ورقة بحثية مجلة مفتوحة الوصول

خلايا الوقود الهيدروجينية : مبدأ عملها و تطبيقاتها

الدكتور فادي متوج

(كلية الهندسة ، جامعة المنارة، البريد الإلكتروني: fadi.motawej@manara.edu.sy)

الملخص

ترتبط الاحتياجات المتزايدة للمجتمعات من الطاقة بالإرادة العالمية لتقليل الانبعاثات الملوثة للبيئة، ولا سيما انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. لذلك من المثير للاهتمام تطوير بدائل جديدة قابلة للتطبيق للوقود الأحفوري الذي لا يزال يستخدم على نطاق واسع اليوم. تقدم خلايا الوقود الهيدرروجينية (Hydrogen Fuel Cells) حلولاً بديلة من حيث كفاءة الطاقة وتطوير مصادر جديدة للتنمية المستدامة. تتناول هذه المقالة خلايا الوقود الهيدروجينية حيث تتطرق لمبدأ عملها و تطبيقاتها مع عرض المزايا و العيوب المرتبطة فيها.

كلمات مفتاحية: خلايا الوقود الهيدروجينية، الهيدروجين، الأكسدة، الإرجاع .

I. مقدمة

تم اكتشاف خلايا الوقود الهيدروجينية في عام 1839، لذلك فهي تعتبر تقنية قديمة نسبياً [1]. تم تصنيع أول خلية وقود من قبل فرانسيس توماس بيكون في عام 1959، و كانت عبارة عن خلية وقود باستطاعة حوالي 5 كيلو وات قادرة على تشغيل آلة لحام القوس (الشكل 1). ومع ذلك، لم تجد خلايا الوقود أول مجال حقيقي للتطبيق حتى عام 1962 بفضل وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا)، التي بدأت في تطوير خلايا الوقود لاستخدامها في المركبات الفضائية [2]. منذ ذلك الحين، أثارت خلايا الوقود اهتماماً جديداً و قد ازداد هذا الاهتمام أكثر في السنوات الأخيرة.

الشكل 1. أول خلية وقود تم تصنيعها عام 1959

يأتي أحد العوامل الرئيسية في هذا الاهتمام المتزايد بخلايا الوقود الهيدروجينية من الحاجة إلى تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (خاصة ثاني أكسيد الكربون). وبالتالي، فإن البحث عن مصادر جديدة لإنتاج الطاقة وتطويرها مفروضان على الدول لاحترام الالتزامات الدولية بتقليل الانبعاثات من غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) و غازات الدفيئة الأخرى.

هناك عامل رئيسي آخر يتعلق بالاحتياطيات المحدودة من الوقود الأحفوري (النفط والغاز الطبيعي والفحم) والشكوك المتعلقة بإمداداتها. علاوة على ذلك، فإن الزيادة في عدد سكان العالم و انتقال البلدان النامية لمرحلة التصنيع سيؤدي في النهاية إلى زيادة الاحتياجات من الطاقة. في مجال السيارات، على الرغم من تقدم المحركات من حيث الاستهلاك، فإن الاحتياجات النفطية العالمية تتزايد بسبب النمو في عدد المركبات في جميع أنحاء العالم وزيادة المسافات المقطوعة.

II. المجالات الرئيسية لتطبيق خلايا الوقود الهيدروجينية

تتعدد تطبيقات خلايا الوقود الهيدروجينية و فيما يلي أهمها:

أ. الأجهزة المحمولة

في الوقت الحالي، تتزايد باستمرار مبيعات الأجهزة المحمولة (أجهزة الكمبيوتر المحمولة والكاميرات والهواتف ومشغلات الصوت وما إلى ذلك). مع الانتشار السريع و الواسع لهذه الأجهزة و تعدد وظائفها، تستهلك هذه الأجهزة المزيد و المزيد من الطاقة و بالتالي من العوامل الأساسية المتعلقة بأداء هذه الأجهزة هو ديمومة عملها. باستخدام خلايا الوقود، فإن الديمومة لا تتعلق إلا بمحتوى الوقود و يمكن أن تستغرق إعادة الشحن بضع ثوانٍ فقط مقارنة بعشرات الدقائق المطلوبة لشحن بطارية من نوع ليثيوم أيون.

