إنتاج واستخدامات طاقة الهيدروجين

م. يسن الصاعدي / م. مساعد القرني
م. عبد الله البعيز

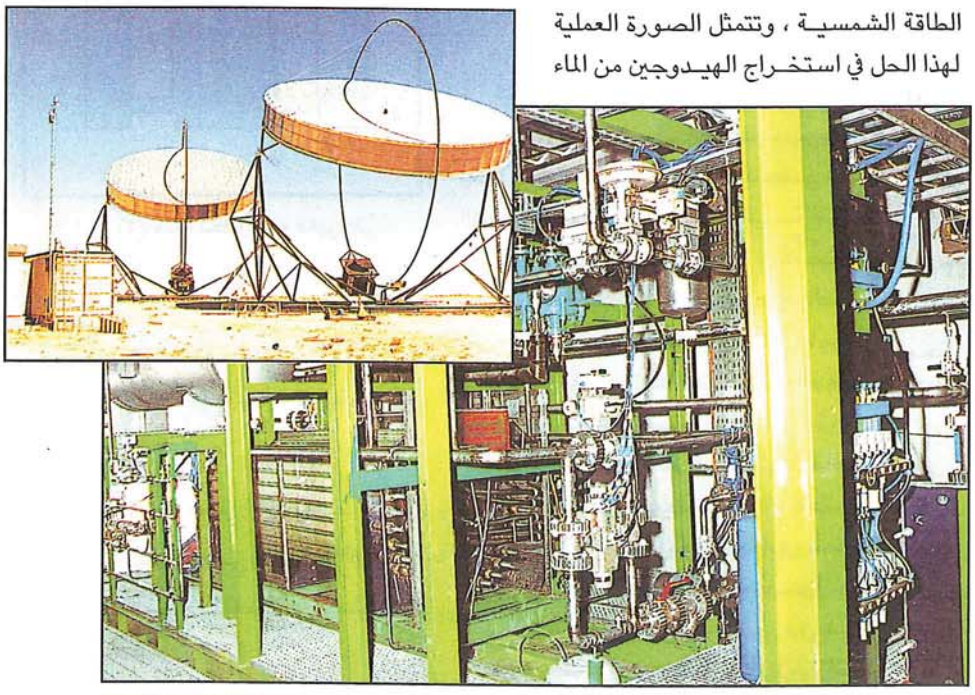
تشكل مصادر الطاقة التقليدية المستخدمة في الوقت الحاضر ـــ النفط والغاز الطبيعي والفحم والأخشاب وغيرها ـــ نسبة كبيرة من إجمالي الطاقة المستهلكة عالمياً. وحيث أن تلك المصادر آيلة إلى النضوب فضلاً عن أن لها بعض الآثار السلبية على البيئة فقد اتجهت الأنظار إلى البحث عن مصادر بديلة للطاقة من ضمنها الطاقة الذرية بشقيها الانشطاري والاندماجي، وتشكل الطاقة النووية الانشطارية في الوقت الحالي نسبة تبلغ ١٧٪ من إجمالي إنتاج الطاقة الكهربائية في العالم ، أما الطاقة الاندماجية فمازالت في مرحلة البحث . ونظراً لوجود بعض السلبيات المصاحبة لإنتاج الطاقة النووية خاصة الانشطارية فقد اتجه العلماء إلى إنتاج الطاقة الجديدة والمتجددة ، وتعد الطاقة الشمسية من أهم المصادر ، بل هي الأساس لكل أنواع الطاقة الجديدة والمتجددة . ورغم أن الطاقة الشمسية طاقة هائلة جداً إلا أن المستغل منها حالياً يشكل نسبة ضئيلة ، عليه تتجه الجهود إلى تحسين استغلال تلك الطاقة خاصة أثناء ذروة الإشعاع الشمسي ، ويعد إنتاج الهيدروجين بالطاقة الشمسية ثم استخدامه فيما بعد ، كطاقة نظيفة ، أهم تلك الجهود التي يركز عليها العلماء في الوقت الحاضر .

