

الباب الثانى

استغلال الهيدروجين كمصدر للطاقة

فى وسائل النقل

مقدمة :

لعل إيجاد وقود نظيف لاستخدامه فى وسائل النقل هو من أصعب الأمور، وهذه الصعوبة تنشأ عن عاملين : أولهما الازدياد المستمر فى عدد السيارات الذى بلغ فى الوقت الحالى ٧٥٠ مليون سيارة، يُنتظر أن يتضاعف هذا العدد عام ٢٠٥٠ نظراً لارتفاع القدرة الشرائية لبعض الشعوب مثل الهند والصين وغيرهما من الدول الآخذة فى النمو الاقتصادى السريع، والسبب الثانى أن ٩٧ ٪ من الوقود المستخدم فى تلك السيارات هو البترول .

فى المستقبل القريب يجب العمل على وضع حلول لتلك المشاكل بتحسين كفاءة السيارات للإقلال من الوقود المستخدم فى تسييرها، وبالتالي نقل من غازات ثانى أكسيد الكربون المسببة للاحتباس الحرارى. إلا أن هذا لا يؤدى إلى خفض ملحوظ فى تصاعد ثانى أكسيد الكربون، نظراً للتزايد السريع فى عدد السيارات .

لعل العامل المؤثر هو أن تتحول السيارات إلى استخدام وقود غير بترولى يحتوى على نسبة صغيرة من الكربون مثل الإيثانول، أو تتحول إلى استخدام الكهرباء أو الهيدروجين فلا يتصاعد منها غاز ثانى أكسيد الكربون. كانت العقبة أمام استخدام الكهرباء هو أن البطاريات المعروفة ثقيلة الوزن ولا يمكنها حفظ كمية من الطاقة الكهربائية تكفى السيارة لقطع مسافة ٣٠٠ ميل كما هو الحال عند استخدام موتورات الاحتراق الداخلى التى تعمل بالجازولين .

فى الوقت الحالى يتم إنتاج الهيدروجين عن طريق تسخين الغاز الطبيعى فى وجود الماء لدرجة حرارة مرتفعة، ويستخدم فى العديد من الصناعات الكيماوية مثل تحضير النشادر وفى إزالة الكبريت من خام البترول .

الطرق المختلفة لتحضير

الهيدروجين :

ويستهلك ٢ ٪ من إجمالى الطاقة العالمية فى إنتاج الهيدروجين. فإذا ما استخدم كل هذا القدر من الهيدروجين فى تسيير السيارات سوف يكفى ١٥٠ مليون سيارة، أى حوالى ٢٠ ٪ من السيارات على مستوى العالم .

وتصنيع الهيدروجين من الغاز الطبيعى ينتج عنه انبعاث غاز ثانى أكسيد الكربون إلا أنه إذا ما استخدم فى تسيير السيارات باستخدام خلايا الوقود فسيكون انبعاث ثانى أكسيد الكربون يعادل ١١٠ جرام لكل كيلو متر تتحركه السيارة، أما مع استخدام

الجازولين فإن كمية ثاني أكسيد الكربون الخارجة من ماسورة العادم تصل إلى ١٩٥ جرام لكل كيلو متر تتحركه السيارة .

ولما كان الغرض الأساسي من استخدام الهيدروجين هو عدم انبعاث ثاني أكسيد الكربون إلى الجو فإنه لتحقيق هذا الهدف يتم تجميع هذا الغاز (ثاني أكسيد الكربون) في أسطوانات تحت ضغط مرتفع وحقنه في آبار البترول العميقة التي جفت؛ لينتشر في مسام الصخور، أو أن يتم حقنه في أعماق البحار فيذوب في الماء ويتفاعل مع الأملاح الموجودة فيه .

طريقة أخرى لتحضير الهيدروجين من الكتلة الحيوية biomass أى مخلفات المحاصيل الزراعية والحيوانية بتسخينها فتتحلل إلى هيدروجين وأول أكسيد الكربون وهو عديم التأثير على الغلاف الجوى، إلا أنه سام إذا تم استنشاقه .

يمكن تحضير الهيدروجين من الإيثانول الذى يتم تصنيعه من تخمير نشا الذرة أو سكر القصب، وينتج عن هذه العملية ثاني أكسيد الكربون إلا أن مقدار ما يضاف إلى الغلاف الجوى من هذا الغاز يساوى ما أخذه النبات من الجو أثناء نموه، إذن المحصلة صفر .

سبق أن ذكرنا إحدى الطرق الأساسية لتحضير الهيدروجين بتحويل الفحم إلى غاز يسمى سنجاز Syngas وهو خليط من غازى الهيدروجين وأول أكسيد الكربون .

ويمكن الحصول على الهيدروجين بتحليل الماء كهربائياً . والطاقة الكهربائية اللازمة لتلك العملية يمكن الحصول عليها من طاقة الرياح أو الخلايا الشمسية أو طاقة المساقط المائية أو من شبكة كهرباء المدينة فى الأوقات التى يقل فيها الطلب على الكهرباء عندما تتوقف المصانع، أى بعد منتصف الليل، وبذلك يحتفظ بالطاقة الكهربائية الزائدة عن الحاجة على شكل هيدروجين .

وتبلغ تكلفة إنتاج الهيدروجين بالتحليل الكهربى أو من تحليل الكتلة الحيوية إلى غاز من ٦ إلى ١٠ دولارات للكيلو جرام، و كيلو جرام من الهيدروجين يعطى طاقة ماثلة لجالون من الجازولين، إلا أنه سيدفع السيارة لمسافة أطول، حيث إن كفاءة المحرك الذى يعمل بالكهرباء الناتجة عن الهيدروجين بواسطة خلايا الوقود الذى سيرد ذكرها فيما بعد، ضعف كفاءة محرك الاحتراق الداخلى الذى يعمل بالجازولين. وطبقاً للتقديرات التى أجرتها مراكز البحوث فى الولايات المتحدة وكندا، سوف ينخفض سعر الهيدروجين مع زيادة إنتاجه وتوزيعه ليصل إلى من ٢ إلى ٤ دولارات للكيلو جرام، وطبقاً لهذه التقديرات سوف يصبح سعر الهيدروجين أقل من سعر الجازولين فى تسيير السيارات .

