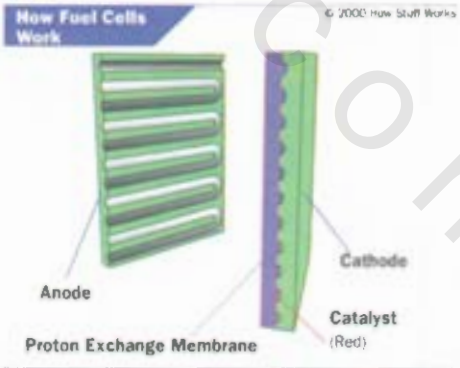
ما هي خلايا الوقود؟
وكيف تعمل؟

خلية وقود بحجم واسعة كافيين لتشغيل سيارة

تشبه خلية الوقود من حيث التعريف البطارية، فهي جهاز كهروكيميائي يتم فيه تحويل طاقة التفاعلات الكيميائية إلى طاقة كهربائية، ولكنها لا تنفد ولا تحتاج للشحن، بل تبقى تقدم الطاقة الكهربائية ما لم ينقطع إمدادها بالمواد الأولية.

بنى السير وليام غروف William Grove البريطاني أول خلية وقود عام 1839، ولكن الاهتمام الجدي بها بدأ عقب تبني برنامج الفضاء الأمريكي لها في أعوام الستينيات من القرن العشرين المنصرم، وتم تزويد مركبات الفضاء جيميني Gi-mini وأبولو Apollo بها، حيث زودتهما بالماء والكهرباء.



مكونات خلية الوقود

وتعتبر هذه التقنية الجديدة واعدة في إنتاج الطاقة الكهربائية بتلوث أقل بكثير من البدائل الحالية.

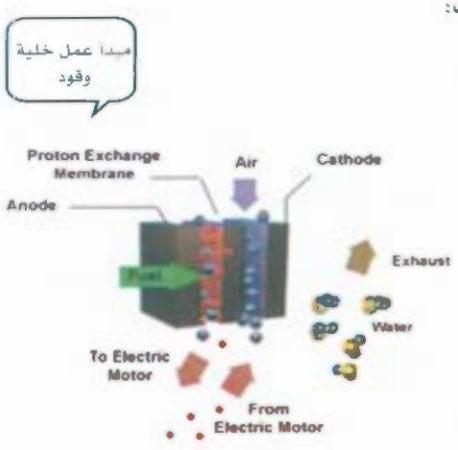
obeikandl.com

التيار الكهربائي على نوعين، الأول تيار متناوب AC كالذي نستخدمه في المنازل والمعامل، والثاني مستمر DC ننتجه بطرائق عديدة إحداها البطاريات المستخدمة في السيارات، وتهدف خلية الوقود إلى الحلول مكان البطارية المستخدمة حالياً لتوليد قدرة كهربائية مستمرة DC قادرة على تشغيل محركات كهربائية بقدرة كافية ولفترات طويلة، ودون ملوثات بيئية.

كيف تعمل خلايا الوقود؟ وما هي أنواعها؟

هناك العديد من أنواع خلايا الوقود، تشترك فيما بينها باستعمال الهيدروجين والأوكسجين وقوداً لإنتاج التيار الكهربائي المستمر DC، وطرح الماء أو بخاره كناتج للتفاعل، وتتمايز عن بعضها بنوع المحلول الكهرليتي electro-lyte المستخدم، وبكمية الكهرباء المنتجة. ومعرفة طريقة عمل النوع الأول تغني عن شرح عمل الأنواع الأخرى لتشابهها مبدأً واختلافها تكويناً.

خلية وقود ذات غشاء تمرير البروتونات:



تتألف هذه الخلية من قطبين متقابلين، مصعد anode تتم تغذيته بالهيدروجين المضغوط ومهبط cath-ode تتم تغذيته بالأوكسجين، بينهما غشاء شبيه بصفيحة بلاستيكية يلعب دور المحلول الكهرليتي، ومطلي بمعدن البلاتينيوم من كلا وجهيه لتحفيز التفاعل catalyst، ويسمح هذا الغشاء بمرور الشوارد الموجبة فقط ويصد الالكترونات عنه، يشبه في هذا عمل الثنائي الألكتروني Diod.

obeikandl.com

يدخل غاز الهيدروجين المضغوط إلى مصعد الخلية، حيث يتحلل كل جزيء هيدروجين H2 إلى شاردتي هيدروجين موجبتين 2H+ وألكترونين سالبين - 2e عند تماسه بطبقة البلاتينيوم، فتسري الألكترونات عبر الدارة الخارجية مشكلةً تياراً كهربائياً مستمراً DC، وتعود إلى قطب المهبط cathode، وتنتشر شوارد الهيدروجين الموجبة ضمن الخلية عبر الغشاء حتى تصل إلى المهبط حيث تتحد ثانيةً مع الالكترونات مكونةً جزيئات الهيدروجين، والتي تتفاعل بدورها مع جزيئات الأوكسجين O مكونين الماء H2O كناتج للتفاعل.

