الهيدروجين الشمسي : وقود المستقبل

د . وداد أبوالقاسم الاسطى★

مقدمة

أن معظم الطاقات البديلة المتجددة تتسم بعدم الاستمرارية مثل الرياح والاشعاع الشمسى ، لذلك كان لابد من وجود وسيلة لتخزين هذه الطاقة لامكانية الاستفادة بها فى حالة عدم توفر هذا المصدر ايضا لامكانية نقلها من نقطة الانتاج الى نقطة الاستهلاك أو الاستخدام النهائى .

ويوجد نوعان من حوامل الطاقة وهما الكهرباء والتى تمثل ربع الاحتياج النهائى للطاقة فى العالم والوقود والذى يمثل ثلاثة ارباع الاحتياج الكلى للطاقة.

ويعتقد العلماء بأن الوقود المناسب الذى من شأنه المحافظة على البيئة من التلوث ، وذا الكفاءة العالية كوقود وكحامل للطاقة هو الهيدروجين . فالهيدروجين وسط لتخزين ونقل الطاقة وحلقة وصل بين مصدر الطاقة والمستهلك . ويعتقد بأنه الحل الامثل لتخزين الطاقات المتجددة المتقطعة أو التى لا تتصف بالديمومة مثل الاشعاع الشمسى والرياح . كما أنه وسيلة لنقل الطاقة من أماكن توافرها الى اماكن استخدامها . وفكرة استخدام الهيدروجين ليست جديدة وانتاجه من بعض مصادر الطاقات المتجددة ايضا قديمة ، فقد اقترح « هالدين » فى سنة 1923 انتاج الهيدروجين من تحليل الماء كهربائيا وذلك باستخدام طاقة الرياح كمصدر كهرباء للمحلل الكهربائى ومن ثم استخدام الهيدروجين كوقود . وفى سنة 1927 اقترح « استيورت » انتاج الهيدروجين بواسطة المساقط المائية واستخدامه ايضا كوقود . أما المهندس الالمانى « ادجستى » فقد أوضح بأن نقل الطاقة عن طريق الهيدروجين أو فى شكل هيدروجين أرخص من نقلها عبر خطوط الكهرباء . وفى سنة 1956 استخدم « بيكون » و « واتسون » الهيدروجين كوقود فى خلايا الوقود [1] .

الوضع الحالى للطاقة :

يمثل الاستهلاك العالمى للطاقة من الوقود الحفرى « نفط ، فحم ، الغاز الطبيعى » 88 بالمئة من الاستهلاك الكلى للطاقة ، بينما تمثل المساقط المائية 7 بالمائة والطاقة النووية 5 بالمائة [2].

ويعتقد بعض الخبراء ان النفط والغاز الطبيعى سينتهيان بعد بضع عقود بينما سيستمر الفحم لبضعة قرون اخرى وتاريخيا فقد كان استهلاك الفحم يمثل 70 بالمائة من الاستهلاك العالمى للطاقة بينما اصبح فى الوقت الحاضر 26 بالمائة فقط . لقد تعاظم استهلاك النفط وبلغ ذروته فى بداية السبعينات حيث وصل استهلاكه 40 بالمائة من الاستهلاك العالمى بينما يمثل الاستهلاك الحالى منه 38 بالمائة ، وبالنسبة للغاز الطبيعى فانه يمثل 19 بالمائة من الاستهلاك الحالى ومن المتوقع ان تزداد هذه النسبة مستقبلا [3] . ويعتقد بعض العلماء بان الاستهلاك العالمى للطاقة سيزداد بنسبة 50 الى 60 بالمائة فى سنة 2010 وسيزداد غاز ثانى اوكسيد الكربون فى الجو بنفس النسبة . وعلى هذا الاساس من الاستهلاك الطاقوى سيكون معدل نضوب الوقود الحفرى 100,000 مرة أسرع من معدل تكونه فى باطن الارض.