ومع ذلك، على الرغم من أن التكنولوجيا جاهزة (الشكلين 2 و 3)، لا يزال يتعين التغلب على الصعوبات المتعلقة بتصغير حجم و تكلفة وعمر هذه الأنظمة.

الشكل 2. خلية وقود من نوع DMFC مخصصة لأجهزة الكمبيوتر المحمولة من طراز Samsung PC Sens Q35 وتتيح ديمومة تبلغ حوالي 8 ساعات وبطاقة قصوى تبلغ 20 واط.

الشكل 3. جهاز Walkman يعاد شحنه بالميثانول و يستخدم خلايا الوقود من إنتاج شركة Toshiba حيث يتكون الوقود من 99.5٪ ميثانول مركّز.

ب. وسائل النقل

هذا المجال هو بالأصل وراء تطوير خلايا الوقود الهيدروجينية منذ بداية التسعينيات. بالنسبة لقطاع السيارات، يتم استخدام خلايا الوقود الهيدروجينية من نوع خلايا وقود غشاء التبادل البروتوني، والمعروفة أيضاً باسم خلايا وقود غشاء البوليمر المنحل بالكهرباء (PEM)، و هي نوع من الخلايا تم تطويرها لكل من تطبيقات النقل والتطبيقات المحمولة. تشمل خصائصها المميزة التشغيل في نطاقات الضغط ودرجات الحرارة المنخفضة و تستخدم غشاء إلكتروليت بوليمر محدد. تضمن درجة حرارة التشغيل المنخفضة نسبياً (بالقرب من 80 درجة مئوية) مرونة تشغيل أكبر.

على المستوى البيئي، يكون التلوث الضوضائي منخفضاً لأن خلايا الوقود لا تحتوي على أجزاء متحركة. يمكن أن تكون الأجهزة المساعدة و الملحقة بخلايا الوقود فقط مصدراً للضوضاء. وتجدر الإشارة أيضاً إلى أن نواتج التفاعلات الكيميائية الجارية داخل الخلايا غير ملوثة وبالتالي فإن انبعاثات الغازات الضارة تكون معدومة. ومع ذلك، يجب الأخذ بعين الاعتبار أنه يمكن أن ينتج عن عملية توليد الهيدروجين انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين، ولكن غالباً ما تكون أقل من تلك الناتجة عن المركبات المزودة بمحركات الاحتراق الداخلي.

ت. المنشآت الثابتة و المباني

بالنسبة للمنشآت الصناعية و المنزلية الصغيرة، تتوقع بعض الدراسات استبدال محطات الطاقة الحرارية شديدة التلوث بأنظمة خلايا الوقود الهيدروجينية (الشكل 4).

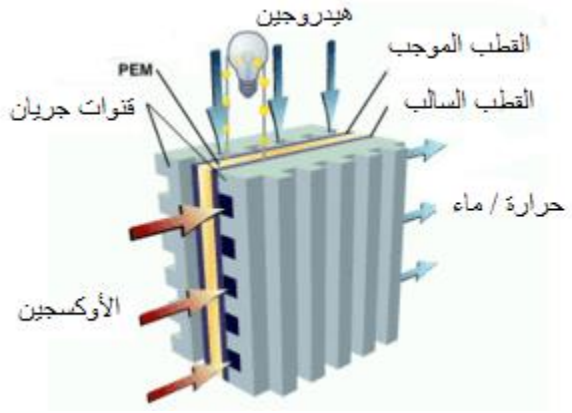
ومع ذلك، نادراً ما تتجاوز المحطات المركبة حالياً طاقة 1 ميجاوات. وبالتالي، فإن أنظمة خلايا الوقود الهيدروجينية مناسبة بشكل خاص للمنشآت الصناعية و المنزلية الصغيرة. غالباً ما يتم استخدام الحرارة الناتجة عن عمل خلايا الوقود من أجل تحسين الكفاءة الكهربائية الإجمالية للمحطة، حيث يمكن استخدام الحرارة التي تنتجها خلايا الوقود لإنتاج الماء الساخن أو التدفئة أو التبريد.