والمحطات النووية التي ينتظر أن يزداد عددها في العقود القادمة لتوليد الكهرباء يمكنها أن تحلل الماء لإنتاج الهيدروجين والأكسجين عن طريق استخدام الحرارة الشديدة الناتجة في قلب المفاعل والتي يحدث عنها تفكك لجزيئات الماء بتفاعل كيميائي حراري إلى هيدروجين وأكسجين. إلا أن التخلص من النفايات الذرية تمثل صعوبة لا تقل عن صعوبة التخلص من ثاني أكسيد الكربون .

كما سبق أن ذكرنا، الهدف من إنتاج الهيدروجين هو استخدامه كوقود لتشغيل نوع جديد من السيارات تعمل بخلايا الوقود التي تقوم بإنتاج الكهرباء من الهيدروجين كما سيأتي فيما بعد .

في الدول التي بها مصادر للطاقة المتجددة مثل الكتلة الحيوية والرياح والطاقة الشمسية يمكنها الحصول على الهيدروجين بسهولة بواسطة التحليل الكهربائي. إلا أن المشكلة تقع في طريقة نقله من مكان إنتاجه إلى حيث يمكن استخدامه. في جميع الدول توجد آلاف من محطات الوقود لتموين السيارات بالجازولين، إلا أن تحويل تلك المحطات لتموين السيارات بالهيدروجين بدلاً من البنزين ليس بالأمر اليسير .

ولعل مشكلة إنشاء بنية تحتية لنقل وتوزيع الهيدروجين أشبه بضرورة البيضة والدجاجة فأيهما أتى أولاً؛ فالعملاء لن يشتروا سيارات الهيدروجين دون وجود محطات لتموينها بالغاز، وأصحاب محطات الوقود لن يغيروا نشاطهم دون وجود أعداد كبيرة من سيارات الهيدروجين تسير في الشوارع .

وكحل لتلك المشكلة يمكن في بداية الأمر استخدام شاحنات لنقل الهيدروجين من مكان إنتاجه إلى محطات الوقود التي تخصص جزءاً من نشاطها لتموين سيارات الهيدروجين .

قد قدرت شركة جنرال موتورز عدد المحطات المطلوبة لتموين مليون سيارة كدفعة أولى ١٢٠٠٠ محطة في المدن والطرق السريعة، كل منها يكلف مليون دولار بما في ذلك تكلفة محطات الإنتاج وشبكة النقل من أماكن الإنتاج إلى محطات التوزيع .

قد تبدو تلك المبالغ باهظة، لكن لو ألقينا نظرة عن تكلفة إنشاء البنية التحتية لمحطات الوقود التقليدي سنجد أن تكلفة البنية التحتية وسعر الوقود في الثلاثين سنة القادمة لمنطقة شمال أمريكا على سبيل المثال تصل إلى ١,٣ تريليون دولار، نصفها سيدفع للدول المنتجة للبتترول ليستغل الجزء الأكبر منه في أعمال التنقيب والاستخراج، وحوالي ٣٠٠ بليون ستنفق على أعمال التقطير وإنشاء أنابيب نقل

طرق نقل الهيدروجين من مواقع الإنتاج إلى محطات التوزيع :

البتروول وغير ذلك من نفقات، ولو نظرنا إلى المنشآت والبنية التحتية لإنتاج ونقل الهيدروجين سنجدها مكلفة بنفس القدر .

ومن الممكن أن ينتج الهيدروجين فى محطات كبيرة موزعة على مختلف المناطق ثم يتم حفظه فى خزانات كبيرة تحت ضغط مرتفع أو على شكل هيدروجين سائل ويتم نقله بعد ذلك إلى محطات التوزيع بواسطة الشاحنات أو شبكة أنابيب شبيهة بشبكة الأنابيب التى تنقل الغاز الطبيعى، ومن الممكن إنتاج الهيدروجين فى محطات التوزيع ذاتها أو فى المنزل من الغاز الطبيعى أو بتحليل الماء بالكهرباء من شبكة كهرباء المدينة فى الأوقات التى ينخفض فيها استهلاك الكهرباء فى الساعات المتأخرة من الليل .

ولعل ذلك هو الحل الأمثل عندما يكون عدد السيارات التى تستخدم الهيدروجين قليلاً، وعندما يصل عدد السيارات التى تعمل بالهيدروجين حوالى ٢٥ ٪ من مجموع السيارات سيصبح من الأفضل إنشاء محطات مركزية كبيرة لإنتاج الهيدروجين وشبكة من الأنابيب لتوصيله إلى محطات التوزيع .

وتختلف طرق إنتاج الهيدروجين تبعاً للمنطقة المقام فيها محطة الإنتاج، فمثلاً فى الأماكن الغنية بمساقط المياه يمكن توليد الهيدروجين بالتحليل الكهربى، ونفس الشئ بالنسبة للمناطق التى بها رياح شديدة حيث تستخدم الكهرباء الناتجة عن المراوح الهوائية فى تحليل الماء وإنتاج الهيدروجين، والمدن الصغيرة يمكنها الاعتماد على الشاحنات فى نقل الهيدروجين .

ونمو البنية التحتية لشبكة نقل وإنتاج الهيدروجين يجب أن تسير جنباً لجنب مع إنتاج السيارات؛ حتى يمكن تشجيع الجمهور على استخدام سيارات الهيدروجين ولاسيما فى المدن؛ للإقلال من تصاعد غازات ثانى أكسيد الكربون. إلا أن هذا الانتقال من الوقود البتروولى إلى وقود الهيدروجين بصفة تامة قد يستغرق بضعة عقود وسيكلف بلايين الدولارات، لكن ليس هناك حل آخر للحفاظ على الحياة على كوكب الأرض وإيجاد مصدر جديد للطاقة كبديل للوقود الكربونى الآخذ فى النضوب والملوث للبيئة والذى ارتفع سعره بشكل غير مسبوق .

