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، ينتظر 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، وبالتالى نقلل 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 .

الطرق المختلفة لتحضير الهيدروجين :

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 .

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 ثانى أكسيد الكربون الخارجة من ماسورة العادم تصل إلى ١٩٥ جرام لكل كيلو متر تتحركه السيارة .

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

طريقة أخرى لتحضير الهيدروجين من الكتل 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 ثانى 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 كهربائيًا. والطاقة الكهربائية اللازمة لتلك العملية يمكن الحصول عليها من طاقة الريح 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 الكتل الحيوية إلى غاز من ٦ إلى ١٠ دولارات للكيلو جرام، وكيلو جرام من الهيدروجين يعطى طاقة مماثلة 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. وطبقًا 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، وطبقًا لهذه التقديرات سوف يصبح سعر الهيدروجين أقل من سعر الجازولين فى تسيير السيارات .

والمحطات النووية التى ينتظر أن يزداد عددها فى العقود القادمة لتوليد الكهرباء يمكنها أن تحلل الماء لإنتاج الهيدروجين والأوكسجين عن طريق استخدام الحرارة الشديدة الناتجة فى قلب المفاعل والتى يحدث عنها تفكك لجزيئات الماء بتفاعل كيميائى حرارى إلى هيدروجين وأكسجين. إلا أن التخلص من النفايات الذرية تمثل صعوبة لا تقل عن صعوبة التخلص من ثانى أكسيد الكربون .

طرق نقل الهيدروجين من مواقع الإنتاج إلى محطات التوزيع :

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

فى الدول التى بها مصادر للطاقة المتجددة مثل الكتل الحيوية والرياح والطاقة الشمسية يمكنها الحصول على الهيدروجين بسهولة بواسطة التحليل الكهربى. إلا أن المشكلة تقع فى طريقة نقله من مكان إنتاجه إلى حيث يمكن استخدامه. فى 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 بفزورة 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 فى الشوارع .

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

قد قدرت شركة جنرال موتورز عدد المحطات المطلوبة لتموين مليون سيارة كدفعة أولى ١٢٠٠٠ محطة فى المدن والطرق السريعة، كل منها يكلف مليون دولار بما فى 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 التقليدى سنجد أن تكلفة البنية التحتية وسعر الوقود فى الثلاثين سنة القادمة لمنطقة شمال أمريكا على سبيل المثال تصل إلى ١,٣ تريليون دولار، نصفها سيدفع للدول المنتجة للبترول ليستغل الجزء الأكبر منه فى أعمال التنقيب والاستخراج، وحوالى ٣٠٠ بليون ستنفق على أعمال التقطير وإنشاء أنابيب نقل

البترول 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 يصـــل 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 الشىء 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 البترولى 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 إنشـــاء شبكة لنقل الهيدروجين :

فى بداية عام ٢٠٠٥ تم افتتاح محطة تجريبية لإمداد السيارات بالهيدروجين فى لاثام – نيويورك Latham N.Y وهى محطة ملحقة بمحطة لتزويد السيارات بالجازولين، 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

مصفوفات من خلايا الوقود تستخدم فى إنارة المبنى الرئيسى للمحطة، كما تتم تدفئته بالحرارة الخارجة من تلك المصفوفات .

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 الكربون بتلويث الجو مما ينتج عنه ارتفاع درجة حرارة الأرض. فاستخراج الهيدروجين من الميثان أو الغاز الطبيعى أو المثانول يؤدى إلى تصاعد غاز ثانى أكسيد الكربون، ولابد 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 الكيميائية 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 .

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

مقدمة : فى مساء ١٤ أغسطس عام ٢٠٠٣ انقطع التيار الكهربائي 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 .

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

ومن مساوئ الشبكة الحالية أنها لا تتمشى مع المتطلبات التكنولوجية التى ستسود فى القرن الواحد والعشرين، وما سينتج عنها من ازدياد كبير فى استهلاك الكهرباء والانتقال من محطات لتوليد الكهرباء تعمل بالوقود الكربونى إلى نوع آخر من المحطات ووسائل نقل تعمل بأنواع أخرى من الوقود؛ لا يؤدى إلى زيادة غاز ثانى أكسيد الكربون فى الجو .

