وقود الهيدروجين

د. حسن بن عبد العزيز أباعود
م. غازي بن نجيخان المطيري

أصبح موضوع الطاقة جزءاً أساسياً في سياسات معظم الدول خصوصاً الدول الصناعية المتقدمة ، حيث تبنت أكثرها ما يسمى بـ" سياسات الطاقة " والتي تتضمن قراءة فاحصة لتنوع وتوفر، وتقويم مصادر الطاقة المحلية والمستوردة، واستغلالها الاستغلال الأمثل، وتوعية مجتمعاتها المدنية والصناعية بطرق ترشيدها، مع استشراف وتبني بدائل أو ردائف تقنيات ومصادر الطاقة الممكنة للمدى القريب والمتوسط والبعيد، وذلك عن طريق دعم وتحفيز عملية البحث والتطوير .

تتعامل هذه السياسات مع مصطلحات ومفاهيم مترابطة مع بعضها مثل مصطلح الطاقة، والبيئة، والاقتصاد (Energy - Environment - Economy)، و كذلك مفهوم استدامة الطاقة (energy sustainability) والذي يشتمل على عدد من المهام من ضمنها العمل على إطالة عمر الوقود التقليدي مثل النفط والغازالطبيعي . فعلى سبيل المثال: كوّن الرئيس الأمريكي **جورج دبليو بوش** خلال الأسبوع الثاني من توليه الرئاسة مجموعة وطنية للخروج بسياسة وطنية متكاملة للطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية ترتكز على مايلي :

١ـ أن تكون طويلة المدى وذات استرتيجية شاملة.

٢ـ أن تساهم في تقديم تقنيات جديدة ونظيفة لغرض زيادة امدادات الطاقة بكفاءة عالية.

٣ـ أن تضمن ارتقاء مستوى معيشة الفرد الأمريكي وذلك بضمان ترابط سياسات الطاقة والبيئة والاقتصاد بشكل متكامل .

كما أن هناك خمسة أهداف محددة تسعى السياسة الأمريكية المقترحة إلى تحقيقها ؛ وهي :

١ـ ترشيد استهلاك الطاقة .

٢ـ تحديث وتوسيع البنية الأساسية للطاقة.

٣ـ زيادة امدادات الطاقة.

٤ـ حماية وتحسين البيئة .

٥ـ زيادة أمن الطاقة.

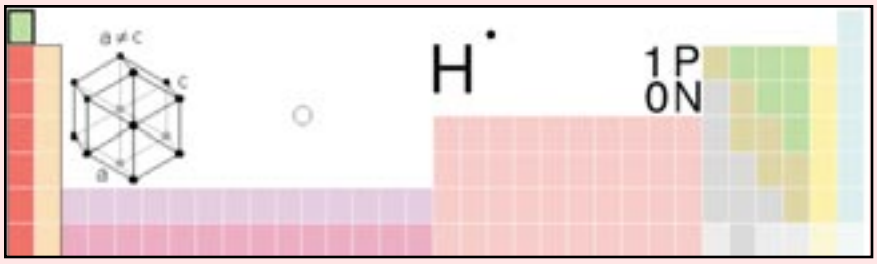
تعد طاقة الهيدروجين أحد خيارات الطاقة الجديدة والنظيفة والذي يحظى بأهمية خاصة، ليس في الولايات المتحدة وحدها ، بل أصبح خياراً شبه عالمي ، حيث لايكاد مركز أبحاث عالمي يتخلى عن البحث في مجاله : إنتاجاً أو حفظاً أو استخداماً ، خصوصاً أنه مرتبط أساساً بتقنية خلايا الوقود، التي تحظى ـ كذلك ـ باهتمام عالمي و تعد المجال المتاح حالياً لتطبيق طاقة الهيدروجين.

ساهم الاهتمام الشديد بالهيدروجين كوقود لإنتاج الطاقة، في إنشاء الجمعيات والدوريات العلمية والندوات والمؤتمرات المتخصصة، فضلاً عن الدعم الذي يقدمه بعض الساسة ودعاة حماية البيئة وتجمعات أصحاب المصالح الخاصة. ولعله من المناسب إلقاء بعض الضوء على وقود الهيدروجين كمصدر طاقة واعدة : تعريفه، وخصائصه، وطرق إنتاجه، وحفظه، و استخداماته.

