التي تحد من استخدام هذه التقنية على نطاق واسع خصوصاً في المدى القريب، والذي قد يستغرق عشر سنوات على أقل تقدير.

المصادر

1. J.H. Hirschenhofer, et al., Fuel Cell Handbook Fourth Edition, Parsons Corp. 1998.
2. Fuel Cell Report to the Congress, 2002, USA.
3. H.A. Abaoud, et al, "A hybrid technique for fabricating PEMFC's low platinum loading electrodes", J. New Mat. Electrochem. System 6, 149-155 (2003).
4. Prigent, M. On board hydrogen generation for fuel cell powered electric cars. A review of various available techniques. Revue de l'Institut Francais du Petrole 52 (1997) p.349.
5. www.fuelcells.org
6. www.fuelcelltoday.com

- ٣- كهربائية + ٣٥ - ٤٠٪ حرارية).
- ٤- مستوى تلوث منخفض جداً.
- ٥- عملية صامتة تقريباً).
- ٦- مرونة في استخدام الوقود.
- ٧- السرعة والسهولة في التركيب.
- ٨- إمكانية إنتاج ماء صالح للشرب خلال التشغيل.
- ٩- لا تحتاج إلى صيانة مكثفة.

تطبيقات خلايا الوقود

تعد التطبيقات العديدة لاستخدام خلايا الوقود في مجال توليد (تحويل) الطاقة من الميزات الإيجابية لهذه التقنية، لإمكانية استخدامها على نطاق واسع في المنازل والفنادق والمجمعات التجارية وفي وسائل المواصلات مثل السيارات، والشاحنات والحافلات وفي السفن والغواصات وفي المركبات الفضائية. ونظراً لطبيعة خلايا الوقود فإنه يمكن تركيبها على شكل وحدات (مصروفات) بقدرات مختلفة مما يعطيها ميزة تنافسية ومجال واسع من التطبيقات الصغيرة، حيث يمكن استخدامها في التطبيقات الصغيرة كمصدر طاقة لبعض الأجهزة مثل: الأجهزة الإلكترونية كالحاسب الآلي المحمول، إلى التطبيقات الكبيرة كمحطات القوى الكهربائية الرئيسية. وتعد شركات إنتاج السيارات الكبرى في العالم من أكثر الجهات التي تعمل على أبحاث خلايا الوقود، حيث أنتجت نماذج تجريبية لسيارات تعمل بخلايا الوقود. وتسعى الحكومة اليابانية إلى إنتاج ٥٠ ألف مركبة تعمل بخلايا الوقود وذلك بحلول عام ٢٠١٠م، وكذلك مليون ونصف وحدة من خلايا الوقود للاستعمال السكني والتجاري.

وضعية خلايا الوقود

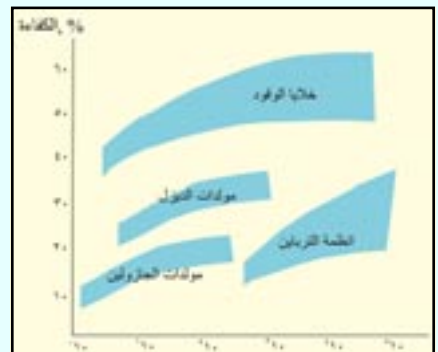
تمر أنواع خلايا الوقود المشار إليها بمراحل تطوير مستمرة من ناحية تحسين الأداء وتأهيل الوقود المناسب وخفض التكلفة، ويمكن تصنيف العوائق التي تواجه خلايا الوقود حسب التطبيقات لهذه التقنية والتي تتضمن الحجم والوزن ودرجة الحرارة والمتانة والاعتمادية خصوصاً عند تطبيقها في

ورخيص الثمن، ولكن يرى البعض أنه غير مناسب لأنه يسبب تآكل المعادن بسرعة، كما أنه قليل الكفاءة، وسام. أما الجازولين فإنه متوفر إلا أن تركيبته الكيميائية معقدة مما يصعب من عملية معالجته لاستخلاص هيدروجين نقي منه، كما أن كفاءته قليلة مقارنة باستعمالاته في المركبات التقليدية. أما الإيثانول فإنه خيار جيد ولكنه متوفر في أماكن معينة. أما الديزل فعادة يحتوي على نسبة عالية من الكبريت، وهو أصعب أنواع الوقود السائل من ناحية إعادة صياغة تركيبه الكيميائي، واستخدامه قد يكون في مجال التطبيقات العسكرية والتي لا تخضع للمتطلبات المذكورة. وتجري الأبحاث حالياً على تحسين وتطوير تقنيات ومواد استخلاص الهيدروجين من هذه الأنواع السائلة من الوقود، بالإضافة إلى أنواع أخرى من الوقود مثل النفثا الخفيف والثقيل والكبروسين. وكما هو واضح فإن جميع الخيارات المذكورة سائلة، مما يسهل التعامل معها من ناحية الحفظ والنقل والتوزيع. ومما لا شك فيه أن موضوع وقود خلايا الوقود لا يزال معضلة يحد من تطويرها واستخدامها على مستوى واسع خصوصاً في وسائل المواصلات.

مميزات خلايا الوقود

تتميز خلايا الوقود بعدد من المزايا الإيجابية عن غيرها من مولدات الطاقة، ومن ذلك:

- ١- كفاءة عالية، سواء أكانت تحت حمل تشغيلي عال أم منخفض مقارنة بمولدات الطاقة الأخرى، شكل (٣).
- ٢- كفاءة كلية تقدر ما بين ٧٥ إلى ٨٥٪ (٤٠٪).



● شكل (٣) قدرة محطات القوى (كيلو وات).