ومن غير الممكن رفع الجهد الكهربائى فى الشبكة الحالية إلى مليون فلط مثلاً لكى تزيد من الطاقة المحمولة عبر هذه الشبكة؛ لأن الارتفاع إلى مثل هذا الجهد سيؤدى إلى جعل المجال الكهربى الشديد يمزق المواد العازلة لهذه الكابلات فتحدث شوارات كهربائية فى العديد من المناطق،كما ترتفع درجة حرارة الأسلاك مما يؤدى إلى ارتخائها وملامستها للأشجار والمبانى المرتفعة فتحدث حرائق فى أماكن متعددة .

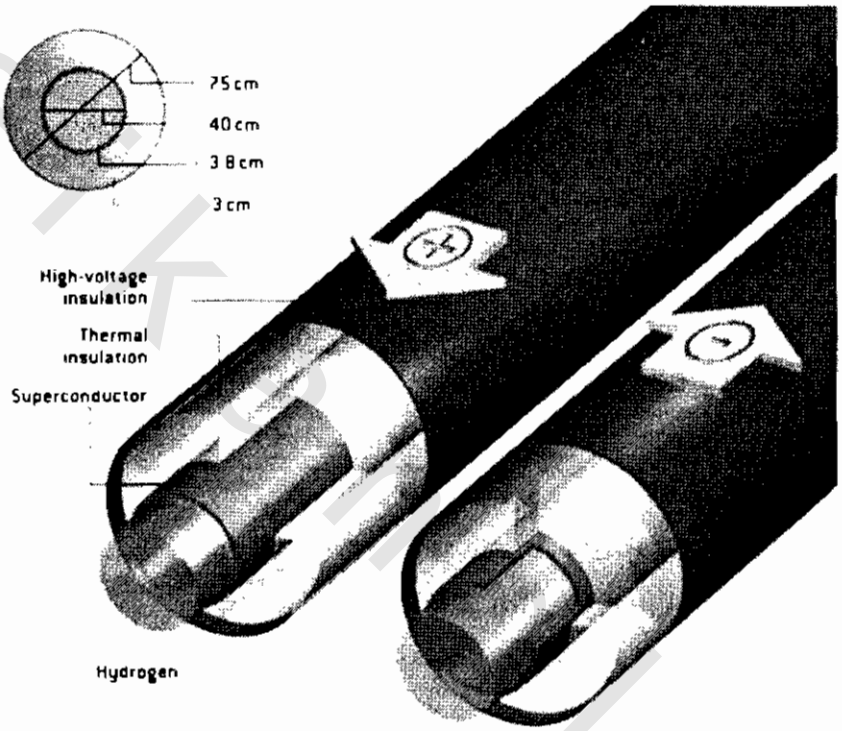
من الواضح الآن عدم إمكانية أن تقوم الشبكة الكهربائية بوضعها الحالى بإمداد وسائل النقل المهجنة hybrid cars التى تقطع جزءاً من رحلتها باستخدام الكهرباء والجزء الآخر باستخدام الجازولين فى محرك الاحتراق الداخلى، هذا مع العلم أن الكهرباء التى يمكن إضافتها من مصادر الطاقة المتجددة مثل طاقة الريح والمساقط المائية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

الكابلات فائقة التوصيل وشبكة جديدة لعصر جديد :

ظاهرة التوصيل الفائق اكتشفها العالم الهولندى كامرلنج أنس عام ١٩١١، فقد لاحظ أنس أن بعض الفلزات عندما تبرد لدرجات حرارة منخفضة جدًّا 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 تكنولوجيًّا إلا منذ وقت قريب عندما استخدمت فى تبريد الأسلاك المتصلة بأجهزة الرنين المغناطيسى ومُعجِّلات الأجسام النووية ولتغذية المغناطيسات ذات المجال المغناطيسى الذى يفوق ٤ تسلا والتى تحتاج إلى تيار كهربائى شديد، كما استخدمت فى الترانسفورمرات والموتورات والمولدات التى تمر فيها تيارات كهربائية كبيرة .