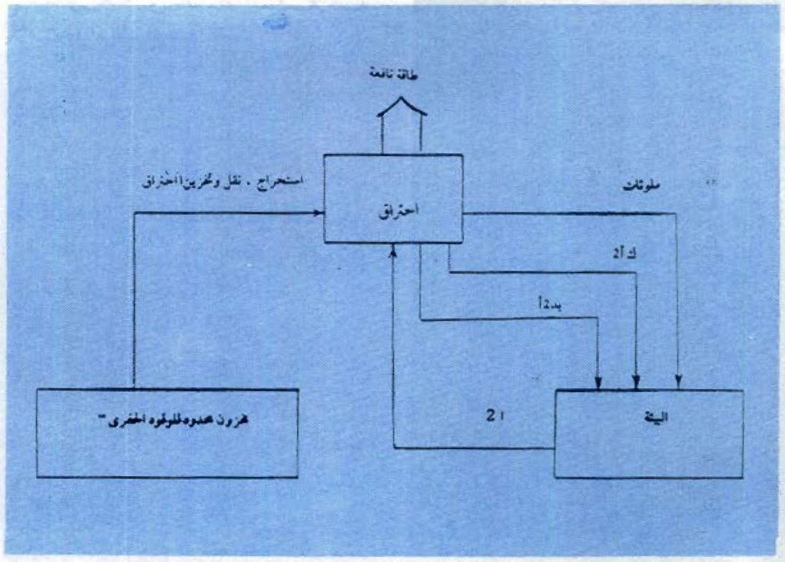
ومن مساوىء النظام العالمى الحالى للطاقة (الوقود الحفرى والطاقة النووية) استخدام مواد خام من باطن الارض معرضة للنضوب ومن ثم القاء نفاياتها فى الغلاف الجوى سواء كانت نفايات كيميائية أو حرارية أو مواد مشعة . أن النفايات الناتجة عن حرق الوقود الحفرى تسبب فى تلوث الهواء الجوى وفى ظاهرة الانحباس الحرارى والامطار الحامضية اضافة الى بعض الكوارث التى تنتج عن استخراجه ونقله ، والكوارث التى تنتج عن

★ مركز دراسات الطاقة الشمسية

محطات الطاقة النووية مما يسبب القلق والتوتر فى نفس البشر على الصعيدين العالمى والمحلى ويستوجب ايجاد نظام بديل . ويوضح الشكل (1) النظام الحالى للطاقة [3] .

نظام طاقة الهيدروجين :

منذ حوالى عقدين تقريبا بدأت الدول الصناعية (وعلى رأسها المانيا) تفكر فى نظام جديد للطاقة ، وقد اقترح العلماء والبحاث فى هذه الدول نظام طاقة الهيدروجين والذى يعتمد اساساً على استخدام الهيدروجين وهو ما يسمى (الاقتصاد الهيدروجينى أو نظام الطاقة الهيدروجينى) وفى هذا النظام يتم انتاج الهيدروجين من الماء عن طريق تفكيك الماء الى عنصريه (الهيدروجين والاكسجين) . وحيث ان الهيدروجين مصدر ثانوى للطاقة ، مثل الكهرباء ، فهو يحتاج الى مصدر اولى لانتاجه . ويمكن استخدام اى مصدر اولى للطاقة لانتاج الهيدروجين مثل الوقود الحفرى أو الطاقة النووية ، أو أحد أشكال الطاقة الشمسية .



شكل (1) النظام الحالى للطاقة

ويتكون نظام طاقة الهيدروجين من الخطوات الثلاث المبينة فى شكل (2) [4] .

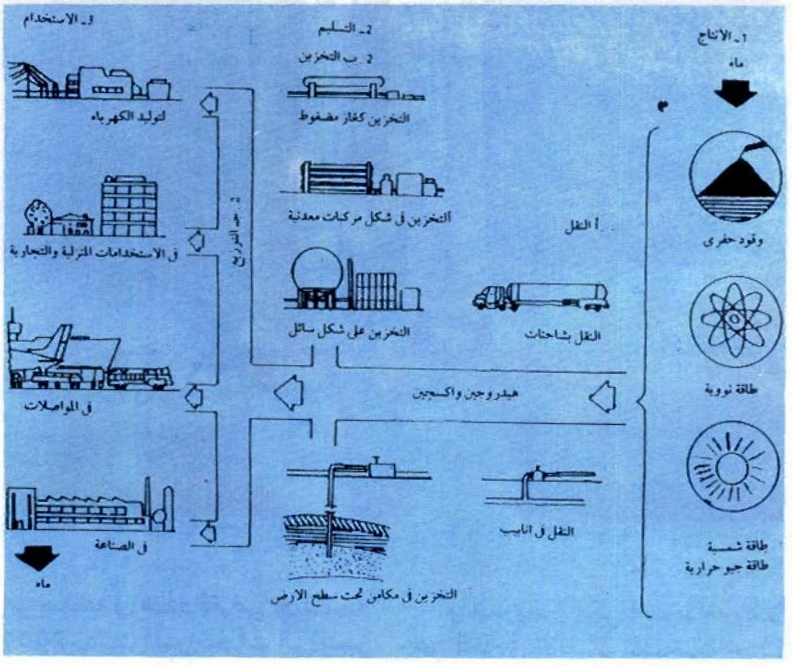
1 ـ الانتاج :

يستخدم احد المصادر الاولية للطاقة لانتاج الهيدروجين من الماء ، كما ينتج الاكسجين ايضا من هذه العملية والذى يمكن اطلاقة فى الغلاف الجوى او تخزينه لاستعماله فيما بعد لحرقه مع الهيدروجين .