خصائص الهيدروجين

يتصدر عنصر الهيدروجين (H) قائمة العناصر الكيميائية في الجدول الدوري، شكل (١)، ولذلك فإن ذرة الهيدروجين تعد أخف ذرة في العناصر الكيميائية حيث تحتوي على إلكترون واحد سالب الشحنة وبروتون واحد موجب الشحنة . وحتى يمكن للهيدروجين أن يستقر كيميائياً فإنه لابد أن يكسب إلكتروناً واحداً لتصل عدد إلكتروناته الخارجية إلى عدد إلكترونات ذرة الهيليوم (He) العنصر المستقر الذي يليه في الترتيب الدوري، ولذلك تتحد ذرتا هيدروجين برابطة تساهمية أحادية بسيطة (Simple Covalen bond) لتكوين جزئي الهيدروجين (H-H) ، وهي الصيغة التي يوجد فيها غاز الهيدروجين (H_2) في الطبيعة.

يعد الهيدروجين أكثر العناصر وفرة في الكرة الأرضية، إذ يمثل حوالي ٧٥٪ من مواد الكتلة الأرضية ، ومن النادر أن يوجد

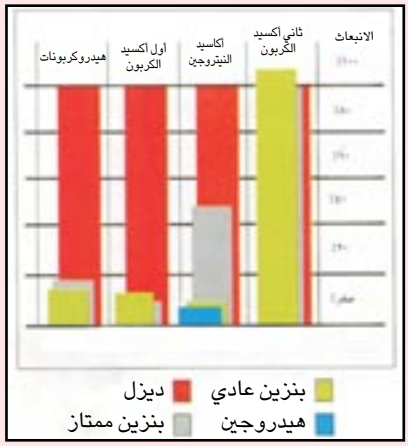


● شكل(١) موقع الهيدروجين في الجدول الدوري.

حراً وإنما يكون متحداً مع بعض العناصر ، فمثلا تتحد ذرتا هيدروجين مع ذرة واحدة من الأكسجين لتكون جزيء الماء (H_2O) .

يتواجد الهيدروجين تحت ظروف الضغط والحرارة القياسية كغاز عديم اللون والرائحة، وتبلغ درجة غليانه ٢٠،٢٧ كلفن (-٢٥١،٧مْ) . من جانب آخر فإنه تحت ظروف الضغط المنخفض كالتي في الفضاء يتواجد على شكل ذرات حرة (H) لعدم توفر ظروف المناسبة لاتحادها لتكوين (H_2)، وله العديد من النظائر أهمها الديوتيريوم (^2_1H) والتريتيوم (^3_1H) ، وهو سريع الاشتعال حتى عند وجوده في تركيزات قليلة، وله شعلة نظيفة لاترى، لذلك فإنه من الصعب ملاحظة احتراقه، وعليه تعمد بعض مصانع الغاز إلى إضافة بعض المواد إليه من أجل إضفاء لون مرئي لشعلته. ينتج عن اشتعال الهيدروجين والأكسجين تكوين الماء ، لذلك فإنه يتميز بقلة العوادم الضارة الناتجة عن احتراقه مما يجعله " صديق البيئة " . ويوضح الشكل (٢) نقاوة عوادم السيارات التي تستخدم الهيدروجين كوقود مقارنة بعوادم بعض أنواع الوقود الأخرى.

ومن خصائص الهيدروجين الإيجابية: أن كمية الطاقة التي ينتجها بالنسبة لوحدة الوزن من الوقود تساوي تقريباً ثلاثة أضعاف الطاقة التي ينتجها نفس الوزن من البنزين، وحوالي سبعة أضعاف الطاقة



● شكل (٢) نسبة نقاوة عوادم الهيدروجين مقارنة بعوادم بعض أنواع الوقود الاخرى

المادة	الطاقة بملايين (جول/كلجم)
هيدروجين	١٢١
ميثان	٥٦
بنزين السيارات	٤٧
بترول خام	٤٥
زيت وقود	٤٣
فحم	٢٣
حطب	١٦

● جدول (١) الطاقة المستخرجة من بعض المصادر الهيدروكربونية والهيدروجين

المنتجة من الفحم، جدول (١) .