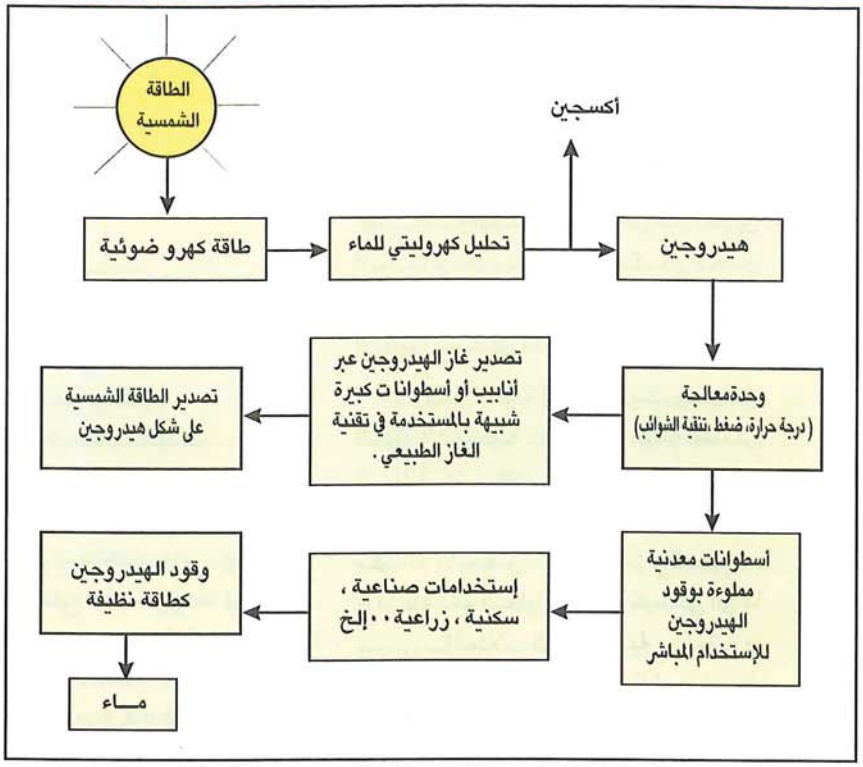
إنتاج الهيدروجين

يعد الهيدروجين أخف العناصر التي تم اكتشافها في هذا الكون الذي أبدعه الخالق جل وعلا ، وقد اقترح عدد كبير من الخبراء والباحثين منذ عقود أن يكون الهيدروجين وقود المستقبل ، وذلك لأن احتراقه لايتسبب في الغالب في أي ملوثات بيئية ، ولكون المحتوى الحراري لاحتراقه يقارب ثلاثة أمثال المحتوى الحراري لنفس الكتلة من الوقود النفطي ، بل إن كاتب القصص العلمية المعروف (جول فرن) قد توقع قبل أكثر من قرن اشتقاق الهيدروجين من الماء وتوقع كذلك اتخاذه وقوداً للمستقبل بدل الفحم والأنواع الأخرى للوقود الأحفوري .

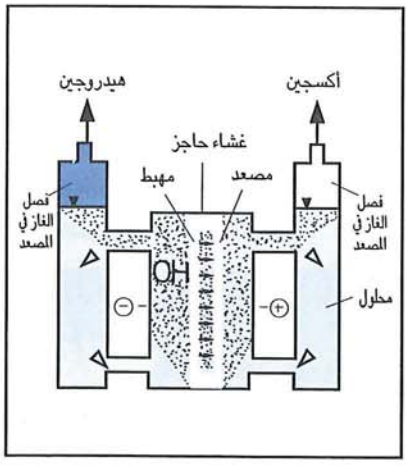
ازدادت أهمية الهيدروجين كوقود للمستقبل بازدياد الاهتمام بالطاقة الشمسية في الربع الأخير من هذا القرن ، ونبع الاهتمام بالهيدروجين في هذا المجال كونه يحل حلاً فعالاً مشكلة نقل وتخزين الطاقة الشمسية ، وتتمثل الصورة العملية لهذا الحل في استخراج الهيدوجين من الماء عن طريق التحليل الكهربي الناتج من الطاقة الشمسية ، ومن ثم تخزين الهيدروجين ونقله من مكان لآخر لاستخدامه عند الحاجة في مختلف التطبيقات ، شكل (١) .

ترتكز تقنية إنتاج الهيدروجين من الطاقة الشمسية على تحويل أشعة الشمس إلى طاقة كهربائية باستخدام نظم الخلايا الكهروضوئية ومن ثم تحليل الماء إلى مكوناته الأساس ـ هيدروجين وأكسجين ـ بواسطة نظم التحليل الكهروكيميائي أي ما يسمى بالمحللات الكهروليتية ، وتحتوي المحللات الكهروليتية بشكل عام على سلسلة من الخلايا الكهروكيميائية وتحتوي كل خلية منها على قطبين مسطحين مصنوعين من معادن معينة مثل النيكل ، يسمى القطب السالب منها بالمهبط (Cathode) ، أما القطب الموجب فيسمى بالمصعد (Anode) ، يفصل القطبين غشاء موصل يتميز بخصائص كيميائية محددة مثل عدم تأثره بالوسط المحيط سواء إن كان حمضياً أو قلوياً إضافة لذلك ، يوجد





● شكل (١) مخطط مبسط لتقنية طاقة الهيدروجين في المستقبل.



● شكل (٢) خلية تحليل الماء الكهربائي.

الماء في كل خلية كسائل تحليل. ويضاف للماء عادة مادة قلوية مثل هيدروكسيد اليوتاسيوم (KOH) لزيادة كفاءة التحليل الكيميائي.