الجهود المبذولة حالياً نحو إنشاء

شبكة لنقل الهيدروجين :

فى بداية عام ٢٠٠٥ تم افتتاح محطة تجريبية لإمداد السيارات بالهيدروجين فى لانام - نيويورك Latham N.Y وهى محطة ملحقة بمحطة لتزويد السيارات بالغازولين، ويتم استخراج الهيدروجين فيها من الغاز الطبيعى المستخدم فى شبكة أنابيب الغاز بالمدينة باستخدام بخار الماء .

وهذه المحطة بجانب إمداد السيارات بالهيدروجين توفر بعض الهيدروجين لإمداد

مصنوفات من خلايا الوقود تستخدم فى إنارة المبنى الرئيسى للمحطة، كما تم تدفئته بالحرارة الخارجة من تلك المصنوفات .

وحجم المحطة التى تقوم بتحضير غاز الهيدروجين التى يمكن أن توضع فى محطات تموين السيارات بالوقود؛ تقترب من حجم موقد البوتاجاز الكبير ويمكنها أن تملأ تانك الوقود بالسيارة بغاز الهيدروجين فى فترة زمنية تصل إلى ست دقائق .

لقد قدر مهندسو شركة جنرال موتورز GM مبلغاً من ١٠ إلى ١٥ بليون دولار لإنشاء محطات إمداد السيارات بالهيدروجين بحيث لا تبعد عن أى سيارة بمسافة تزيد عن ٢ ميل، وفى الطرق السريعة تنشأ محطات بين الواحدة والأخرى ٥ أميال، وهذه المحطات مجتمعة يمكنها أن تمد مليون سيارة تعمل بالهيدروجين .

لقد أكدت أكاديمية العلوم الأمريكية أن حل المشاكل الصعبة التى تعترض إنتاج الهيدروجين وتصنيع خلايا الوقود بسعر مناسب سوف تستغرق بضع عقود. من تلك المصاعب كيفية استخراج الهيدروجين دون السماح لغاز ثانى أكسيد الكبريت بتلويث الجو مما ينتج عنه ارتفاع درجة حرارة الأرض. فاستخراج الهيدروجين من الميثان أو الغاز الطبيعى أو الميثانول يؤدي إلى تصاعد غاز ثانى أكسيد الكربون، ولا بد من التخلص منه كما سبق أن ذكرنا. كما أن صناع خلايا الوقود لديهم مشاكل؛ فوجود بعض الشوائب فى الهيدروجين تضر بخلايا الوقود، ومن ثم من واجب الصناعات الكيماوية أن تهتم بالتخلص من تلك الشوائب. بعد حل تلك المشاكل تبقى مشكلة التمويل، فالتمويل اللازم لإنشاء البنية التحتية للهيدروجين فى القرن الواحد والعشرين يشبه التمويل الذى أنفق على إنشاء الطرق الحديدية فى القرن التاسع عشر والتمويل الذى أنفق على إنشاء الطرق السريعة للسيارات فى القرن العشرين. وقرار تمويل هذه المشروعات لا يقل أهمية عن إجراء البحوث اللازمة لإيجاد حلول للعقبات التكنولوجية التى سبق الحديث عنها، وسوف يحدد ما إذا كان من الممكن تسيير مركبات الهيدروجين على الطريق بعد عقد من الزمان أو أكثر من ذلك .

مقدمة : فى مساء ١٤ أغسطس عام ٢٠٠٣ انقطع التيار الكهربائى عن مدينة نيويورك والمنطقة المحيطة بها فى شمال شرق الولايات المتحدة وأنتاريو، ويبلغ تعداد السكان بهذه المنطقة ٤٠ مليون نسمة؛ وذلك عندما توقفت محطة توليد الكهرباء فى أهايو، ونتج عن ذلك ازدياد الحمل على باقى أجزاء الشبكة مما أدى إلى ارتفاع درجة حرارة أسلاكها فتمددت وارتخت أسلاك الجهد العالى وسقطت على الأشجار مما أدى إلى حدوث تماس كهربائى وتعطلت نتيجة لذلك ٢٦٥ محطة أخرى وأظلمت منطقة مساحتها ٢٤٠٠٠ كيلومتر مربع .

شبكة جديدة لعصر جديد
شبكة كهربائية فائقة التوصيل
تنقل الكهرباء والهيدروجين:

أنشئت شبكة الكهرباء في شمال الولايات المتحدة على عدة مراحل واستغرق اتمامها مائة سنة، وقد وصلت في الوقت الحالي إلى عدة ملايين من الكيلومترات طولاً وتحمل الطاقة الكهربائية تحت جهد ٧٦٥ كيلوفلت .

ومن مساوئ الشبكة الحالية أنها لا تتماشى مع المتطلبات التكنولوجية التي ستسود في القرن الواحد والعشرين، وما سينتج عنها من ازدياد كبير في استهلاك الكهرباء والانتقال من محطات لتوليد الكهرباء تعمل بالوقود الكربوني إلى نوع آخر من المحطات ووسائل نقل تعمل بأنواع أخرى من الوقود؛ لا يؤدي إلى زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو .

ومن غير الممكن رفع الجهد الكهربائي في الشبكة الحالية إلى مليون فلت مثلاً لكي تزيد من الطاقة المحمولة عبر هذه الشبكة؛ لأن الارتفاع إلى مثل هذا الجهد سيؤدي إلى جعل المجال الكهربى الشديد يمزق المواد العازلة لهذه الكابلات فتحدث شواهد كهربائية في العديد من المناطق، كما ترتفع درجة حرارة الأسلاك مما يؤدي إلى ارتخائها وملاستها للأشجار والمباني المرتفعة فتحدث حرائق في أماكن متعددة .

من الواضح الآن عدم إمكانية أن تقوم الشبكة الكهربائية بوضعها الحالي بإمداد وسائل النقل المهجنة hybrid cars التي تقطع جزءاً من رحلتها باستخدام الكهرباء والجزء الآخر باستخدام الجازولين في محرك الاحتراق الداخلى، هذا مع العلم أن الكهرباء التي يمكن إضافتها من مصادر الطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح والمساقط المائية والطاقة الشمسية غير ثابتة المقدار فهي تصل بشكل متقطع غير مستديم .