من جانب آخر يوجد للهيدروجين بعض الخصائص السلبية التي تحد من تبنيه كمصدرمن مصادرالطاقة المعتمدة في عالم اليوم، ومن هذه السلبيات أن الهيدروجين لا يعد مصدراً أولياً للطاقة كالغاز الطبيعي، ولكنه يعد مصدراً ثانوياً أو حاملاً للطاقة ، فهو ينتج أو يستخلص من مصادر أخرى ، ناهيك عن متطلبات السلامة الحذرة عند التعامل معه في مراحل إنتاجه وحفظه ونقله واستخدامه.

إنتاج الهيدروجين

ينتج الهيدروجين حالياً ـ في معظمه ـ من مصادر الطاقة الأحفورية مثل النفط والغاز الطبيعي، والفحم ، ومصادر أخرى، وتقدر نسبة إنتاجه من هذه المصادر بحوالي ٥٠٪ من النفط، ٣٠٪من الغاز الطبيعي ، و١٥٪ من الفحم و ٥٪ من مصادر أخرى .

ويتم إنتاج الهيدروجين من المصادر المذكورة بعدد من التقنيات المعروفة والمستخدمة في الصناعة ، التي يمكن تفصيلها فيما يلي :-

● الهيدروجين من النفط

يتم إنتاج الهيدروجين من النفط بواسطة تقنية التكسير الحراري المباشر للوقود الهيدركربوني ، حيث تمتاز هذه الطريقة بعدم انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون .

● الهيدروجين من الغاز الطبيعي

يتم إنتاج الهيدروجين من الغاز الطبيعي بعدد من التقنيات المعروفة، من أهمها :

* **إعادة التشكيل ببخار الماء:** ويتم فيها تفاعل الغاز الطبيعي ـ أغلبه غازالميثان ـ مع بخار الماء فينتج أول أكسيد الكربون والهيدروجين، وذلك وفقاً للمعادلة التالية:

$$CH_4 + H_2O \longrightarrow CO+3H_2$$

* **الأكسدة:** وفيها يتم تمرير الهواء(الأكسجين) على الغاز الطبيعي لينتج ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين، وذلك وفقا للمعادلة التالية:

$$CH_4+O_2 \longrightarrow CO_2+2H_2$$

● الهيدروجين من الفحم

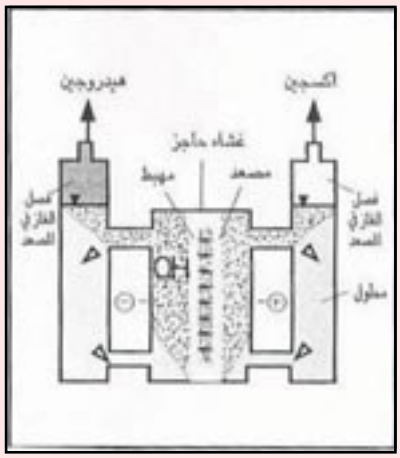
يتم إنتاج الهيدروجين بتحويل الفحم إلى غاز، ثم استخلاص الهيدروجين من الغاز، إما بواسطة إعادة الشكيل ببخار الماء، وإما بواسطة الأكسدة المذكورتين أعلاه .

الجدير بالذكر أن تكلفة إنتاج الهيدروجين من الوقود الأحفورى بالتقنيات المذكورة أعلاه تتراوح ما بين٦ إلى١٤ دولاراً للقيقا جول (GJ)، ومن الملاحظ أن طرق إنتاج الهيدروجين المذكورة تعتمد على مصادر الطاقة الأحفورية، فضلاً عن ذلك فان استخدام أى من الغاز الطبيعي أو الفحم يزيد من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يضر بالبيئة، وعليه فإن استخدام تقنية التكسير الحرارى للوقود الكربونى (النفط) تعد الطريقة الأنسب لإنتاج الهيدروجين.

● تقنيات أخرى

هناك عدة تقنيات قيد البحث لإنتاج الهيدروجين ، ولكنها لم تطبق على المستوى الصناعى، ومن أهم تلك التقنيات مايلى:

* **التحليل الكهربائى للماء:** وهى تقنية معروفة ومطبقة عملياً لإنتاج هيدروجين بكميات قد تصل إلى ألاف الأمتار المكعبة في الساعة، ولكنها مكلفة حيث تصل تكلفة إنتاج مايوازى القيقا جول (GJ) عشرين دولاراً أمريكياً عندما تكون تعرفة الكهرباء ٥ سنتات للكيلوات وات.ساعة. وتعتمد هذه



● شكل (٣) خلية كهروكيميائية لتحليل الماء.