الشكل 4. مثال على تطبيقات خلايا الوقود في المنشآت الثابتة

تعد خلايا الوقود التي تعمل عند درجة الحرارة المرتفعة، مثل MCFCs و SOFCs، أكثر ملاءمة بشكل خاص لتطبيقات المنشآت الثابتة. تسمح درجة حرارة التشغيل العالية (أكثر من 600 درجة مئوية) بتحويل الحرارة الناتجة إلى كهرباء باستخدام توربينات بخارية أو غازية.

III. مبدأ عمل خلايا الوقود الهيدروجينية

يتكون المبدأ الأساسي لخلايا الوقود من التحويل المباشر للطاقة الكيميائية للهيدروجين إلى طاقة كهربائية وإطلاق الحرارة. تشبه خلية الوقود البطارية العادية، فهي تحتوي على قطب موجب و قطب سالب مفصولين بواسطة إلكتروليت يضمن مرور التيار الكهربائي عن طريق النقل الأيوني للشحنات (الشكل 5).



الشكل 5. مبدأ عمل خلية الوقود

تعمل خلايا الوقود الهيدروجينية على المبدأ العكسي للتحليل الكهربائي للماء. في خلية الوقود الهيدروجينية، يستخدم الهيدروجين كوقود والأوكسجين (النقي أو في الهواء) كمؤكسد (الشكل 6). يتم إدخال الهيدروجين في القطب الموجب حيث يتم تفكيكه إلى إلكترونات وبروتونات. يتم وصف تفاعل الأكسدة هذا بواسطة المعادلة التالية:

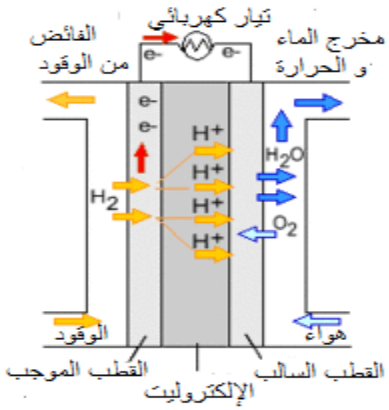
$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$$

يتم إدخال الهواء في القطب السالب حيث يتم إرجاع الأوكسجين إلى الماء. تفاعل الارجاع هو:

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$$

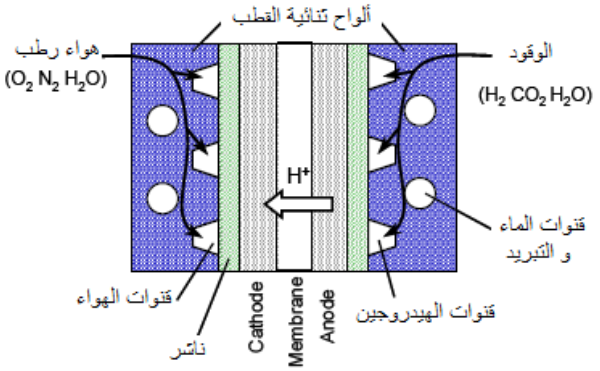
ويكون التفاعل المحصل للتفاعلين السابقين :

$$2H_2 + O2 \rightarrow 2H2O$$



الشكل 6. خلية وقود غشاء التبادل البروتوني

الإلكتروليت هو عبارة عن غشاء بوليمر يسمح بتدوير البروتونات، ولكنه عازل للإلكترونات. يتراوح سمك الغشاء بين 30 ميكرومتر و 150 ميكرومتر وغالباً ما يكون من مادة النافيون. تكون الأقطاب الكهربائية مصنوعة من الجرافيت المسامي للسماح بوصول الوقود (الشكل 7). يتم دمج مجموعة الغشاء والإلكترود بين طبقتين مساميتين (ناشرات). تستخدم الناشرات لتوزيع الهيدروجين والهواء بالتساوي على الأقطاب الكهربائية. تكتمل الخلية بواسطة لوحين ثنائي القطب، مصنوعين عموماً من الجرافيت (موصل كهربائي جيد)، يشتملان على قنوات صغيرة لتدوير الهيدروجين والهواء. يوجد داخل هذه الألواح أيضاً قنوات لتبريد الماء (الشكل 7).