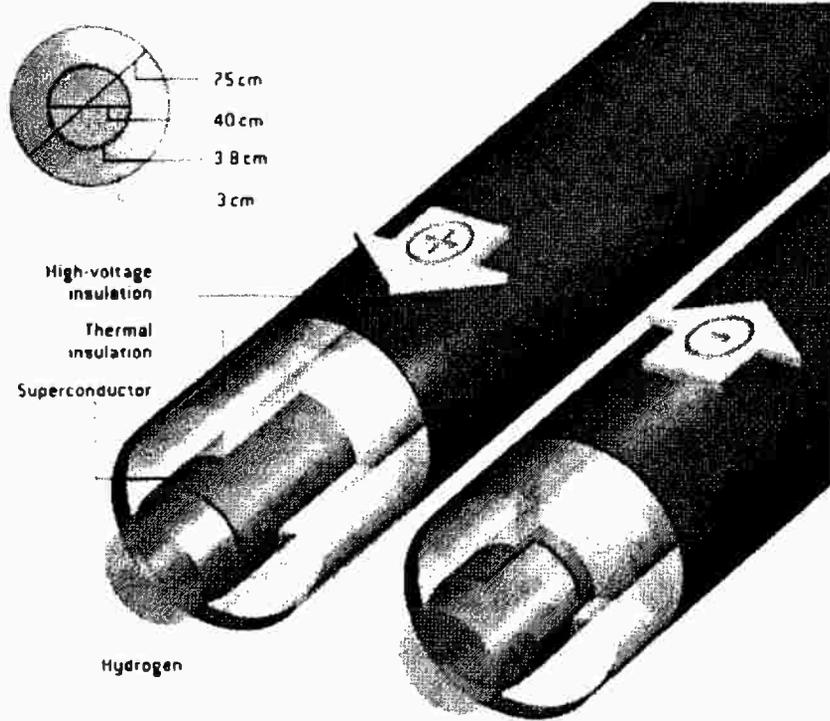
الكابلات فائقة التوصيل وشبكة

جديدة لعصر جديد :

ظاهرة التوصيل الفائق اكتشفها العالم الهولندي كامرلنج أنس عام ١٩١١، فقد لاحظ أنس أن بعض الفلزات عندما تبرد لدرجات حرارة منخفضة جداً تصل إلى درجة غليان الهيدروجين السائل، أى ٢٠ كلفن (-٢٥٣° سلسيوس) فإنها تفقد مقاومتها للتيار الكهربى وتصبح فائقة التوصيل للكهرباء. إلا أن هذه الظاهرة لم تستغل تكنولوجياً إلا منذ وقت قريب عندما استخدمت في تبريد الأسلاك المتصلة بأجهزة الرنين المغناطيسى ومعجلات الأجسام النووية ولتغذية المغناطيسات ذات المجال المغناطيسى الذى يفوق ٤ تسلا والتي تحتاج إلى تيار كهربائى شديد، كما استخدمت في الترانسفورمرات والموتورات والمولدات التي تمر فيها تيارات كهربائية كبيرة .

في الوقت الحالي توجد مجموعة من المهندسين والفيزيائيين يدرسون نظام حديث لنقل الكهرباء من محطات التوليد إلى المستهلك عبر شبكة توزيع تتكون من أسلاك مبردة بالهيدروجين السائل عند درجة ٢٠ كلفن لتصبح فائقة التوصيل للكهرباء، ويطلق على تلك الشبكة super grid أى الشبكة فائقة التوصيل، ومن

المقرر أنها ستعمل إلى جانب الشبكة الحالية، وتتكون من محطات توليد وكابلات فائقة التوصيل؛ لكي تزيد من قدرتها على تحمل زيادة الأحمال المتوقعة، كما أنها ستقوم كذلك بنقل الهيدروجين من أجل استخدامه في السيارات التي من المنتظر أن تعمل بخلايا الوقود وذلك خلال الأنابيب التي تحيط بالكابلات التي تحمل الكهرباء وتقوم بتبريدها بحيث تصل إلى حالة التوصيل الفائق كما في شكل (١٦).



	Voltage/Temperature	Flow rate	Power delivered
DC circuit	+50,000 volts and -50,000 volts	50,000 amperes	5,000 megawatts electric
Liquid hydrogen	20 kelvins	0.6 cubic meter/ second in each pipe	10,000 megawatts thermal

شكل (١٦) الكابلات فائقة التوصيل يمكنها نقل الطاقة على شكل طاقة كهربائية و طاقة كيميائية. القدرة الكهربائية تنتقل بدون مقاومة كهربية خلال الأنابيب المصنوعة من مادة فائقة التوصيل. ويسد الهيدروجين السائل داخل تلك الأنابيب المصنوعة من المادة فائقة التوصيل فيبردها إلى درجة ٢٠ كلفن لكي تصبح فائقة التوصيل. أنابيب فائق التوصيل عبارة عن زوج من الكابلات قطر كل منها حوالي متر يمكنه نقل قدرة تصل إلى خمسة جيجاواط و ١٠ جيجاواط من الطاقة الحرارية.

والشبكة فائقة التوصيل التي تحمل الهيدروجين السائل ليست مهمتها عملية النقل فحسب، بل تقوم كذلك بحفظ الطاقة الناجمة عن الوسائل غير التقليدية مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية وتعظيم الاستفادة منها. كما أنها ستسهم في الانتقال من مصادر الطاقة التي تزيد من الغازات الكربونية التي لها تأثير الصوبة على مناخ الكرة الأرضية إلى مصادر نظيفة غير ملوثة للبيئة .