التقنية على استخدام نظم التحليل الكهروكيميائي أو ما يسمى بالمحللات الكهروليتية. وتتكون المحللات الكهروليتية بشكل عام من سلسلة من الخلايا الكهروكيميائية، وتحتوي كل خلية على قطبين مصنوعين من فلزات معينة مثل النيكل. ويفصل بين القطبين غشاء، ويتواجد الماء في كل خلية ، حيث يضاف له مادة قلوية مثل هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) بنسبة تركيز تصل إلى حوالي ٣٠٪، وذلك لزيادة كفاءة التحليل الكهروكيميائي . يوضح الشكل (٣) خلية كهروكيميائية لتحليل الماء .

يتم إنتاج غاز الهيدروجين عند مرور التيار الكهربائي في المحلل وفق عملية التفاعلات التالية :

(١) $2H_2O + 2e \longrightarrow H_2 + 2OH$

(٢) $2OH \longrightarrow 0.5\ O_2 + H_2O + 2e$

(٣) $H_2O \longrightarrow H_2 + 0.5\ O_2$

حيث تمثل المعادلة (١) التفاعل في المهبط، وتمثل المعادلة (٢) التفاعل في المصعد، بينما تمثل المعادلة (٣) التفاعل النهائي.

يعمل الغشاء الحاجز على فصل غاز الهيدروجين عن غاز الأكسجين ، وبعد ذلك يتم تخزين كل غاز على حدة، وبذلك يمكن، استخدام الهيدروجين الناتج من الماء مصدراً للطاقة .

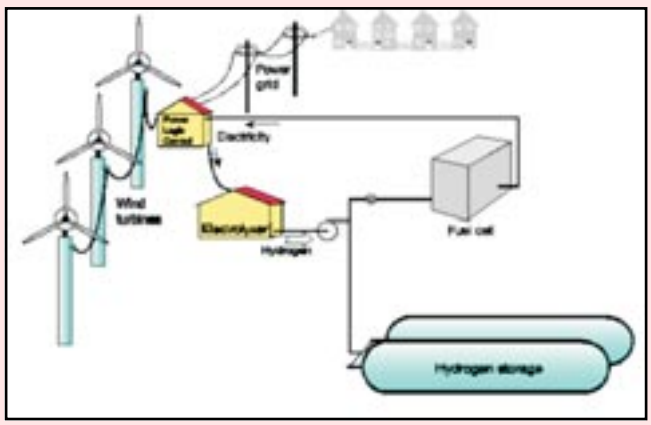
تقوم بعض الدول باستخدام الكهرباء الفائضة عن حاجتها لإنتاج الهيدروجين بهذه التقنية ، حيث يتم استخدام الطاقة الكهربائية الناتجة من المصادر المتجددة وربطها بالمحللات الكهروكيميائية لإنتاج الهيدروجين . ويبدو أن هذه العملية جذبت انتباه الباحثين نظراً لاقتصاديتها المستقبلية، فهي تمكّن من حفظ الطاقة وتحولها إلى مصدر آخر لأغراض متعددة. وقد قطعت الأبحاث في هذا المجال شوطاً بعيداً بهدف إيجاد طرق حديثة ورفع كفاءة الطرق المستخدمة حالياً، ومن هذه الطرق تحويل الأشعة الشمسية إلى طاقة كهربائية باستخدام نظم الخلايا الكهروضوئية التي تقوم بمد المحللات الكهروكيميائية بالتيار الكهربائي المستمر (Direct Current - DC).

الجدير بالذكر أن معهد بحوث الطاقة **بمدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية** قد قام في مرحلة سابقة بتنفيذ مشروع بحثي مشترك مع ألمانيا تم خلاله تصميم وإنشاء وتشغيل محطة تجريبية لإنتاج الهيدروجين بالطاقة الشمسية بقدرة ٣٥٠ كيلو وات في موقع القرية الشمسية بالعيينة، وكان المشروع ناجحاً إلا أن هذه التقنية لاتزال مكلفة . وقد تكون ذات جدوى اقتصادية في المستقبل، خصوصاً للبلدان التي تحظى بأشعة شمس ومياه وافرة .