فى الوقت الحالى 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؛ لكى تزيد من قدرتها على تحمل زيادة الأحمال المتوقعة، كما أنها ستقوم كذلك بنقل الهيدروجين من أجل استخدامه فى السيارات التى من المنتظر أن تعمل بخلايا الوقود وذلك خلال الأنابيب التى تحيط بالكابلات التى تحمل الكهرباء وتقوم بتبريدها بحيث تصل إلى حالة التوصيل الفائق كما فى 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 كهربية وطاقة كيميائية. القدرة الكهربائية تنتقل بدون مقاومة كهربية خلال الأنبوبة المصنوعة من مادة فائقة التوصيل. ويسحب الهيدروجين السائل داخل تلك الأنبوبة المصنوعة من المادة فائقة التوصيل فيبردها إلى درجة ٢٠ كلفن لكى تصبح فائقة التوصيل. الكابل فائق التوصيل عبارة عن زوج من الكابلات قطر كل منها حوالى متر يمكنه نقل قدرة تصل إلى خمسة جيجاواط و ١٠ جيجاواط من الطاقة الحرارية .

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

تبدو فكرة الشبكة فائقة التوصيل شيئاً غير عملى، إلا أنه فى حقيقة الأمر قد تمكن العلماء فى شركة IBM عام ١٩٦٧ من نشر بحث أجروه على كابل طوله ١٠٠٠ كيلو متر مصنوع من مادة النيوبيم – قصدير Niobiumtin يمكن تبريده بواسطة الهيدروجين السائل ليصبح فائق التوصيل للكهرباء، أى أن مقاومته للتيار الكهربائى تصبح قريبة من الصفر ومن ثم يمكنه أن يحمل تياراً مستمراً DC current فائق الشدة بحيث ينقل قدرة كهربائية تصل إلى ١٠٠ جيجاواط، وهى القدرة التى 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 الممثلة 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 الأوربى 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 كيلوفلط 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
hydricity

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

فى الوقت الحالى قامت شركتا مازدا و BMW بعرض سيارات مهجنة hybrid cars تستخدم الهيدروجين والجازولين، أى أنها بها تنكان أحدهما للهيدروجين والآخر للبنزين، فعندما ينفد الهيدروجين تواصل السيارة رحلتها باستخدام البنزين. وفى نوع آخر من السيارات المهجنة تستخدم بطاريات الوقود التى تنتج الطاقة الكهربائية من غازى الهيدروجين والأوكسچين إلى جانب وقود الجازولين أو الغاز الطبيعى، أى أنها تقطع جزءاً من الرحلة مستخدمة موتور يعمل بالكهرباء وباقى الرحلة بموتور احتراق داخلى يعمل بالبنزين .

ومن المعروف أن موتور الاحتراق الداخلى لا تزيد كفاءته عن ٣٠ ٪، أما السيارات التى تستخدم خلايا الوقود وموتور 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. وبنقل 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 مميزاتها أيضاً أنها تسمح باستغلال الطاقة الكهربائية الناتجة عن مصادر الطاقة المتجددة مثل طاقة الريح والمد والجزر وضوء الشمس. ومحطات الطاقة المتجددة هذه يمكنها أن تضخ الهيدروجين فى الشبكة بدلاً من الكهرباء عن طريق تحليل الماء كهربيًا إلى هيدروجين وأكسچين، 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 فلابد 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 ميجاجول. وهذه الزيادة المضطردة تجعل من الضرورى إيجاد شبكة جديدة لكى يمكن الوفاء بالزيادة المضطردة فى الطلب على الطاقة الكهربائية والتى قد تصل إلى ٤٠٠ جيجاواط فوق الطاقة المستخدمة حالياً. وشبكة الجهد الفائق قد وصلت حالياً إلى مليون فلط 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 .