تبدو فكرة الشبكة فائقة التوصيل شيئاً غير عملي، إلا أنه في حقيقة الأمر قد تمكن العلماء في شركة IBM عام ١٩٦٧ من نشر بحث أجروه على كابل طوله ١٠٠٠ كيلو متر مصنوع من مادة النيوبيوم - قصدير Niobiumtin يمكن تبريده بواسطة الهيدروجين السائل ليصبح فائق التوصيل للكهرباء، أى أن مقاومته للتيار الكهربائي تصبح قريبة من الصفر ومن ثم يمكنه أن يحمل تياراً مستمراً DC current فائق الشدة بحيث ينقل قدرة كهربائية تصل إلى ١٠٠ جيجاراط، وهى القدرة التي يمكن أن تنتج عن ٥٠ محطة للطاقة النووية .

لقد تمكن بعض العلماء من وضع مخطط لشبكة فائقة التوصيل يقوم فيها الهيدروجين السائل بتبريد كابلات الكهرباء إلى درجة التوصيل الفائق ونقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة، وكذلك نقل الطاقة الكيماوية المثلثة فى الهيدروجين وتوصيلها إلى أماكن الاستخدام .

فى الوقت الحالى بدأت العديد من الدول تجرى تجاربها على استخدام الكابلات ذات التوصيل الفائق لنقل الكهرباء والهيدروجين عبر مسافات طويلة ومن تلك الدول اليابان وكوريا الشمالية ودول الاتحاد الأوروبى والولايات المتحدة. وباستخدام الهيدروجين السائل تنخفض درجة حرارة تلك الكابلات إلى ٢٠ كلفن. فى تلك التجارب استخدم سلكان فائقا التوصيل أحدهما عند جهد موجب قدره ٥٠ كيلولط والآخر عند جهد سالب له نفس المقدار، والسلكان يحملان تياراً قدره ٥٠ كيلو أمبير وهو تيار أعلى من أن يتحمله أى موصل. وكابل من هذا النوع يستطيع أن ينقل قدرة كهربائية تصل إلى ٥ جيجا واط لمسافة مئات الكيلومترات وتظل مقاومته قريبة من الصفر وفقده للطاقة لا يذكر (فى الكابلات العادية يفقد ١٠ ٪ من الطاقة التى تولدها محطات الكهرباء على شكل حرارة) .

ولما كانت الكابلات فائقة التوصيل تبرد بالهيدروجين السائل فإنها تنقل الهيدروجين السائل الذى يعتبر طاقة كيماوية (سوف نسميها طاقة هيدروجينية) إلى جانب نقلها للطاقة الكهربائية. ومن ثم فإن الجيل الجديد من المحطات النووية يجب أن ينتج الهيدروجين إلى جانب الكهرباء، وإنتاج أى من نوعى الطاقة له نفس الكفاءة.

الطاقة الكهربائية

Electricity

والطاقة الهيدروجينية

hydraulicity

لعل إنتاج الطاقة في صورة قدرة كهربائية، أو في صورة طاقة كيميائية عن طريق غاز الهيدروجين سيفتح المجال أمام اختيارات عديدة، وسوف تساعد الشبكة فائقة التوصيل التي تنقل الهيدروجين السائل إلى جانب التيار الكهربائي على خفض سعر الوقود المستخدم في السيارات المهجنة (التي تستخدم الهيدروجين والكهرباء كمصدرين للطاقة المحركة أو الجازولين والهيدروجين) وتسمى hybrid cars .

في الوقت الحالي قامت شركتا مازدا و BMW بعرض سيارات مهجنة hybrid cars تستخدم الهيدروجين والجازولين، أى أنها بها تنكان أحدهما للهيدروجين والآخر للبنزين، فعندما ينفذ الهيدروجين تواصل السيارة رحلتها باستخدام البنزين. وفي نوع آخر من السيارات المهجنة تستخدم بطاريات الوقود التي تنتج الطاقة الكهربائية من غازى الهيدروجين والأوكسجين إلى جانب وقود الجازولين أو الغاز الطبيعي، أى أنها تقطع جزءاً من الرحلة مستخدمة موتور يعمل بالكهرباء وباقى الرحلة بماتور احتراق داخلي يعمل بالبنزين .

ومن المعروف أن موتور الاحتراق الداخلى لا تزيد كفاءته عن ٣٠ ٪، أما السيارات التي تستخدم خلايا الوقود وماتور يعمل بالكهرباء فإن كفاءتها تصل إلى ٦٠ أو ٦٥ ٪ .

ولتسهيل الحصول على الهيدروجين ونقله، تعتبر الشبكة فائقة التوصيل الطريقة المثلى؛ فالمحطات النووية يمكنها أن تنتج الهيدروجين إلى جانب الكهرباء دون تصاعد أى غازات ضارة بالبيئة كثانى أكسيد الكربون. وينقل الاثنين معاً تعتبر الشبكة فائقة التوصيل خط أنابيب ومخزن للطاقة فى آن واحد، فعلى سبيل لمثال كل جزء من الشبكة طوله ٧٠ كم وقطر الأنبوبة المكونة لها ٤٠ سم وهى مملوءة بالهيدروجين السائل يكون مخزون الطاقة فيها ٣٢ جيجاواط ساعة .

من مميزات الشبكة فائقة التوصيل أنها تسمح بالتغلب على التغيرات السريعة فى الطلب على الطاقة أكثر مما تتيحه الشبكات التقليدية، وهى بذلك تقلل التذبذب فى معدلات استهلاك الطاقة زيادة ونقصاً فى الأوقات المختلفة، ومن مميزات أيضاً أنها تسمح باستغلال الطاقة الكهربائية الناتجة عن مصادر الطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح والمد والجزر وضوء الشمس. ومحطات الطاقة المتجددة هذه يمكنها أن تضخ الهيدروجين فى الشبكة بدلاً من الكهرباء عن طريق تحليل الماء كهربياً إلى هيدروجين وأكسجين، وبذلك لا نحتاج إلى الكهرباء المتولدة من محطات القوى التقليدية لإنتاج الهيدروجين السائل اللازم لتبريد الشبكة .