وفي نطاق استخدام مصادر الطاقات المتجددة لإنتاج الهيدروجين فإن طاقة مساقط المياه هي الأخرى تستقطب اهتمام الباحثين لاستثمارها في عملية إنتاج الهيدروجين اعتماداً على نفس مبدأ استخدام الطاقة الشمسية، خصوصاً خارج وقت ذروة استهلاك الطاقة الكهربائية ، ويبدو أن بعض الدول مثل كندا لديها حظ وافر لتفعيل هذه التقنية، نظراً لتوفر مساقط المياه لديها .

كذلك تعد طاقة الرياح أحد مصادر الطاقة المتجددة و أسرعها نمواً حيث يبلغ نموها السنوي ٢٧ ٪، مما يعني أن السعة المركبة لمحطاتها تتضاعف كل ثلاث سنوات. وتبلغ القدرة الكهربائية للمحطات التي تم إنشاءها حتى نهاية عام ٢٠٠١ م. حوالي ٢٥٠٠٠ ميقا وات. وفي بعض المناطق أصبحت تكلفة إنتاج الكهرباء بتقنية نظم طاقة الرياح تنافس إنتاج الكهرباء بالطرق التقليدية حيث تبلغ تكلفة الإنشاء ١٠٠٠ دولار أمريكي للكيلو وات، مما يتيح خفض قيمة الكهرباء المنتجة إلى ما دون ٤ سنت للكيلوات.ساعة. وفي المواقع التي تحظى بمصادر جيدة من الرياح فإن هذه التكلفة تؤهل طاقة الرياح للمنافسة في عملية إنتاج الهيدروجين. يبين الشكل (٤) مخطط لنظام ربط طاقة الرياح مع نظام إنتاج الهيدروجين و استخدامه.

ونظراً لتغيرات شدة التيار الكهربائي المتعاقبة المنتج من مصادر الطاقة المتجددة والتي تؤثر سلباً على أداء المحللات الكهروكيميائية ، فإن المصنّعين يعكفون على إنتاج محللات مطورة ومتقدمة تستجيب لهذه التغيرات وذات كفاءة عالية تصل إلى ٩٠ ٪ .



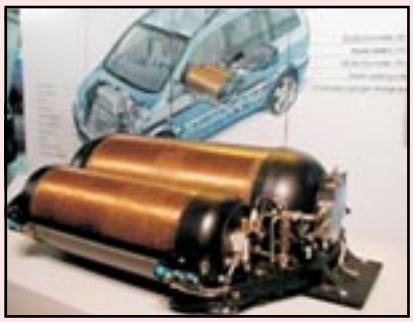
● شكل (٤) مخطط لنظام ربط طاقة الرياح مع نظام إنتاج الهيدروجين.

وينبغي الاشارة إلى أن مقدار الطاقة المطلوبة لإنتاج الهيدروجين تكون دائماً أعلى من الطاقة التي يمكن الحصول عليها عند استخدام الهيدروجين كمصدرطاقة.

حفظ الهيدروجين

يمكن حفظ الهيدروجين كغاز مضغوط أو كسائل، كما يمكن حفظه بطرق كيميائية أو فيزيائية مع مواد أخرى مثل هيدريدات الفلزات. تحفظ الكميات الكبيرة من الهيدروجين ـ عادة ـ تحت الأرض في حقول النفط والغاز الناضبة والكهوف الناتجة من مناجم التعدين. تبلغ تكلفة أنظمة تخزين الهيدروجين ثلاثة أضعاف تكلفة نظام تخزين الغاز الطبيعي لنفس مقدار محتوى الطاقة ؛ وذلك بسبب تدني المحتوى الحراري للهيدروجين بالنسبة للحجم . وتطبيقاً لهذا النظام تقوم شركة الغازالوطنية الفرنسية بتخزين الهيدروجين المنتج كمادة ثانوية من إحدى المصافي في طبقات صخرية . كما تقوم شركة أمبيريل البريطانية للصناعات الكيميائية بحفظ الهيدروجين في مناجم الملح. وباستخدام هذا النظام يفقد الهيدروجين مابين ١ إلى٣٪ من كميته سنوياً . يحفظ الهيدروجين على الأرض مضغوطاً في أسطوانات، شكل (٥)، يبلغ حجمها القياسي ٥٠ لتر وضغطها ٢٠٠ بار، وقد طورت هذه الصهاريج لاستخدامها كخزانات هيدروجين للسيارات والحافلات التجريبية التي تستخدم

● شكل (٥) تخزين الهيدروجين في اسطوانات.