ينتج هذا التفاعل 0.7 فولت، ويتم حشد خلايا عديدة جنباً إلى جنب للحصول على الكهرباء بالشدة المناسبة، وتسمى الخلية التي تولد الكهرباء بهذه الطريقة خلية الوقود ذات غشاء تمرير البروتونات Proton Exchange Membrane Fuel Cell.

خلايا حمض الفوسفوريك Phosphoric Acid FC:

وتسوق حالياً بشكل تجاري، مردودها أكثر من 40٪.

خلايا الكربونات المذابة Molten Carbonate FC:

وهي ذات مردود عال و استطاعة عالية ولكنها تحتاج إلى درجات حرارة عالية للعمل، والنماذج التجريبية منها تراوحت استطاعاتها بين 10 كيلواط حتى 2 ميغاواط، ويؤمل أن تستخدم يوماً كمحطات توليد كهرباء على نطاق تجاري نظراً لاستطاعتها العالية نسبياً.

obeikandl.com

خلايا الأكاسيد الصلبة Solid Oxide FC:

وهي ذات مردود عال و استطاعة كبيرة تصل إلى 220 كيلواط، تستخدم نوعاً قاسياً من السيراميك عوضاً عن المحلول الكهرليتي السائل، ويصل مردودها إلى 60٪.

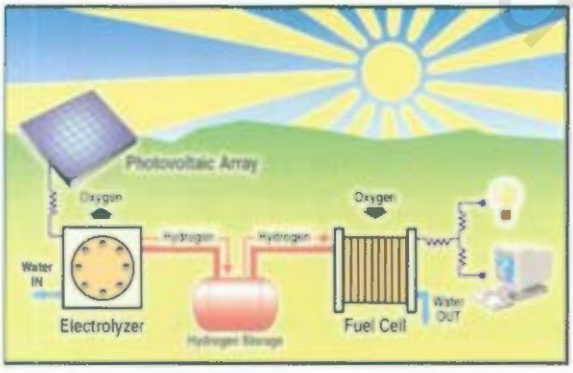
خلايا الألكالين Alcaline FC:

وهي التي استخدمتها وكالة الفضاء الأمريكية لمردودها العالي الذي يصل إلى 70٪، ولكنها مكلفة جداً، ولذلك لم تشق طريقها بعد للتطبيقات التجارية.

خلايا الميثانول المباشر Direct Methanol FC:

وهي ذات مردود متوسط يبلغ 40٪.

خلايا الوقود الاسترجاعية Regenerative FC:



وهي النمط الأكثر حداثة الآن، وتعمل بطريقة جديدة وثورية، ذات دارة مغلقة، يتم فيها تحليل الماء إلى عنصريه الأوكسجين والهيدروجين بواسطة محلل كهربائي يستمد قدرته من خلايا فوتوفولطية تعمل بالطاقة الشمسية، وبعد أن يولد الهيدروجين والأوكسجين القدرة الكهربائية بالمبدأ الذي تقدم ذكره و يتحدان في نهاية التفاعل، يتم الاستفادة من الماء الناتج عن التفاعل عوضاً عن طرحه خارجاً بإعادته إلى المحلل الكهربائي الشمسي ليبدأ تحليل ومن ثم تفاعل جديدين.

obeikandl.com

دراجة مزودة بمحرك كهربائي قدرته من خلية وقود.

ولكن ما دام مبدأ العمل بسيطاً هكذا، **فلماذا لم تنتشر هذه الخلايا في كل مكان؟**

إن وقود هذه الخلايا الرئيس هو الأوكسجين والهيدروجين، يمكن تأمين الأوكسجين بضخه من الهواء مباشرة، ولكن يبقى تأمين الهيدروجين هو المشكلة، إذ إنَّ التعامل معه لمثل هذه التطبيقات يعتبر غير عملي حتى الآن، بسبب صعوبة تخزينه وتوزيعه، مما حتم البحث عن وقود مناسب حاو على الهيدروجين يستخلص منه محلياً (في مكان التفاعل) وقد استطاع العلماء إيجاد جهاز لتحويل الهايدروكربون أو الكحول إلى هيدروجين، وظهرت هنا مشكلة أخرى، إذ نتج عن هذا التحويل غازات أخرى غير الهيدروجين، مما خفض مردود خلية الوقود، ولكن العمل جار حالياً على بدائل واعدة أخرى لتأمين الهيدروجين، كالغاز المنزلي أو الغاز الطبيعي أو حتى الماء كما في الطريقة الاسترجاعية الواعدة.