يوضح الشكل (٢) كيفية عمل المحلل الكهروليتي لتحليل الماء حيث تتضمن العملية التفاعلات الكيميائية التالية :-

التفاعل في المهبط :

$$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$$

التفاعل في المصعد :

$$2OH^- \longrightarrow \frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^-$$

التفاعل النهائي :

$$H_2O \longrightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2$$

يلاحظ بأنه لدى مرور تيار كهربائي مستمر في خلية المحلل فإن الهيدروجين - يحمل الشحنات الموجبة ـ يتجمع عند القطب السالب (المهبط) لخلية المحلل الكهربائية، في حين يتجمع الأكسجين - يحمل الشحنات السالبة ـ عند القطب الموجب (المصعد) وذلك على شكل فقاعات غازية، ويفصل الغشاء الحاجز بين غاز الهيدروجين والأكسجين. ويتم فصل كل غاز عن المحلول الناتج في الغرفة الخاصة بفصل الغازات، ثم يعود سائل المحلول ثانية إلى خلية المحلل لإعادة الدورة مرة أخرى وهكذا، وبعد الحصول على الهيدروجين يتم تخزينه إما على شكل سائل مضغوط أو على شكل غاز في خزانات أو اسطوانات تحت ضغوط مختلفة حسب نوع الاستخدام أو التطبيق.

إنتاج الهيدروجين بالمملكة

على الرغم من أن المملكة تمتلك إمكانيات هائلة من الطاقة النفطية إلا أن ذلك لم يمنعها من البحث عن مصادر بديلة للطاقة خاصة وأنها تقع في منطقة جغرافية غنية بالطاقة الشمسية. وتعد المملكة رائدة في مجال تقنية الطاقة الشمسية حيث توجد القرية الشمسية بالعيينة قرب مدينة الرياض، وهي تابعة **لمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية**، وتُعد من أشهر المجمعات الكهروضوئية المعروفة دولياً. وتبلغ الطاقة الإنتاجية لهذا المجمع ٣٥٠ كيلوات، وقد تم ربط هذا المجمع مع محطة إنتاج الهيدروجين التجريبية الواقعة في القرية.

تهدف المحطة التجريبية لإنتاج الهيدروجين - بالقرية الشمسية - إلى تجريب جميع خطوات إنتاجه بالطاقة الشمسية وطرق استخدامه حتى يتم التحقق من صحة التصميم وجودة أداء الأجهزة وستساعد - إن شاء الله - نتائج التشغيل المستمرة في المحطة في تحسين تصاميم مكونات المحطة في المستقبل لإنتاج الهيدروجين وتصنيع أجهزة ومعدات خاصة للاستخدامات المنزلية والصناعية وغيرها.

تمثل المحطة التجريبية لإنتاج الهيدروجين في العيينة نموذجاً لإنشاء محطة ذات قدرات عالية (أكثر من ٣٥٠كيلوات) لإنتاج الهيدروجين، حيث يمكن للخبرات الفنية المدربة تصميم محطات أكبر لأغراض إنتاج الطاقة في المناطق النائية، أو تصميم محطة مركزية كبيرة مكونة من مجموعة من المحطات الصغيرة الموزعة تقارب قدرة كل منها قدرة المحطة التجريبية الحالية. كما تمثل المحطة إحدى أوجه التعاون بين دولتين تسعيان على إيجاد السبل الكفيلة للاستفادة من الطاقة الشمسية، تلك الدولتين هما المملكة العربية السعودية وألمانيا الاتحادية.

تعمل الدولتان تحت مظلة اللجنة السعودية الألمانية المشتركة للتعاون الفني والاقتصادي من خلال برنامج هايسولار (Hysolar) ـ أخِذ من كلمتي Hydrogen و Solar ـ للاستفادة من الطاقة الكهروضوئية (قدرة ٣٥٠ كيلوات) في إنتاج الهيدروجين بالمحطة التجريبية بالقرية الشمسية .

● برنامج هايسولار

يهدف برنامج هايسولار الذي يتم تنفيذه من خلال التعاون بين المملكة وألمانيا إلى التالي :

ـ تحديد المتطلبات العلمية والفنية الأساسية والضرورية لإنتاج الهيدروجين بالطاقة الشمسية والاستفادة منه في المستقبل .

ـ اختيار وتقويم التقنيات المتوفرة ، والتي قد تصمم في المستقبل لغرض إنتاج الهيدروجين بالطاقة الشمسية .

ـ وضع أسس لتعاون طويل الأجل في مجال أبحاث الهيدروجين المنتج بالطاقة الشمسية بين المملكة العربية السعودية وجمهورية ألمانيا .