الشكل 7. مخطط لخلية وقود غشاء التبادل البروتوني

IV. أنواع خلايا الوقود

يوجد حالياً 6 أنواع من خلايا الوقود الهيدروجينية هي:

- **AFC** (Alkaline Fuel Cell)
- **PEMFC** (Polymer Exchange Membran Fuel Cell)
- **DMFC** (Direct Methanol Fuel Cell)
- **PAFC** (Phosphoric Acid Fuel Cell)
- **MCFC** (Molten carbonate Fuel Cell)
- **SOFC** (Solid Oxid Fuel Cell)

تختلف هذه الخلايا وفقاً لطبيعة الإلكتروليت، ومستوى درجة حرارة التشغيل، وبنيتها ومجالات التطبيق التي يمكن استخدام كل نوع فيها. بالإضافة إلى ذلك، لكل خلية متطلبات وقود مختلفة.

V. مزايا و سلبيات خلايا الوقود الهيدروجينية

أ. المزايا:

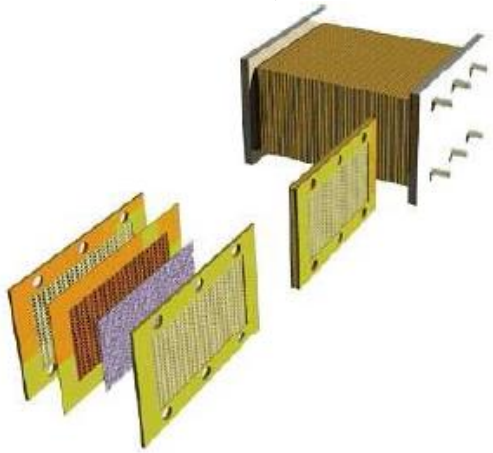
- مردود كهربائي جيد، حتى عند التحميل الجزئي
- انبعاث منخفض للملوثات (حسب الوقود المستخدم)
- بنية مدمجة
- انبعاثات ضوضاء منخفضة
- لا يوجد اهتزاز (لا توجد أجزاء دوارة)

يتراوح المردود الكهربائي بشكل عام بين 20٪ و 85٪ للخلية وحدها. ومع ذلك، يجب مراعاة النظام الكامل مع جميع الملحقات: الضواغط، المضخات، المبادلات، وجهاز استخلاص الهيدروجين، إلخ.

يتم تقديم خلايا الوقود كأحد الحلول لمكافحة التلوث، ولا سيما للحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. تعتمد الانبعاثات الناتجة عن الخلية بشدة على الوقود المستخدم وأصله. الملوثات التي يجب أخذها بعين الاعتبار هي: غازات الاحتباس الحراري، ولا سيما ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكاسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت والغبار. يتم تصنيف السيارات والمنشآت السكنية التي تستخدم الهيدروجين على أنها "ذات انبعاثات صفرية". أنظمة الخلايا المزودة بجهاز لتوليد الهيدروجين محلياً لديها "انبعاثات منخفضة" أو "انبعاثات منخفضة للغاية". اعتماداً على كيفية إنتاج الهيدروجين، يتم الحصول على أقل الانبعاثات عندما تستخدم السيارة أو المنشأة خلية وقود تعمل بالهيدروجين، والذي يتم إنتاجه عن طريق التحليل الكهربائي انطلاقاً من كهرباء متجددة.

تتكون خلايا الوقود من خلايا أولية متصلة بشكل تفرعي أو تسلسلي. من الممكن تكييف عدد الخلايا وسطحها النشط للحصول على مجال من الطاقة يتراوح من بضعة كيلووات إلى عدة ميغاوات (الشكل 5).

خلايا الوقود صامتة، فقط بعض الملحقات مثل الضواغط أو المضخات أو المراوح تنتج ضوضاء خفيفة. وبالتالي، فإن المركبات و المنشآت الثابتة التي تعمل بخلايا الوقود تتناسب تماماً مع البيئة الحضرية أو السكنية.