ما هي تطبيقات الخلايا الوقودية؟

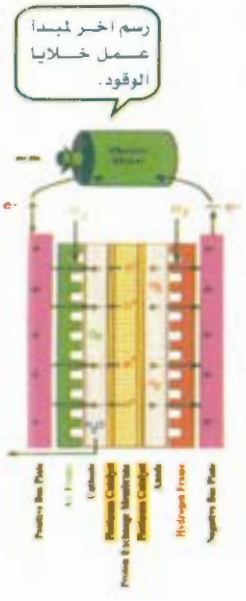
لخلايا الوقود فوائد مستقبلية كبرى، إذ سينخفض استهلاك الوقود الأحفوري من بترول ومشتقاته بشكل ملموس، وبالتالي ستتحسن الظروف البيئية بشكل كبير نظراً لانخفاض غازات العوادم الناتجة عن احتراق محركات الاحتراق الداخلي عند شيوع استخدام خلايا الوقود، وستشكل هذه الخلايا بديلاً جديداً لمشكلة تناقص احتياطيات البترول العالمية.

obeikandi.com

ولعل أبرز تطبيق منتظر لها هو السيارات، إذ ستستخدم خلية وقود مع محرك كهربائي لتقديم القدرة الميكانيكية لإدارة السيارة، ومن المفيد هنا أن نعقد المقارنة التالية، بين سيارة مقادة بمحرك احتراق داخلي (بنزين أو ديزل) وسيارة مقادة بمحرك كهربائي يستمد قدرته من خلية وقود، لتساعد على فهم أفضل لهذه الخلايا.

لو تم تأمين هيدروجين نقي لخلية وقود فيمكن أن يصل مردودها إلى 80٪، ولكن بما أن توليد هيدروجين نقي تماماً متعذر إلى الآن، فنعتبر مردود الخلية حوالي 40٪ باستخدام الهيدروجين المشوب، ويتم توجيه القدرة الكهربائية الناتجة عن الخلية إلى محرك كهربائي ذي مردود وسطي 80٪، وبذلك يصبح المردود الكلي للخلية والمحرك معاً (وحدة توليد القدرة الميكانيكية) 32 ٪ (80X40 /10*2 =32٪).

أما محرك الاحتراق الداخلي، فمن المعروف أن مردوده منخفض للغاية ولا يتجاوز 20٪، فهناك الكثير من ضياعات القدرة في الأجزاء الدوارة من المحرك، وضياعات حرارية تطرح عبر المبرد Radiator وغازات العادم Exhaust.



وبذلك تكون وحدة الجر الكهربائية العاملة بخلايا الوقود أعلى مردوداً من وحدة الجر الميكانيكية، ولكن لنذهب بالمقارنة أبعد من هذا فنشمل بها السيارات الكهربائية العاملة على محرك كهربائي مقاد ببطارية و لنرى الفرق بينها وبين السيارات التي تستخدم محرّكاً كهربائيّاً مقاداً بخلايا الوقود. إن مردود البطارية

الوسطي 90٪، ومردود المحرك الكهربائي 80٪، و بذلك يكون المردود الكلي لوحدة توليد القدرة الميكانيكية (بطارية + محرك كهربائي) 72٪.

(80X90 /10*2 = ٪ 72) ولكن يجب الانتباه هنا إلى أن البطارية يجب أن تشحن قبل تشغيلها، والشاحن هو جهاز يحول القدرة الكهربائية المتناوبة للشبكة AC إلى قدرة كهربائية بتيار مستمر DC، وهو أيضاً ذو مردود يبلغ 90٪، كما أنه يستجر القدرة الكهربائية من الشبكة العامة التي بدورها تستجرها من محطات التوليد خارج المدن، وقد تكون محطات مائية تأخذ قدرتها من منبع مجاني (مساقط المياه أو السدود) أي أنَّ مردودها كبير، وبالتالي يكون المردود الكلي لمحرك السيارة الكهربائي + البطارية + الشاحن مساوياً في هذه الحالة لـ 80X90X90X100/10*6 = 65%.