يتكون البرنامج ـ بدأت المرحلة الأولى منه عام ١٩٨٦م ـ من ستة برامج فرعية تتعلق بإنتاج وتخزين واستخدام الهيدروجين المنتج، هي كما يلي :

١ـ تصميم وإنشاء وتشغيل محطة تجريبية لإنتاج الهيدروجين بالطاقة الشمسية بقدرة ٣٥٠ كيلووات من الطاقة الكهروضوئية على أن تكون في موقع القرية الشمسية بالعيينة .

٢ـ القيام بالاختبارات والأبحاث على أنظمة لإنتاج الهيدروجين بقدرة إجمالية تبلغ ١٠ كيلو وات من الطاقة الكهروضوئية (محطة تجريبية) . على أن تكون في مختبرات مؤسسة أبحاث الفضاء الألمانية في مدينة شتوتجارت.

٣ـ القيام بالاختبارات والأبحاث على نظام لإنتاج الهيدروجين بالطاقة الشمسية بقدرة ٢ كيلووات (محطة بحثية) . وذلك في موقع جامعة الملك عبد العزيز بجده .

٤ـ القيام بأبحاث أساس متعلقة بالهيدروجين المنتج بالطاقة الشمسية تقوم به بعض الجامعات السعودية بالاشتراك مع جامعة شتوتجارت الألمانية .

٥ـ دراسة أنظمة إنتاج واستخدام الهيدروجين المنتج بالطاقة الشمسية .

٦ـ القيام بدورات تدريبية ، وتبادل العلماء والفنيين بين الجانبين .

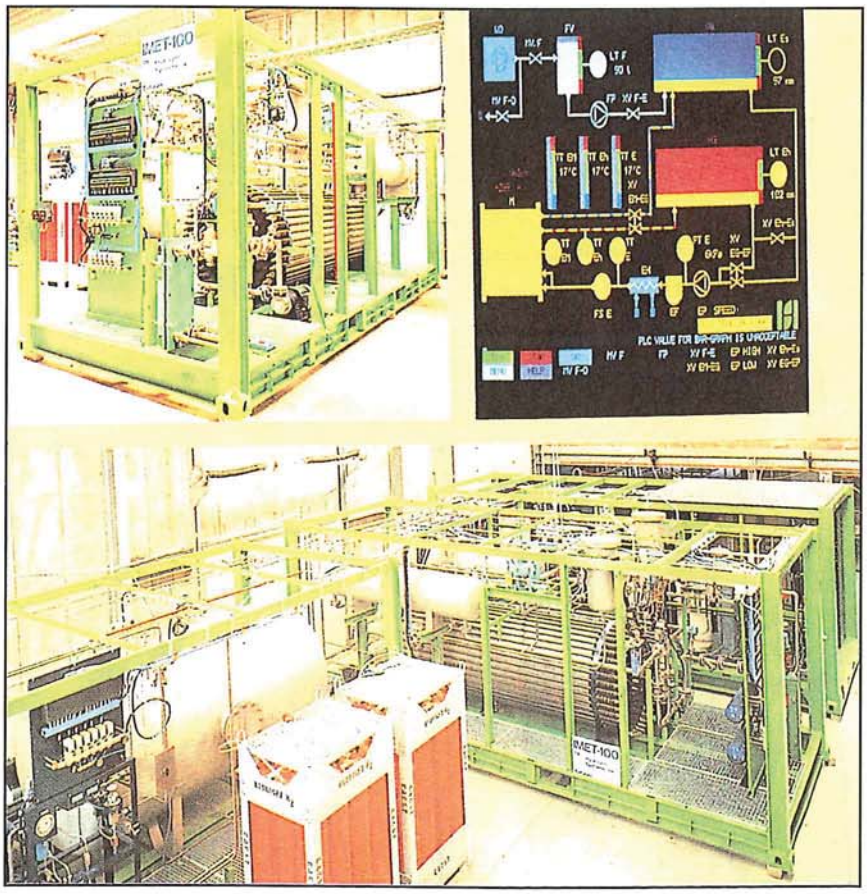
البند	المواصفات
الطراز (TMET 100)	محلل ماء قلوي يستخدم الطاقة الكهروضوئية
تصميم الخلية	ـ غشاء رقيق خالٍ من الإسبستوس يعمل عند درجة حرارة ١٠٠°م ـ لاتوجد مسافة بين الأقطاب .
عدد الخلايا	٨٠خلية موصلة على التوالي يمكن زيادتها عند اللزوم.
جهد التشغيل	٣٠٠ فولت تيار مستمر (D.C)
الضغط	٨ وحدات ضغط جوي
معدل الإنتاج	٤١م٣ / ساعة
الإنتاج السنوي	١٧٠,٠٠٠م٣
العمر التقديري	٢٠ سنة

● جدول (١) مواصفات المحلل المائي الكهربائي بالمحطة التجريبية

● محطة إنتاج الهيدروجين

تشتمل المحطة على المجمعات الكهروضوئية والمحلل الكهربائي وأجهزة تحكم .