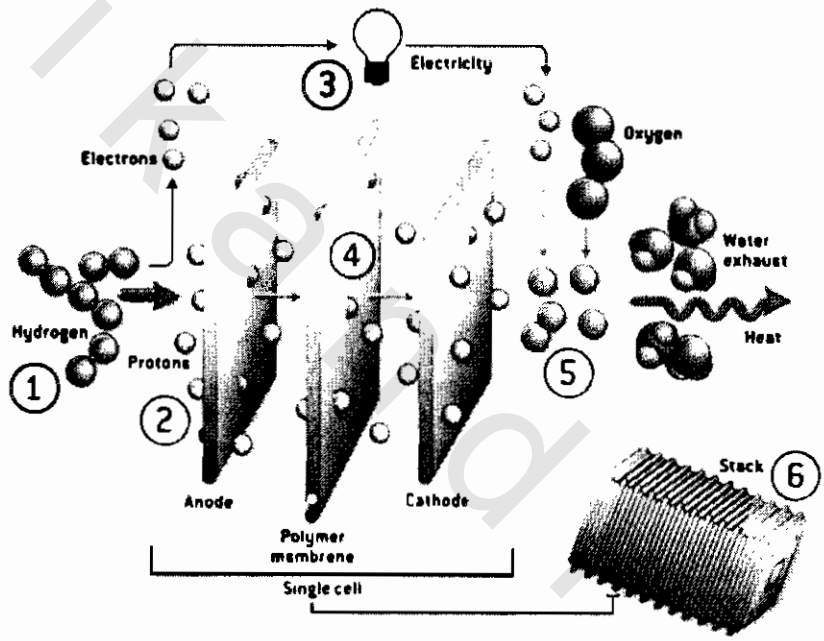
لهذه الأسباب أصبح من الضرورى عمل شبكة جديدة فائقة التوصيل يمكنها أن تحمل مئات الجيجاواط ونقلها عبر مسافات طويلة حيث توجد محطات توليد الكهرباء إلى مناطق الاستهلاك .

إنتاج الكهرباء من الهيدروجين عن طريق خلايا الوقود

Fuel Cells

التطوير الذى حدث فى خلايا الوقود المنتظر استخدامها فى سيارات الهيدروجين :

خلايا الوقود المنتظر استخدامها فى السيارات التى تعمل بالهيدروجين مبينة فى شكل (١٧) فى 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 الذى سبق ذكره، أى نقل الشحنات الكهربائية وكحاجز لمنع اختلاط وقود الهيدروجين والأوكسجين .



شكل (١٧) خلية وقود. خلية الوقود تولد الكهرباء طالما نمدها بغازى الهيدروجين والأوكسجين. والخلية ذات الغشاء البروتونى (PEM) بها كاثود وآنود مفصولان بواسطة غشاء بوليمرى إلكتروليتى Polymer membrane electrolyte ويغطى أحد سطحى كل من الآنود والكاثود بمادة بلاتينية محفزة. عندما تدخل ذرات الهيدروجين فى الخلية (١) يقوم المنشط على سطح الآنود بفصل الإلكترون من الذرة تاركاً البروتون (٢) يتحرك الإلكترون فى الوصلة الخارجية ليحرك الموتور (٣) بينما البروتون يمر خلال غشاء المبادل البروتونى (٤) متجهاً نحو الكاثود (٥) يقوم المحفز الذى على سطح الكاثود بجمع البروتون مع الإلكترون العائد من الوصلة الخارجية مع ذرة الأوكسجين الداخل فى الخلية من الهواء معطياً جزىء ماء وطاقة حرارية (٦) تجمع العديد من الخلايا فى مصفوفة Stack لإعطاء الفلط المطلوب .