أما عوامل الأمان الخاصة بنقل الهيدروجين عبر مسافات طويلة فهناك خبرة ضخمة بهذا الخصوص لدى ناسا وشركات البتروكيماويات، فالهيدروجين قابل للاشتعال أكثر من الغازات الأخرى مثل الميثان، كما أنه شديد الانفجار ومن الممكن أن يتسرب من أى ثقب صغير فى أنابيب التوصيل ولذلك فلا بد من عمل كل الاحتياطات اللازمة للتأكد من عدم وجود أى أماكن يتسرب منها الغاز فى الأنابيب.

وزيادةً فى الاحتياط يفضل أن تمر تلك الأنابيب فى أنفاق تحت سطح الأرض وهى وإن كانت عملية مكلفة إلا أنها ضرورية. والكابلات فائقة التوصيل تستطيع أن تحمل طاقة كهربائية أضعاف ما تحمله الشبكات العادية، وهذا يعوض بعض التكاليف التى تنفق فى إنشاء بنيتها التحتية التى ستكلف الولايات المتحدة ما يقرب من تريليون دولار تقريباً وهى تكلفة قد لا تستطيع العديد من الدول تحملها .

إنه من الأمور الهامة أن تسرع الدول الصناعية فى عمل نماذج أولى لشبكة فائقة التوصيل، حيث إن الشبكات الحالية قد وصلت إلى ذروة ما يمكن أن تتحمله من نقل للطاقة الكهربائية. ولو أخذنا حالة الولايات المتحدة كنموذج نجد أن إنتاج الطاقة الكهربائية قد زاد بمقدار ٢٥ ٪ فى السنوات الخمس الأخيرة، كما أن شبكة نقل الكهرباء قد ازداد طولها بنسبة ٣,٣ ٪ ومن المنتظر بحلول عام ٢٠٢٥ أن يصل الاستهلاك السنوى للطاقة إلى ١٣٤ تريليون ميغاواط. وهذه الزيادة المضطربة تجعل من الضروري إيجاد شبكة جديدة لكى يمكن الوفاء بالزيادة المضطربة فى الطلب على الطاقة الكهربائية والتى قد تصل إلى ٤٠٠ جيجاواط فوق الطاقة المستخدمة حالياً. وشبكة الجهد الفائق قد وصلت حالياً إلى مليون فلفظ وهو الحد الأعلى لقدرة تحمل المواد العازلة التى تحمل عليها الأسلاك، كما أنها الحد الأعلى لأجهزة التحكم فى الشبكة التى تحمل التيار المستمر. وخطوط التيار المتردد عند ذبذبة ٦٠ هرتز يصل طولها ١٢٠٠ كيلو متر لا يمكن استخدامها؛ لأنها ستشع قدراً كبيراً من القدرة الكهربائية التى تحملها وكأنها هوائى عملاق .

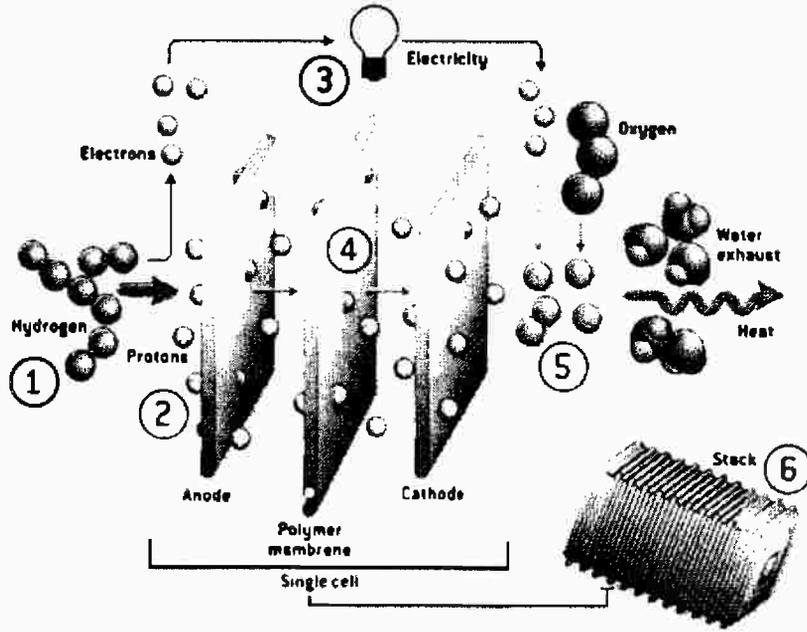
لهذه الأسباب أصبح من الضروري عمل شبكة جديدة فائقة التوصيل يمكنها أن تحمل مئات الجيجاواط ونقلها عبر مسافات طويلة حيث توجد محطات توليد الكهرباء إلى مناطق الاستهلاك .

إنتاج الكهرباء من الهيدروجين عن طريق خلايا الوقود

Fuel Cells

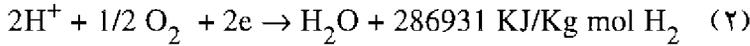
خلايا الوقود المنتظر استخدامها في السيارات التي تعمل بالهيدروجين مبنية في شكل (١٧) في داخل الخلية يوجد غشاء رقيق من مادة الفلوروكاربون البوليمرية ومهمة هذا الغشاء هو أن يقوم بتبادل البروتونات ويسمى proton exchange membrane ويرمز له اختصاراً (PEM) وهو يقوم بعمل الإلكتروليت الذي سبق ذكره، أى نقل الشحنات الكهربائية وكحاجز لمنع اختلاط وقود الهيدروجين والأكسجين .

التطوير الذي حدث في خلايا الوقود المنتظر استخدامها في سيارات الهيدروجين :



شكل (١٧) خلية وقود. خلية الوقود تولد الكهرباء طالما نمدها بغازي الهيدروجين والأكسجين. والخلية ذات الغشاء البروتوني (PEM) بها كاثود وأنود مفصولان بواسطة غشاء بوليمري إلكتروليتي Polymer membrane electrolyte ويغطي أحد سطحي كل من الأنود والكاثود بمادة بلاتينية محفزة. عندما تدخل ذرات الهيدروجين في الخلية (١) يقوم المنشط على سطح الأنود بفصل الإلكترون من الذرة تاركاً البروتون (٢) يتحرك الإلكترون في الوصلة الخارجية ليحرك الموتور (٣) بينما البروتون يمر خلال غشاء المبادل البروتوني (٤) متجهاً نحو الكاثود (٥) يقوم المحفز الذي على سطح الكاثود بجمع البروتون مع الإلكترون العائد من الوصلة الخارجية مع ذرة الأكسجين الداخل في الخلية من الهواء معطياً جزيء ماء وطاقة حرارية (٦) تجمع العديد من الخلايا في مصفوفة Stack لإعطاء القلط المطلوب .