تقوم المجمعات الكهروضوئية بتزويد المحلل الكهربائي بالتيار الكهربائي المستمر (Direct current-DC) . ويعمل المحلل الكهربائي وفق الظروف الشمسية المتغيرة وذلك بغرض رفع الكفاءة الكلية ، وخفض أعمال التشغيل والصيانة ، وإمكان العمل في الظروف الشمسية المتغيرة ، وتحضير



● شكل (٣) المحطة التجريبية لإنتاج الهيدروجين.

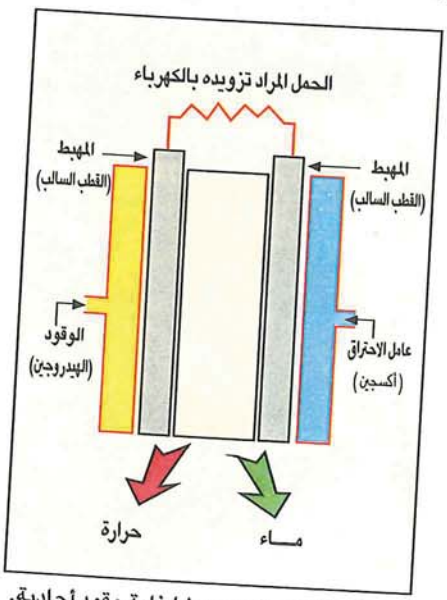
الهيدروجين بطريقة تجعله جاهزاً للاستعمال .

ويوضح جدول (١) مواصفات المحلل المائي الكهربائي المستخدم في المحطة التجريبية ، كما يوضح شكل (٣) المحلل المائي الكهربائي ، ويحتوي المحلل المائي الكهربائي على ثلاث حاويات ، تحوي الأولى منها الأجهزة المساعدة (لوحات التوزيع والتحكم وأجهزة ومعالجة الماء ، بينما تحوي الثانية المحلل وأجهزة فصل وتجفيف الهيدروجين ، أما الحاوية الثالثة فتحوي أجهزة معالجة الغاز وتخزينه وتعبئته .

استخدامات الهيدروجين

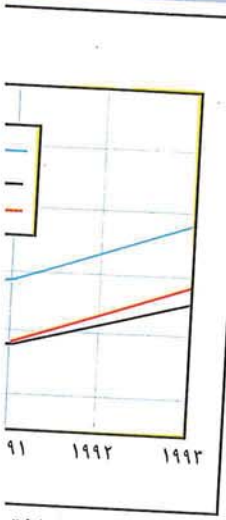
يستخدم الهيدروجين بصفة أساس كوقود نظيف حيث لا ينتج عن استخدامه (حرقه) أي ملوثات بيئية بل إن الناتج الأساس لحرقه هو الماء .

يستفاد من طاقة الهيدروجين في تطبيقات عديدة مثل المحركات بأنواعها وتوليد الكهرباء والاحتراق الحفزي وغيرها من التطبيقات الخاصة باستغلال الطاقة ، ويمكن استعراض بعض تلك التطبيقات من خلال ما ساهمت به **مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية** في إطار البرنامج السعودي الألماني



● شكل (٤) نموذج مبسط لخلية وقود أحادية.

المشترك لإنتاج واستخدام الهيدروجين من الطاقة الشمسية (هايسولار - Hysolor) .



● شكل (٥) نتائج اختب

● خلايا الوقود

تعد خلايا الوقود من أكفأ وسائل توليد الكهرباء وأقلها ضجيجاً وإحداثاً للتلوث لعدم احتوائها على أجزاء ميكانيكية متحركة ، ولكون أن الناتج الوحيد من تشغيلها هو الماء ، وقد تصل الكفاءة الإنتاجية الإجمالية لخلايا الوقود إلى ٨٥٪ ، كما أنها تحتاج إلى أقل قدر من تكاليف الصيانة والتشغيل .

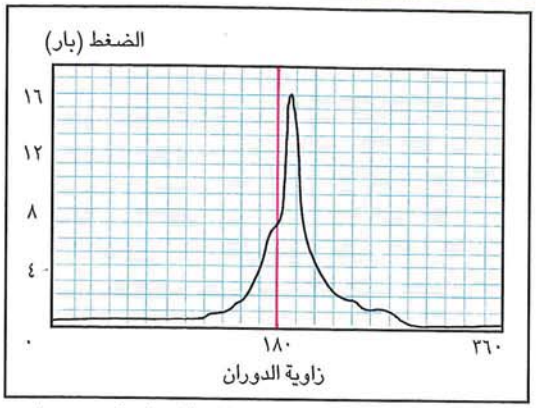
تعمل خلايا الوقود بمبدأ احتراق الهيدروجين في وجود عامل تحليل قلوي أو حمضي لتوليد طاقة كهربائية وذلك وفقاً للمعادلة التالية :

جزيء هيدروجين + نصف جزي أكسجين ← ماء + طاقة حرارية - طاقة كهربائية.