وتتولد الكهرباء داخل الخلية عن طريق انتزاع الإلكترونات من ذرات الهيدروجين عند سطح الآنود وهو مغطى بطبقة محفزة تساعده على إتمام تلك العملية. أما البروتونات التى تمثل أيونات الهيدروجين الموجبة التكهرب فإنها تنفذ من خلال الغشاء الإلكتروليتى لتتحد بالأوكسجين وإلكترونات لتكون جزيئات الماء ويتم ذلك فى منطقة الكاثود المغطى بطبقة من المحفز. والماء هو المادة الوحيدة التى تتكون نتيجة تولد الكهرباء فى الخلية كما فى شكل (٣). وتُجمَّع خلايا الوقود على شكل حزم Stacks أو مصفوفات متصلة ببعضها على التوالى والتوازى بحيث تعطى الجهد والقدرة المطلوبة، حيث إن كل خلية تعطى جهداً كهربيًّا مقداره ١,٢ فلط. ويمكن تمثيل التفاعل الذى يتم داخل خلية الوقود بالمعادلة الكيميائية التالية :

$$2H^+ + 1/2\ O_2 + 2e \rightarrow H_2O + 286931\ KJ/Kg\ mol\ H_2 \quad (٢)$$

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

ويعتمد ظهور سيارة خلايا الوقود بحلول عام ٢٠١٥ فى المقام الأول على التقدم الذى يمكن إحرازه فى صناعة غشاء التبادل البروتونى PEM، وتمثل تكلفة إنتاجه ٣٥ ٪ من إجمالى ثمن خلية الوقود، ومن التحسينات الواجب إضافتها على هذا الغشاء ما يتمثل فى عدم السماح بمرور الهيدروجين خلال الغشاء وزيادة استقراره الكيميائى والميكانيكى وقوة تحمله وزيادة عدم تأثره بالشوائب الموجودة فى وقود الهيدروجين مثل أول أكسيد الكربون، وبنواتج التفاعلات الكيميائية غير المرغوب فيها مثل تكون بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2 hydrogen Peroxide، والعمل كذلك على خفض تكلفة سعر مصفوفات تلك الخلايا .

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

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

البحـوث التي تجـرى علـى المـواد المحفزة لخلايا الوقود :

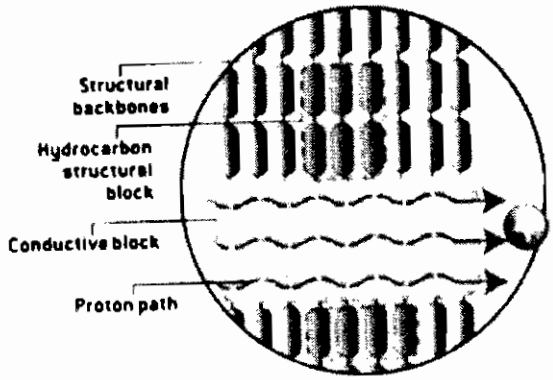
العامل الثانى لتحسين أداء غشاء تبادل البروتونات PEM هو المحفز البلاتينى الذى يغطى أحد سطحى كل من الكاثود والآنود على شكل طبقة رقيقة ويمثل ثمنه ٤٠ ٪ من سعر مصفوفة الخلايا، مهمة هذا المحفز هى تنشيط عملية اتحاد الهيدروجين والأوكسجين وتكوين الماء وانطلاق الطاقة على شكل قوة دافعة كهربية من خلية الوقود كما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

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

ونظراً لارتفاع سعر البلاتين الداخل 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 البلاتين .

مصفوفات خلايا الوقود والتجمد :

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 .



شكل (١٨) الغشاء الهيدروكاربونى Hydrocarbon يبقى مدة أطول وأقل سمراً من النوع الفلوروكاربونى Fluorocarbon ويعطى طاقة أكثر. وتزعم شركة بولى فويل Poly Fuel أنها تضع 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 الهيدروكاربونى .

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. ومصفوفات 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 الطبيعى أو الميثانول أو الجازولين. وعندما تنتشر السيارات التى تعمل بخلايا الوقود يمكن لوحدات 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 فى السيارات التى تستخدم خلايا الوقود يمكن أن تصير مصدراً من مصادر الطاقة التى تغذى شبكة الكهرباء فى ساعات الذروة. فمعظم السيارات لا تتحرك ٩٠ ٪ من الوقت وتظل واقفة فى 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 فى هذه السيارات تعادل القدرة الكهربائية فى شبكة الولاية .

obeikandl.com