● شكل (٦) عينات خزانات الهيدروجين في المركبات.

الهيدروجين كوقود. وتتميزهذه الخزانات بكفاءة تخزين عالية حيث تبلغ ٠,٠٥ كيلو جرام من الهيدروجين لكل كيلوجرام من الوزن الكلي. يوضح الشكل (٦) أحد عينات خزانات الهيدروجين في المركبات .

تتطلب عملية تحويل الهيدروجين إلى سائل طاقة مكثفة تقدر تقريباً بثلث مقدار طاقة الهيدروجين المسال المراد تخزينها. وعادة يتم استخدام الهيدروجين المسال للمهام التي تتطلب كثافة تخزين عالية مثل متطلبات استخدام الهيدروجين في الفضاء (المركبات الفضائية)؛ لذلك فإن عملية حفظ الهيدروجين كسائل محدودة جداً.

يمكن للهيدروجين أن يتحد مع بعض الفلزات والسبائك لتكوين هيدرات، حيث تنفصل جزيئات الهيدروجين وتتمكن ذراته من الولوج والاستقرار داخل فراغات شبكيات الفلزات أو السبائك المناسبة . وقد استخدمت هذه الخاصية لخزن الهيدروجين، حيث أمكن الحصول على كثافة تخزين تقدر بحوالي ٠٧, كيلو جرام من الهيدروجين لكل كيلوجرام من هيدرايد المغنيسيوم (MgH_2). وتتميز تقنية حفظ الهيدروجين بالهيدرايد أنها أكثر سلامة من الطرق الأخرى. تجدر الإشارة إلى أنه خلال عملية التخزين هذه تنبعث كمية من الحرارة، وعند الرغبة في استرجاع الهيدروجين المخزون ينبغي توفير مصدر حراري يقوم بتسخين الخزان.

وهناك العديد من الطرق المبتكرة ذات كثافة تخزين أعلى من الطرق التقليدية المذكورة لخزن الهيدروجين يجري دراستها واختبارها مثل استخدام أنابيب الكربون المتناهية الصغر (nano carbon tubes).

استخدامات الهيدروجين

يستخدم الهيدروجين في كثير من الصناعات مثل صناعة النشادر (الأمونيا)، والميثانول وهدرجة الزيوت، وتصنيع الأحماض، وفي عملية تبريد المولدات الكهربائية. وتبلغ كمية الهيدروجين المستهلكة ـ حالياً ـ حوالي ٤٠٠ بليون متر مكعب سنوياً ، وتتلخص نسب استعماله في الصناعات كالتالي:

٤٧ ٪ النشادر .

٤١ ٪ البتروكيميائيات.

٥ ٪ الميثانول .

٤ ٪ المعادن .

٣ ٪ صناعات أخرى.

● الهيدروجين كوقود

يقتصر استخدام الهيدروجين كوقود في المركبات الفضائية ، مع إمكانية استخدامه في تطبيقات عديدة مثل: المحركات بأنواعها، وتوليد الكهرباء، والتوليد الحراري بالاحتراق الحفزي . وتعد خلايا الوقود أحد التقنيات الواعدة لتطبيقات الهيدروجين واستخدامها لأغراض متعددة . يوضح الشكل (٧) سيارة تجريبية تستخدم الهيدروجين وقوداً .

كما يمكن الحصول على طاقة حرارية عالية عن طريق احتراق الهيدروجين مباشرة

● شكل (٧) سيارة تجريبية تستخدم الهيدروجين وقوداً.

● شكل (٨) مولد أكسجين / هيدروجين بخاري.

مع الهواء، وتطبيقاً لهذا المبدأ قام مركز الفضاء الألماني (DLR) بتصميم واختبار مولد أكسجين/هيدروجين بخاري بسعة ٢٥ ميقاوات بكفاءة تصل إلى ٩٩ ٪، وذلك لتوليد الكهرباء وقت الذروة ولفترات قصير. ويوضح الشكل (٨) صورة لهذا المولد.

تستخدم آلات الاحتراق الداخلي في تحويل طاقة الوقود الكيميائية إلى طاقة حركية تستغل مباشرة في عملية تسييرالكثير من وسائل النقل كالسيارات، بالإضافة إلى محطات توليد الطاقة الكهربائية ذات القدرات الصغيرة .