ويوضح شكل (٤) الفكرة الأساس لخلية وقود يستخدم فيها حامض الفسفو كسائل تحليل .

بدأت الأبحاث الخاصة بخلايا الوق **بمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية** بداية عام ١٩٩١م ، وتم آنذاك اختيار خل الوقود ذات الحمض الفوسفوري من الأنواع الأخرى لأسباب كثيرة من أهم مايلي :

- انتشار تقنيتها عالمياً بشكل يمكّن المقارنة والتحليل الصحيح أثناء الدرا والتصميم .
- توسط درجات حرارة تشغيلها ، (١٠ ٢٠٠م).
- توفر أغلب المكونات والخبرات الأ لتصنيعها واختبارها في المملكة .



● شكل (٦) منحنى الضغط لمحرك بالمدينة يعمل بالهيدروجين.

سكانياً وجغرافياً .

- محطات الإمداد الكهربائي الإحتياطي في المصانع والفنادق والمستشفيات وغيرها.

- المحطات الرئيسة لتوليد الكهرباء (على المدى البعيد) .

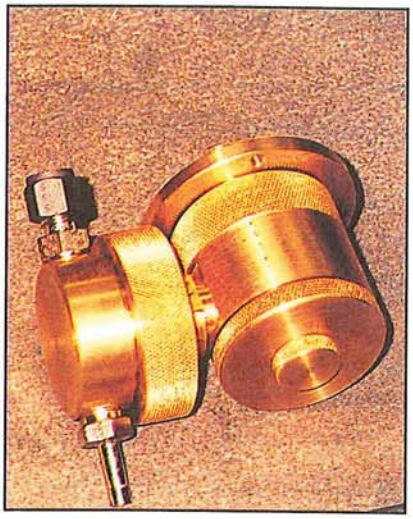
● آلات الإحتراق الداخلي

تستخدم آلات الإحتراق الداخلي ذات الدورة الحرارية المغلقة في شتى التطبيقات منذ مايزيد على قرن من الزمن ، ويمكن تلخيص مبدأ أدائها في أنها تحول طاقة الوقود الكيميائية إلى طاقة حركية تستغل مباشرة في تسيير الكثير من وسائط النقل المختلفة كالسيارات والقاطرات والسفن والطائرات ، بالإضافة إلى محطات توليد القدرة الكهربائية ذات الحجم الصغير والمتوسط .

بدأت المحاولات الجادة لاستخدام الهيدروجين كوقود لآلات الإحتراق الداخلي في الأربعينيات من القرن الميلادي الحالي ، وتم تحويل عدد من السيارات في ألمانيا وبريطانيا في ذلك الوقت من الوقود النفطي إلى الهيدروجين بنسبة نجاح مشجعة ، وبعد الحرب العالمية الثانية تباطأت الخطوات العملية في هذا المسار ، ولم يستأنف البحث العلمي والتطبيق التجريبي لتشغيل السيارات (آلات الإحتراق الداخلي) إلا منذ بداية الثمانينيات ، وكان هذا مصاحباً في الغالب للتوجهات الجديدة لتوليد الهيدروجين بالطاقة الشمسية واستخدامه كوقود .

شُرع في جهود تشغيل آلات الإحتراق الداخلي بالهيدروجين في المدينة مع بداية عام ١٩٩٠م ، وشكلت هذه المهمة في بدايتها تحدياً تقنياً واجهة الباحثون بالمدينة بعزيمة تكللت بالنجاح ولله الحمد ودون مساعدة خارجية ، ولزم لنجاح هذا التعديل ابتكار عدد من حواقن الوقود ومنظمات السريان المختلفة . وبعد تحسينات عديدة واختبارات مكثفة على هذه الحواقن والمنظمات تم اختيار أفضلها لتشغيل آلة احتراق داخلي بقدرة ٨ حصان ، وأخرى بقدرة ١١ حصان ، وكان نظام الإمداد بالهيدروجين مصمماً بطريقة تؤدي إلى الحقن المباشر للوقود (الهيدروجين) في غرفة الإحتراق ، وتقلل هذه الطريقة إلى حد كبير الظواهر السلبية لاحتراق الهيدروجين في آلات الإحتراق الداخلي ، ولعل من أهم الظواهر التي تم تفادي حدوثها إلى حد كبير ظاهرة الاحتراق الارتدادي (Flash Back Combustion) وظاهرة الخبط (Knocking) ، ويوضح الشكل (٦) خلو منحنى الإحتراق من أي من هذه الظواهر السلبية، وذلك في دورة احتراق واحدة سجلت عشوائياً خلال تشغيل إحدى الآلات التي تم تعديلها .