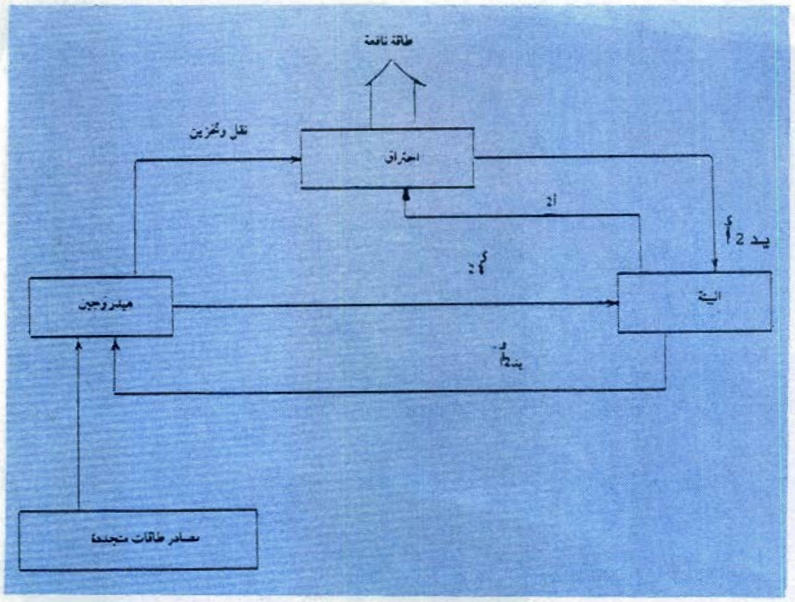
2 ـ التسليم :

وتشمل هذه الخطوة ثلاث مراحل :

أ ـ نقل الهيدروجين عبر شحنات أو بواخر أو أنابيب .
ب ـ تخزين الهيدروجين كغاز فى اسطونات تحت ضغط مرتفع أو مسالا فى أوعية خاصة أو فى شكل مركبات معدنية أو فى مكامن النفط أو الغاز الطبيعى تحت الارض .



شكل (2) نظام طاقة الهيدروجين



شكل (3) نظام طاقة الهيدروجين الشمسى

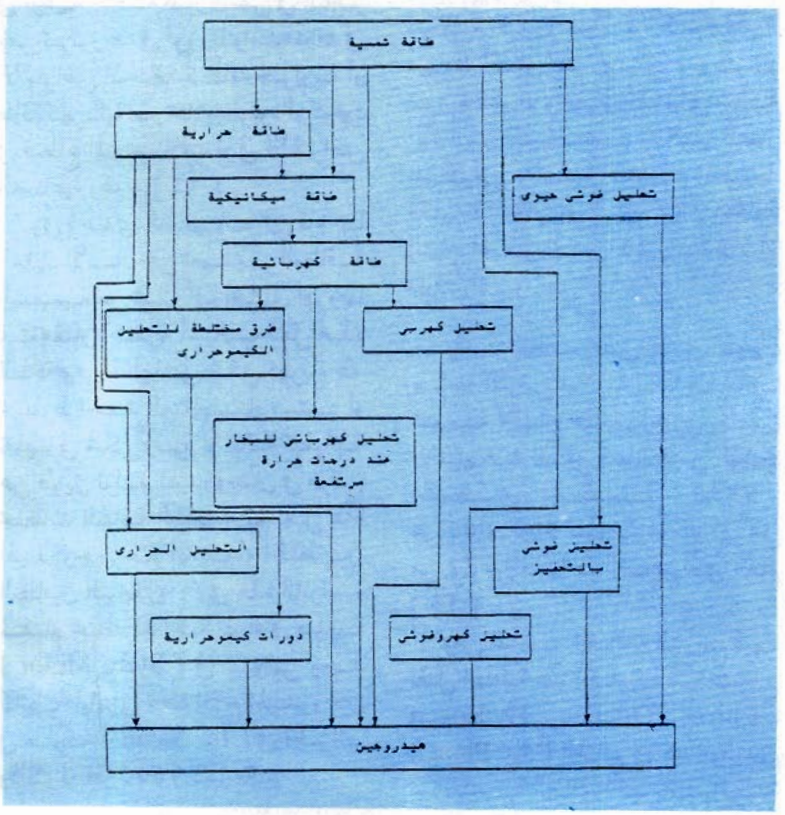
وتعتبر الطرق الثلاث الاولى (التحليل الضوئى ، التحليل الضوئى بالتحفيز والتحليل الكهروضوئى) فقط ، طرقا مباشرة لانتاج الهيدروجين من الماء وباستخدام الاشعاع الشمسى المباشر ، أما الطرق الباقية فهى اما عن طريق وسيط للطاقة مثل الطاقة الحرارية أو الكهربائية وذلك كما فى شكل (4) [2] .