الشكل 8. تجميع خلية وقود من نوع PEM

ب. السلبيات:

• التكلفة: خلايا الوقود تستخدم المحفزات. هذه المحفزات (المعادن الثمينة و/أو النادرة) لها عيب وحيد و هو أنها غالية الثمن.

• التلوث: الخلية التي تعمل فقط على الهيدروجين لا تنتج أي ملوث. من ناحية أخرى، تطلق خلايا الوقود التي تستخدم الإيثانول أو الميثانول أو الميثان غازات " CO2، CH4، CO، H2" (بكميات صغيرة جداً) والتي تكون إما ملوثات سامة مثل CO أو غازات ذات تأثير قوي في الاحتباس الحراري مثل CH4. ومع ذلك، فإن خلايا الوقود التي تستخدم وقود لإنتاج الهيدروجين منه عادة ما تكون مجهزة بنظام لما بعد الاحتراق للتخلص من المخلفات القابلة للاحتراق وإطلاق ثاني أكسيد الكربون والماء فقط.

• العمر: يقدر عمر هذه الخلايا اليوم ببضعة آلاف من الساعات فقط. يجب أن تحقق الخلايا عمراً يتراوح بين 20000 إلى 40.000 ساعة (بين 2 و 5 سنوات) لتكون مثيرة للاهتمام و ينتشر استخدامها بشكل كبير.

• توافر الوقود بجودة مناسبة: بمجرد القول أن هذه الخلايا تستخدم وقود جديد، هذا يستلزم وجود شبكة توزيع جديدة للوقود. إذا أردنا استخدام الميثانول كوقود لخلايا الوقود، يكفي إزالة مضخة البنزين في محطات الوقود واستبدالها بمضخة ميثانول. يجب الإشارة أيضاً أن خلية وقود الهيدروجين تتطلب الكثير من حيث جودة الوقود، فالكثير من الشوائب قد تجعل المحفز لا يعمل بالشكل المطلوب.

• التصنيع: من بين العقبات التي تعترض تطوير خلايا الوقود، بالإضافة إلى المحفزات، البنية التحتية الكاملة حول عملية التحليل الكهربائي نفسها.

• إنتاج الهيدروجين: تكمن المشكلة (من بين أمور أخرى) في إنتاج الهيدروجين. إذا كان احتراق الهيدروجين غير ملوث تماماً، فإن الأمر نفسه لا ينطبق على إنتاجه. على سبيل المثال، في الميثانول، يوجد الكربون وبالتالي ينتج ثاني أكسيد الكربون عند المخرج ما لم يتم إنتاج الهيدروجين من الماء عن طريق التحليل الكهربائي، لكننا سنحتاج في هذه الحالة إلى كميات كبيرة جداً من الكهرباء. تتطلب طريقة الإنتاج الحالية للهيدروجين أحد مشتقات البترول (الغاز الطبيعي) وبالتالي لا يمكن اعتبارها مستقلة تماماً عن البترول.

VI. الاستنتاجات

تم في هذه المقالة شرح مفهوم خلايا الوقود الهيدروجينية و مبدأ عملها و أنواعها، بالإضافة لعرض بعض المجالات التي يتم تطبيقها فيها. كما تم عرض مزايا و عيوب خلايا الوقود. يمكن القول أن خلايا الوقود الهيدروجينية مرشحة بقوة كتكنولوجيا واعدة و نظيفة لتكون بديلاً لمصادر الطاقة التقليدية.

المراجع:

[1]. H. A. Liebhafsky and E. J. Cairns, "Fuel Cells and Fuel Batteries", John Wiley & Sons, New York, NY, 1968.
[2]. M. Warshay and P. R. Prokopius, " The fuel cell in space: yesterday, today and tomorrow", Journal of Power Sources., vol. 29, pp. 193–200, Jan 1999.
[3]. M. H. Nehrir and C. Wang, " Modeling and Control of Fuel Cells: Distributed Generation Applications", Wiley-IEEE Press, 2009.