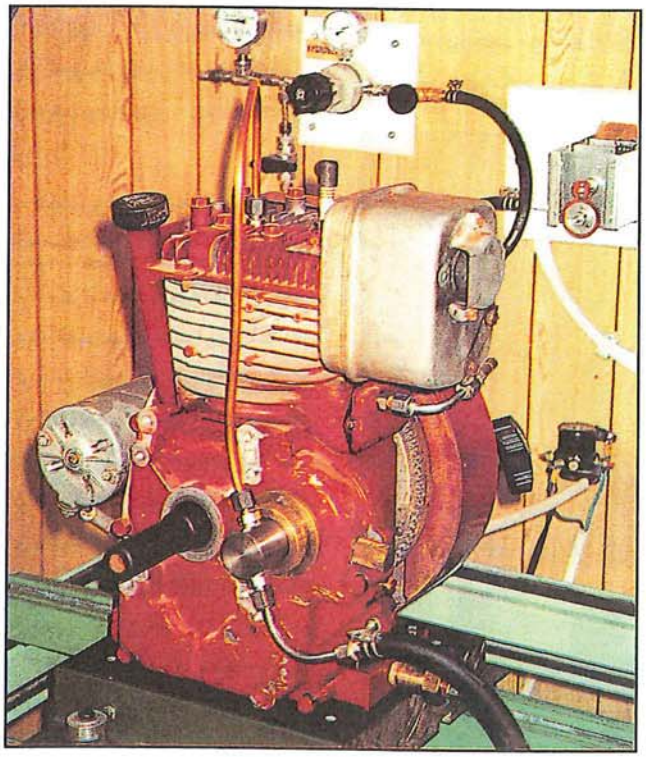
توضح الصورة رقم (١) أحد نماذج منظمات سريان الهيدروجين التي تم تصميمها وتصنيعها في المدينة ، بينما توضح الصورة رقم (٢) إحدى آلات الاحتراق الداخلي التي تم تعديلها واختبارها بنجاح ، حيث تبرز بوضوح مكونات نظام الإمداد بالهيدروجين وحقنه مباشرة في غرفة احتراق المحرك .



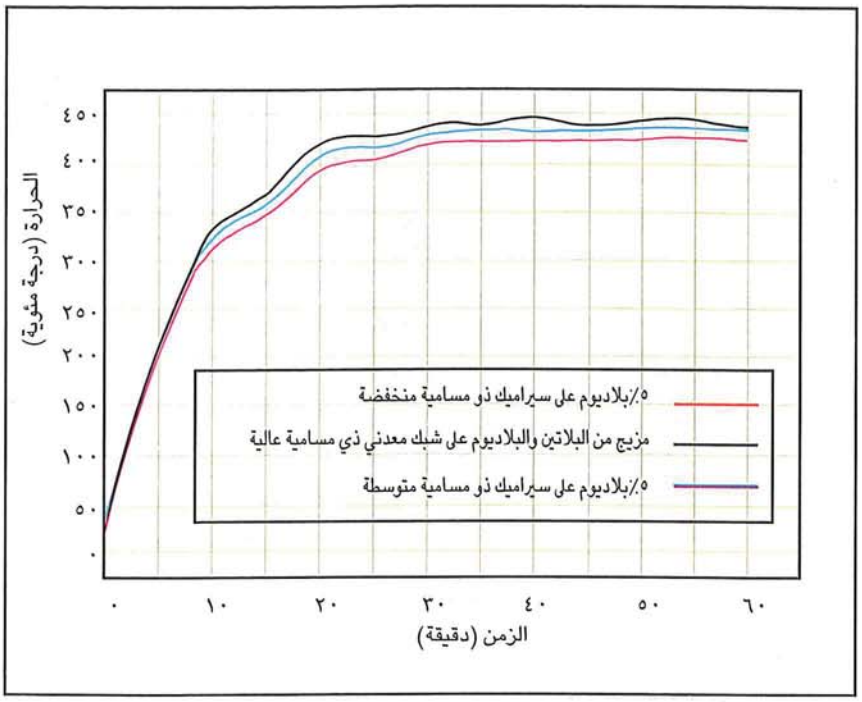
● صورة (١) أحد منظمات سريان الهيدروجين.

● تطبيقات الإحتراق الحفزي

يمثل الإحتراق الحفزي أحد أفضل الطرق وأكثرها أماناً للإستفادة من الهيدروجين خاصة في التطبيقات المنزلية ، ويحدث الإحتراق الحفزي - في الغالب - على



● صورة (٢) محرك احتراق داخلي بالمدينة يعمل بالهيدروجين .



● شكل (٧) نتائج المقارنة لبعض المواد المحفزة (١٠٠لتر٣ /ساعة عند ضغط٠,٢ بار.