النشاطات القائمة فى العالم فى هذا المجال :

لقد ازداد الاهتمام بطاقة الهيدروجين وتقنياته فى العالم فلم تعد هذه التقنية مقتصرة على بعض الدول المتقدمة مثل الولايات المتحدة ، روسيا ، اليابان ، المانيا ، فرنسا ، بريطانيا ، كندا ، سويسرا ، هولندا واسرائيل . والتى تمثل 90٪ من دول العالم اهتماما بتقنياته واستخداماته وبحث وتطوير طرق انتاجه ونقله وتخزينه واستخدامه فى المجالات المختلفة [7] . ويمثل عدد دول العالم المهتمة بهذا النوع من الطاقة 39 دولة وتقام حاليا العديد من المؤتمرات والندوات وحلقات النقاش والاجتماعات على المستوى المحلى والعالمى ، كما أن عدد الابحاث والمجالات العلمية والتقارير والكتب العلمية فى تزايد لنشر البحوث وآخر ماتوصل اليه العلم فى هذا المجال .

ففى اليابان توجد بعض المعاهد التى تعمل على تطوير استخدام الهيدروجين المسال فى بعض أنواع السيارات . ويوجد مقترح فى اليابان لإنتاج الهيدروجين الشمسى واستخدامه فى قطاع المواصلات لاحلاله محل النفط وذلك للمحافظة على النفط واقلال نسبة ثانى اكسيد الكربون فى الجو . وسيتم إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربى للماء من خلايا شمسية تركب على عوامات فى المحيط الهادئ . وسينقل الهيدروجين المسال فى اسطوانات على ناقلات ويتم توزيعه الى محطات التوزيع للاستخدام النهائى [8] .

وفى بولندا وجنوب افريقيا والسويد يتم اعداد استراتيجيات لاستخدامه كوقود مستقبلا (أى مع نهاية هذا القرن وبداية القرن القادم) . وفى سويسرا والولايات المتحدة توجد عدة معاهد وشركات تعمل لبحث وتطوير طرق نقل وتخزين واستخدام هذا المصدر فى المجالات المختلفة أهمها وقودا لوسائل المواصلات . كما توجد نشاطات كبيرة فى روسيا ويوغسلافيا . أما فى المانيا فقد أعدت برامج كبيرة حيث أهتمت العديد من الشركات والمعاهد والجامعات باستغلال هذا المصدر الطاقوى وأقيمت عدة برامج منها البرنامج السعودى الالمانى [9 , 10] ، والذى يتم دعمه من قبل أمانة العلوم والفنون وأمانة البحث والتقنية فى المانيا بما قيمته 25٪من المشروع لكل منهما ، وتساهم السعودية بقيمة 50٪ الباقية . وقد بدأ التفكير فى هذا المشروع فى بداية الثمانينات ، وبدأ البرنامج فى شهر (2) لسنة1983 أما الخطوات التنفيذية له فبدأت فى شهر(2) 1986 . حيث تكونت فرق عمل من الجهتين وذلك للعمل فى البحوث الاساسية فى مجال تفكيك الماء عن طريق التفاعل الكيموكهرو ضوئى وتطوير طرق التحفيز وطرق انتاج الاقطاب والمحللات الكهربائية وخلايا الوقود . أيضا اختبار بعض المنظومات المتعلقة بمصدر الطاقة (الخلايا الشمسية) ، والمحللات الكهربائية وغيرها . وترتب على هذا البرنامج اقامة مشاريع تجريبية فى كل من المانيا والسعودية . أحد هذه المشاريع أقيم فى stuttgart بالمانيا ، حيث يبلغ متوسط الاشعاع الشمسى 1000 ك . و . س/المتر المربع فى السنة ، وبقدرة 10 ك . وات . والآخر بقدرة 2 ك . وات فى جامعة الملك عبدالعزيز بالسعودية . كما اقيم مشروع تجريبى بسعة 350 ك . وات فى قرية شمسية