وقد تكون محطات التوليد الكهربائية تعمل على محركات احتراق داخلي بمردود 40٪، فيصبح المردود الكلي هنا 80X90X90X20/10*6= 26%

وكما نلاحظ، فالمردود عند استخدام سيارة بمحرك كهربائي وبطارية يختلف باختلاف طبيعة منبع القدرة الكهربائية الرئيس، ونجمل النتائج في الجدول التالي:

طريقة توليد القدرة الميكانيكية	المردود
محرك كهربائي+ خلية وقود	32%
محرك كهربائي+ بطارية	65% ~ 26% وفق نوع المنبع الكهربائي
محرك احتراق داخلي	20%

openkandil.com

حافلة نقل جماعي مزودة بمحرك كهربائي يعمل بخلية وقود.

فقد يقول قائل، حسناً، يبدو أن البطاريات التقليدية الحالية لا بأس بها لاستعمالها مع المحركات الكهربائية في السيارات مقارنةً بمردود خلايا الوقود، هنا يجب أن ننتبه إلى أننا قارنا المردود فقط، وهو معيار واحد من عدة معايير يجب النظر إليها بشكل متكامل لتقييم صلاحية طريقة من الطرائق المذكورة أعلاه للبقاء، فبالإضافة إليه، يجب أن نتساءل كم تطلق كل من البطارية وخلية الوقود من ملوثات في الجو، وكم عمر كل منهما في الخدمة قبل أن تتحولا إلى نفايات خطيرة تشكل عبئاً إضافياً على البيئة.

سيارة بمحرك كهربائي وخلية وقود من ديملر كرايسلر Daimler Chrysler

ما من شك أن خلايا الوقود هي أقل الطرائق الثلاث تلويثاً للبيئة، أو لنقل في حالتها النظرية معدومة التلويث فهي تطلق بخار الماء فقط، وهو أمر مهم للحكومات والأفراد على حد سواء، ولكن دعمه يحتاج إلى جهود الحكومات وتمويلها، وهناك أيضاً ميزة كبيرة تفضل بها خلية الوقود عن البطارية هي طول أمد الخدمة، فخلية الوقود تعمر سنوات وسنوات بعكس البطارية التي لا تعمر أكثر من سنة، وبالتالي تتراكم البطاريات المستعملة فوق

سيارة بمحرك كهربائي وخلية وقود من هوندا Honda.

obeikandi.com

بعضها مسببة تلوثاً فوق تلوث بسبب المركّبات الكيميائية التي تحملها وعلبها البلاستيكية غير القابلة للتحلل.

وهناك أيضاً معايير أخرى، تهتم بها الشركات، تعكس رغبات الناس وأذواقهم وهي المحرك الأول لاندفاع هذه الشركات نحو البحث والتطوير، مثل كم ستبلغ أقصى سرعة للسيارة، ما هي أقصى مسافة يمكن قطعها قبل إعادة الشحن بالطاقة (وقود، كهرباء، هيدروجين) كم يستغرق زمن التعبئة أو الشحن أو المَلء ؟... الخ، وفي النهاية، فالطريقة التي تصلح للبقاء هي تسوية وسط ما بين المردود والعملية أي القدرة على تلبية المتطلبات المختلفة، شخصيةً كانت أم بيئية.

متى ستصبح السيارات العاملة على خلايا الوقود عاملةً في الشوارع؟

ترى بعض الشركات بأن عام 2005 سيشهد سير السيارات العاملة بخلايا الوقود في شوارع المدن، بل إن بعض المدن الغربية بدأت باستخدام خلايا الوقود هذه مع محركات كهربائية لتسيير حافلات النقل الجماعي، وهذا تطبيق مثالي لخلايا الوقود بسبب حجمها ووزنها الكبيرين حالياً، وانعدام الملوثات الصادرة عنها وكثرة حافلات النقل الجماعي في المدن الكبيرة مما يحسن الظروف البيئية للمدن التي تستخدمها بشكل كبير.