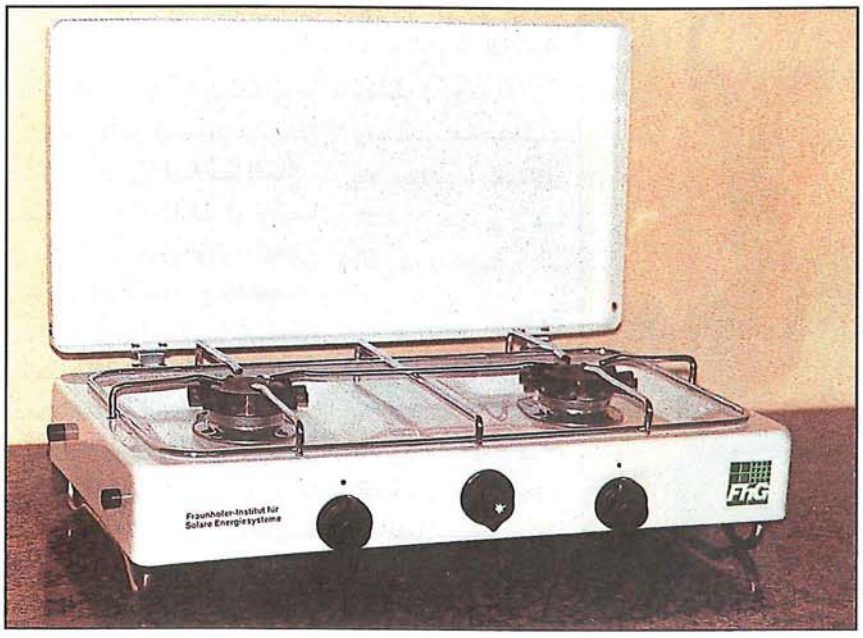
هيئة تفاعل كيميائي متوسط الحرارة دون وجود لهب أو حاجة إلى وسيلة إشعال ، ويتم هذا بفضل استخدام إحدى المواد المحفزة كعامل يساعد على تفاعل الهيدروجين مع الهواء عند درجات حرارة تتراوح بين ١٠٠ إلى ٨٠٠م ، ويحدث ذلك بمجرد مرور الهيدروجين على هذه المادة المحفزة في وجود الهواء ، وذلك حسب التفاعل التالي :

جزيء هيدروجين + نصف جزيء أكسجين ← مادة محفزة حرارة + جزيء ماء.

من أهم المواد المحفزة التي يتم استخدامها لتوليد الحرارة بتفاعل الهيدروجين مع الهواء عناصر البلاتين والبلاديوم ، وتستخدم كذلك أكاسيد بعض المواد كالنحاس و لكن بكفاءة أداء أقل ، ولكي تكون المادة المحفزة في شكل مثالي للإستخدام ، فإنه يتم ترسيبها على سطح إحدى المواد الحاملة من خلال مسامات بنسب تتراوح بين ٣٪ إلى ٨٪ من وزن المادة الحاملة التي تكون غالباً من السيراميك ذو المسامات وذلك لضمان الحصول على أكبر مساحة ممكنة لترسيب المادة المحفزة والإستفادة منها .

يتم التفاعل دون لهب ، وعند درجات حرارة متوسطة تزيد وتنقص تبعاً لزيادة ونقصان ضغط الهيدروجين ومعدل سريانه ، وعندما تكون المادة الحاملة ملاصقة لحاقن الهيدروجين فإن امتزاج الهيدروجين مع الهواء يكون داخل مسامات المادة الحاملة ، وبهذا تنتفي إمكانية حصول الإحتراق خارج نطاق هذه المادة ، وهذا بدوره يعني الأمان الكامل أثناء التفاعل ، والقضاء على وجود ظاهرة الإحتراق الإرتدادي التي يشتهر بها الهيدروجين أكثر من غيره ، ويضاف إلى هذه الميزة أن وجود المادة المحفزة يقضي على أي احتمال لتسرب الهيدروجين وتراكمه بشكل يسبب الإنفجارات والحرائق غير المتوقعة .

ساهمت **مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية** مساهمة جيدة في مجال الأبحاث التطبيقية للإحتراق الحفزي للهيدروجين ، وقد تم في هذا الشأن اختبار عدد من الوسائل المنزلية التي تستخدم طريقة الإحتراق الحفزي ، ولعل من أهم هذه الوسائل الطباخات ، والثلاجات الإمتصاصية . كما قام الباحثون في المدينة بتصميم عدد آخر من هذه الوسائل أهمها المولدات الكهروحرارية ، وهي أجهزة تولد الكهرباء مباشرة عند تزويدها بالحرارة الناتجة من الإحتراق الحفزي ، وقد جرى في هذا الخصوص اختبار وتصنيف وتقويم عدد من المواد المحفزة لاختيار أنسبها وأفضلها أداءً ، ويوضح شكل (٧) نتائج المقارنة لبعض عينات هذه المواد .



● طباخ يعمل بالإحتراق الحفزي للهيدروجين.