وتتولد الكهرباء داخل الخلية عن طريق انتزاع الإلكترونات من ذرات الهيدروجين عند سطح الأنود وهو مغطى بطبقة محفزة تساعده على إتمام تلك العملية. أما البروتونات التي تمثل أيونات الهيدروجين الموجبة التكهرب فإنها تنفذ من خلال الغشاء الإلكتروني لتتحد بالأوكسجين والإلكترونات لتكون جزيئات الماء ويتم ذلك في منطقة الكاثود المغطى بطبقة من المحفز. والماء هو المادة الوحيدة التي تتكون نتيجة تولد الكهرباء في الخلية كما في شكل (٣). وتُجمع خلايا الوقود على شكل حزم Stacks أو مصفوفات متصلة ببعضها على التوالي والتوازي بحيث تعطى الجهد والقدرة المطلوبة، حيث إن كل خلية تعطى جهداً كهربياً مقداره ١,٢ فولت. ويمكن تمثيل التفاعل الذي يتم داخل خلية الوقود بالمعادلة الكيميائية التالية :



وقد تم اختيار خلايا الوقود كمصدر للطاقة في وسائل النقل لارتفاع كفاءتها التي تصل إلى ٨٠ ٪، وعند استخدامها لتشغيل موتور كهربائي لتحريك السيارة فإن كفاءة تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية محركه تصل إلى ٦٠ ٪ بينما كفاءة آلات الاحتراق الداخلي لا تتعدى ٣٠ ٪. كما أن الحرارة التي تعمل عندها تلك الخلايا لا تتعدى ٨٠°س وهي آمنة بدرجة كبيرة وتكلفة صيانتها قليلة .

ويعتمد ظهور سيارة خلايا الوقود بحلول عام ٢٠١٥ في المقام الأول على التقدم الذي يمكن إحرازه في صناعة غشاء التبادل البروتوني PEM، وتمثل تكلفة إنتاجه ٣٥ ٪ من إجمالي ثمن خلية الوقود، ومن التحسينات الواجب إضافتها على هذا الغشاء ما يتمثل في عدم السماح بمرور الهيدروجين خلال الغشاء وزيادة استقراره الكيميائي والميكانيكي وقوة تحمله وزيادة عدم تأثره بالشوائب الموجودة في وقود الهيدروجين مثل أول أكسيد الكربون، وبنواتج التفاعلات الكيميائية غير المرغوب فيها مثل تكون بيروكسيد الهيدروجين H₂O₂ hydrogen Peroxide، والعمل كذلك على خفض تكلفة مصفوفات تلك الخلايا .

وفي هذا الصدد قد نجحت بعض الشركات مثل بولي فويل Polyfuel في كاليفورنيا في إنتاج غشاء من بوليمر الهيدروكربون بدلاً من غشاء البرفلورينيت Perfluorinated membrane وهو أرخص منه سعراً وأعلى كفاءة ويمكنه أن يعمل في درجات حرارة مرتفعة تصل إلى ٩٥°س، وهذا يساعد على استخدام رادياتير أصغر للتخلص من الحرارة الناتجة عن التفاعل الكيميائي داخل مصفوفة الخلايا. ويتميز غشاء الهيدروكربون الذي تنتجه شركة بولي فويل بأن عمره أطول من غشاء الفلوروكربون بمقدار ٥٠ ٪ وينتج قدرة كهربائية ١٥ ٪ أكثر منه. وسعر المتر المربع من غشاء الفلوروكربون يصل إلى ٣٠٠ دولار. بينما سعر غشاء شركة

بولى فويل نصف هذا الثمن. وفي الوقت الحالى يستخدم هذا الغشاء فى مصفوفات خلايا الوقود المستخدمة فى سيارات شركة هوندا من نوع FCX التى تعمل بخلايا الوقود .

العامل الثانى لتحسين أداء غشاء تبادل البروتونات PEM هو المحفز البلاينى الذى يغطى أحد سطحي كل من الكاثود والأنود على شكل طبقة رقيقة ويمثل ثمنه ٤٠ ٪ من سعر مصفوفة الخلايا، مهمة هذا المحفز هى تنشيط عملية اتحاد الهيدروجين والأوكسجين وتكوين الماء وانطلاق الطاقة على شكل قوة دافعة كهربية من خلية الوقود كما فى المعادلة الكيميائية التى سبق ذكرها، وهو يساعد على تأمين الهيدروجين وانطلاق البروتونات والإلكترونات أو اكتسابها .

على الجانب المتواجد فيه جزيئات الهيدروجين H_2 عند الأنود يتم أسر ذرتي الهيدروجين حيث تتحلل كل منها إلى بروتون موجب والإلكترون سالب، ثم يمر البروتون من خلال الغشاء ليصل إلى الجانب الآخر عند الكاثود حيث توجد ذرات الأوكسجين. تتفاعل البروتونات مع ذرات الأوكسجين والإلكترونات لتكوين جزيئات الماء طبقاً للمعادلة (٢) التى سبق ذكرها. وهذا التفاعل لا بد من التحكم فيه حتى لا يتكون بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2 كمنتج ثانوى مما يتلف خلايا الوقود .