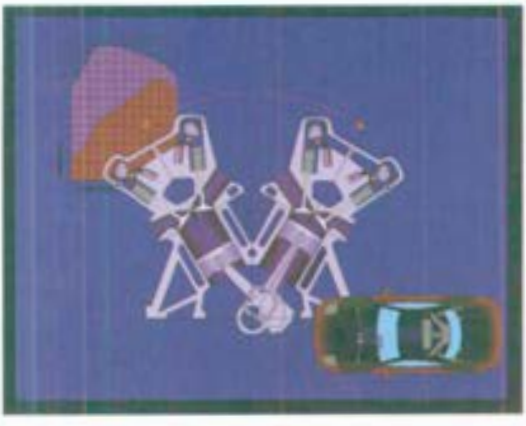
هيكل سيارة توضيحي يبين مكان توضع المحرك الكهربائي وخلية الوقود.

obeikandl.com

أما التطبيقات الأخرى لخلايا الوقود، فتشمل استعمالها بدلاً من البطارية التقليدية في كل التجهيزات المعتمدة على البطاريات مع الاستفادة من امتيازها بالعمر الطويل، وقابلية الشحن دائماً دون التقيد بعدد ثابت لمرات الشحن.

أما خلايا الوقود الأكبر استطاعةً، فمن المتوقع أن تبدأ بعض الشركات في عام 2002 بالتسويق التجاري لها كمولدات كهرباء منزلية، علماً أن بعض المشافي والمطارات والأماكن العامة في الولايات المتحدة و ألمانيا و كندا واليابان تستعمل حالياً مثل هذه الوحدات رديفاً لكهرباء الشبكة العامة، كما أنها تعتبر أيضاً مثالية للأماكن الزراعية والنائية لانعدام حاجتها للصيانة، وتجري الأبحاث حالياً حول استخدام الحرارة الناتجة عن تفاعلات الخلايا في تسخين المياه للتدفئة أو لأي غرض آخر.

وينظر مطورو خلايا الوقود نظرة ملؤها التفاؤل لمستقبل هذه الخلايا، فهم يدعون بأنها ستنهي احتكار محركات الاحتراق الداخلي الذي ساد على مدى المائة عام الماضية كمحرك وحيد لسيارات الركوب الشخصية، وسينعم المستهلكون بسيارات قوية، وستنعم المجتمعات ببيئة نظيفة لا يعكرها دخان حافلة، أو ربما دخان معمل، ولا تشوبها روائح الوقود البترولي.



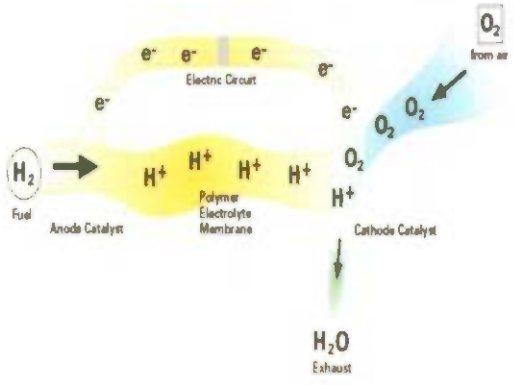
ويرى تاكيو فوكوي Takeo Fukui، مدير قسم التطوير

obeikandl.com

والأبحاث في شركة هوندا اليابانية، أن السيارات المزودة بخلايا الوقود سوف تقصي جانباً السيارات العاملة على محركات الاحتراق الداخلي في غضون الخمس والعشرين سنة القادمة. وترى لجنة مستشاري الرئيس الأمريكي لشؤون العلم والتكنولوجيا أنه عندما تصل نسبة استخدام السيارات العاملة بخلايا الوقود إلى 10٪ من حجم سوق السيارات الأمريكية فستنخفض واردات الولايات المتحدة الأمريكية من النفط بمقدار 130 مليون برميل سنوياً.

والبيئيون من جانبهم يرون أن استخدام الهيدروجين ربما ينقل المجتمعات من عصر الطاقة الكربونية الملوثة التي سادت خلال القرن العشرين، إلى عصر الطاقة الهيدروجينية النظيفة، كما أنه العنصر الأكثر توفراً على سطح كوكبنا.

رسم توضيحي آخر لتحلل الهيدروجين إلى الكترونات وشوارد، ثم اتحادهما مع الأوكسجين لتشكيل الماء.



أما منتجو النفط، فيرى بيتر بيجور Peter Bijur مدير شركة تكساسكو للنفط، أن أيام صناعة النفط أصبحت معدودة، و يقول جيرون فان درفير Je-roen Van Der Veer مدير شركة شل للنفط متوجهاً إلى مؤتمر النفط العالمي في 2000/06/13، بأن العصر الحجري لم ينته لا لأن الحجارة قد نفدت، ولكن لأن المنافسة كانت شديدة له من الأدوات البرونزية التي لبت احتياجات الناس في ذلك الوقت مما جعلته ينزوي بعيداً، وأدت بالتالي لظهور العصر البرونزي.

obeikandl.com