ويعد الهيدروجين وقوداً جيداً لآلات الاحتراق الداخلي،حيث تفوق كفاءته كفاءة البنزين بنسبة ٢٠ ٪ . وتجدر الإشارة إلى أن معهد بحوث الطاقة **بمدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية** له محاولات ناجحة في تعديل آلة احتراق داخلي

● شكل (٩) آلة أحتراق داخلي تعمل بالهيدروجين.

بقدرة ٨ حصان تعمل بالبنزين لتشتغل بالهيدروجين، شكل (٩) .

يمثل الاحتراق الحفزي أحد أفضل التقنيات وأكثرها أماناً لتسخيرطاقة الهيدروجين خاصة في التطبيقات المنزلية، ويحدث الاحتراق في الغالب على هيئة تفاعل كيميائي متوسط الحرارة دون وجود لهب أو حاجة إلى وسيلة إشعال ، ويتم هذا بفضل استخدام إحدى المواد المحفزة كعامل مساعد على تفاعل الهيدروجين مع الهواء عند درجات حرارة تتراوح ما بين ١٠٠ إلى ٨٠٠مْ ، ويحدث ذلك بمجرد مرور الهيدروجين على هذه المادة المحفزة في وجود الهواء ، وذلك حسب التفاعل التالي :

هيدروجين + أكسجين ⟵ (مادة محفزة) حرارة + ماء .

ومن أهم المواد المحفزة التي يتم استخدامها لتوليد الحرارة بتفاعل الهيدروجين مع الهواء عناصر البلاتين والبلاديوم ، وتستخدم كذلك أكاسيد بعض المواد كالنحاس ولكن بكفاءة أقل . وقد قام معهد فرانهوفر (Fraunhofer) في المانيا بتطبيق تقنية الاحتراق الحفزي للهيدروجين من خلال تطوير واختبار العديد من الأجهزة المنزلية منها موقد يعمل بتقنية الاحتراق الحفزي للهيدروجين، شكل (١٠).

الخلاصة

أصبح موضوع الطاقة جزءاً أساسياً من سياسات الدول، بل إنه الجزء الذي يحظى بالرعاية والاهتمام ، وأصبح لدى الدول ما يسمى بسياسات الطاقة ، حيث تعد برامج ترشيد استهلاك الطاقة من برامج الدول الأساسية في الوقت الحاضر. كذلك تعد برامج اقتصاديات الهيدروجين العالمية من إنتاج وحفظ واستخدام للهيدروجين كمصدر طاقة إحدى هذه الظواهر التي تسلك طريقاً رسمه العلماء ويدعمه أصحاب القرار، وتشارك في تنفيذه الجامعات ومراكز الأبحاث والشركات الصناعية الرائدة، إيماناً بأن الهيدروجين هو مصدر طاقة المستقبل على المدى المتوسط و البعيد . لذلك فإن عملية الأبحاث لم تتوقف عن إيجاد وتطوير سبل عديدة لإنتاج الهيدروجين وحفظه واستخدامه مصدراً للطاقة .

● شكل (١٠) موقد يعمل بالاحتراق الحفزي للهيدروجين.

المصادر

- **F. Mitlitsky**, "Development of an Advanced, Lightweight, High Pressure Storage Tank for On-board storage of Compressed Hydrogen ", Proc. Fuel Cell for Transportation TOPTEC, Alexandria, VA, SAE, Warrendale, PA, 1996.
- **H. J. Sternfeld and P.Heinrich,** "A Demonstration Plant for the Hydrogen / Oxygen Spinning Reserve", Int.J. Hydrogen Energy, Vol. 14, pp. 703-716, 1989.
- **J.D. Pottier,** "Hydrogen Transmission for Future Energy Systems", in Hydrogen Energy System, Utilization of Hydrogen and Future Aspects, **Y.Yurum,** (ed), NATO ASI, Series E-295, pp 181-194, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1995.
- **G. Keith and W. Leighty,** "Transmitting 4,000 MW of New Windpower from N. Dakota to Chicago: New HVDC Electric Lines of Hydrogen Pipelines", Proc. 14th World Hydrogen Energy Conference, Montreal, Canada, June 2002.

-Internet:

- http://www.dlr.de
- http://www.Fraunhofer.de
- http://ar.wikipedia.org/wiki