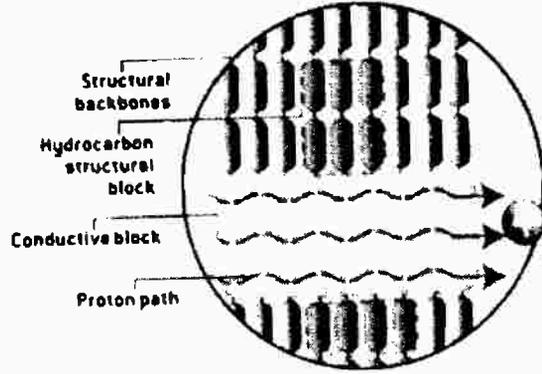
ونظراً لارتفاع سعر البلاين الداخلى فى تصنيع المادة المحفزة فإن البحوث الجارية تهدف إلى الإقلال من الكمية المستخدمة فى عمليات التصنيع مع الإرتفاع بقدرته على التحفيز ودراسة الظروف التى تجعله أكثر ثباتاً وأقل تأثراً بالتفاعلات الجانبية التى قد تتم داخل الخلية. وأحد النجاحات فى هذا الصدد ما توصل إليه الباحثون بإحدى الشركات حيث تم تصنيع محفز رقيق جداً ومثبت عليه نتوءات صغيرة كما فى شكل (١٨) بحيث تزيد من مساحة سطح المحفز، وهناك اتجاه آخر فى البحث عن استخدام مواد رخيصة مثل الكوبلت والكروم بدلاً من البلاين .

فى التصميمات الأولى لخلايا الوقود إذا ما انخفضت درجة حرارة الجو إلى ما دون الصفر يتجمد الماء داخلها، والماء عندما يتجمد يزداد حجمه فيحطم غشاء التبادل البروتونى أو يجعل أنابيب الماء تتفجر داخل الخلية. نتيجة للبحوث التى أجرتها شركة هوندا أمكن إنتاج خلايا وقود لا تتأثر بانخفاض درجة حرارة الجو إلى ما دون الصفر، وتستطيع السيارة أن تبدأ الحركة بسهولة عند أى درجة حرارة دون الصفر. وتتميز سيارات هوندا من طراز FCX التى تعمل بخلايا الوقود من إنتاج عام ٢٠٠٥ بأنها مزودة بمكثف كهربائى يخزن الكهرباء بين سطحيه ليعطى قدرة إضافية لفترة وجيزة لكى تتمكن السيارة من الصعود إلى أعلى منحدر، بينما السيارات الأخرى تستخدم بطاريات إضافية .

البحوث التى تجرى على المواد

المحفزة لخلايا الوقود :

مصفوفات خلايا الوقود والتجمد :



شكل (١٨) الغشاء الهيدروكاربوني Hydrocarbon يبقى مدة أطول وأقل سعراً من النوع الفلوروكاربوني Fluorocarbon ويعطى طاقة أكثر. وتزعم شركة بولى فويل Poly Fuel أنها توضع فى الخلية أغشية من بوليمر جيد التوصيل للكهرباء لتنشيط مرور البروتونات مما يساعد على إعطاء طاقة أكبر. وتلك المواد جيدة التوصيل ملتصقة بشرائح تقوم بتقوية الغشاء الهيدروكاربوني .

الخطوات الأولى لتنشيط صناعة

خلايا الوقود :

لتنشيط صناعة خلايا الوقود قبل انتشار صناعة السيارات التى تعمل بالكهرباء، بدأت شركة جنرال موتورز GM بصناعة بعض المنتجات التى تدخل خلايا الوقود ضمن مكوناتها لكى تدر دخلاً يساعدها على تعويض ملايين الدولارات التى تنفقها فى البحوث الخاصة بتحسين الأداء وتخفيض تكلفة إنتاج تلك الخلايا .

من المحتمل إنتاج مولدات كهرباء تعمل بخلايا الوقود وتسويقها للمنازل والمؤسسات قبل أن تصبح السيارات التى تعمل بتلك الخلايا متاحة بعدد كبير. ومصنوعات خلايا الوقود المستخدمة لتلك الأغراض أقل تعقيداً من تلك المستخدمة داخل السيارات. وقد نجحت GM فى تصنيع محطات طاقة تعمل بخلايا الوقود، ويتم تغذيتها بالهيدروجين المستخرج من الغاز الطبيعى أو الإيثانول، وسوف تورد تلك الوحدات للجهات التى تحتاج إلى عدم انقطاع التيار الكهربائى عنها ولو لفترة وجيزة مثل المستشفيات والمصانع التى تعمل بصفة مستديمة ومراكز المعلومات الرقمية وشركات الاتصالات الهاتفية. كما أن وحدات توليد الكهرباء التى تعمل بخلايا الوقود يمكن استخدامها أثناء أوقات الذروة عندما تصبح تكلفة الكهرباء الآتية من شبكة المدينة مرتفعة، كما يمكن استخدام الكهرباء من شبكة المدينة فى توليد الهيدروجين اللازم لتلك الوحدات أثناء الفترات التى يقل فيها الطلب على الكهرباء فى الساعات المتأخرة من الليل .

وتنتج شركة GM حالياً وحدات طاقة كهربائية بخلايا الوقود قدرتها ٧٥ كيلوات، وتلك الوحدات تحصل على ما تحتاج إليه من هيدروجين من تحليل الغاز الطبيعي أو الميثانول أو الجازولين. وعندما تنتشر السيارات التي تعمل بخلايا الوقود يمكن لوحدة الطاقة تلك أن تغذيها بما تحتاج إليه من هيدروجين ومن ثم لا تحتاج إلى مراكز كبيرة لإنتاج الهيدروجين ونقله إلى محطات بيع الوقود .

ومع تزايد توليد القوى الكهربائية في السيارات التي تستخدم خلايا الوقود يمكن أن تصير مصدراً من مصادر الطاقة التي تغذي شبكة الكهرباء في ساعات الذروة. فمعظم السيارات لا تتحرك ٩٠ ٪ من الوقت وتظل واقفة في الجراجات. ولك أن تتخيل قدر الطاقة الكهربائية المتولدة من خلايا الوقود بتلك السيارات والشاحنات. فلو أن ٤ ٪ فقط من سيارات منطقة مثل ولاية كاليفورنيا تعمل بخلايا الوقود ستكون القدرة الكلية للطاقة الكهربائية المتولدة في هذه السيارات تعادل القدرة الكهربائية في شبكة الولاية .