شكل (4) طرق انتاج الهيدروجين من الطاقة الشمسية

فى السعودية قرب الرياض (50 ك . م . شمال غرب الرياض) حيث يبلغ متوسط الاشعاع الشمسى السنوى 2300 ـ 2500ك . و . س/ المتر المربع . هذه المشاريع تهتم بتطوير استخدام الهيدروجين الشمسى والتخطيط لاستخدامه . أيضا لتدريب ونقل التقنية الى الباحثين فى السعودية فى كل مجالات هذا المشروع . وقد كانت ميزانية هذا المشروع 75 . 56 مليون مارك المانى اضافة الى بعض المساهمات التشجيعية من بعض الشركات والجامعات[10] .

ومن المشاريع الأخرى القائمة فى ألمانيا مشروع :

(solar– wasser stoff– Bayern)

والذى تساهم فيه 5 شركات ألمانية هى :

Bayernwerk بنسبة 60٪ .

BMW بنسبة 10٪ .

londs بنسبة 10٪ .

MBB بنسبة 10٪ .

siemens بنسبة 10٪ .

ويهدف المشروع إلى اختبار منظومة إنتاج هيدروجين شمسى متكاملة تحت ظروف الاشعاع الشمسى فى أوروبا وتطوير المنظومة لأفضل أداء .

ويبلغ متوسط الاشعاع الشمسى فى هذا الموقع (جنوب المانيا)1100ك . و . س/ المتر المربع فى السنة ، أما الميزانية التى خصصت له فهى 64 مليون مارك ألمانى .

وتضمنت المرحلة الأولى تركيب خلايا شمسية أحادية التبلر وثنائية التبلر بسعة 270 ك . وات وعدد(2) محلل كهربى سعة 100 و 110 ك . وات على التوالى . وعدد (2) خلايا وقود أحداهما ذات محلول أيونى قلوى والثانية ذات محلول أيونى من حامض الفوسفوريك إضافة إلى أجهزة لتنقية غاز الهيدروجين وضغطه واسطوانات للتعبئة وبعض المعدات لاستخدامه فى الاغراض المختلفة ، إضافة إلى محطات وقود للسيارات . وقد بدأت هذه المرحلة سنة 1986 واستمرت إلى نهاية 1991م . أما المرحلة الثانية فقد بدأت مع بداية 1992م . وتضمنت خلايا شمسية لتقنيات حديثة مثل الخلايا ذات الأغشية الرقيقة ومحللات كهربائية

تعمل عند ضغط مرتفع وخلايا وقود ذات تقنية متقدمة وبعض الاستخدامات المختلفة للهيدروجين كوقود [10 , 11] .

ولعل أقدم المشاريع القائمة فى هذا المجال هو مشروع (Home stead) الذى أقامته شركة بيلينج للطاقة فى ولاية يوتا بالولايات المتحدة فى منطقة سكنية مكونة من 31 منزلا يتم فيها استخدام الهيدروجين بدلا عن الغاز الطبيعى والجازولين لتغطية الاحتياجات الطاقوية المختلفة . حيث يتم تشغيل المعدات المنزلية العاملة بالغاز الطبيعى بعد تطويرها وتعديلها للعمل بالهيدروجين . كما يتم تشغيل سيارتين بالهيدروجين ويهدف هذا المشروع الى بحث إمكانيات استخدام الهيدروجين فى الأغراض الطاقوية المختلفة سواء فى الاستخدام المنزلى للأغراض المختلفة وفى المواصلات وتطوير هذه المعدات للعمل بالهيدروجين وتقييم هذه المعدات.أيضا تطوير طرق إنتاج وتخزين الهيدروجين الشمسى[12] .

نقل الطاقة الشمسية عبر القارات :

بما أن الدول الصناعية هى أكثر الدول قلقا على مخزون الوقود الحفرى وأكثرها استهلاكا للطاقة وبما أن الاشعاع الشمسى يتركز فى المناطق 30—40 درجة شمالا وجنوبا من خط الاستواء ، نجد أن هذه الدول تفكر جديا فى استيراد الطاقة الشمسية من هذه المناطق . وذلك عن طريق تحويل هذه الطاقة إلى طاقة كيميائية (أو إنتاج الهيدروجين) ثم نقلها إلى أماكن استخدامها فى هذه الدول . والاتجاه السائد لدى هؤلاء العلماء هو تركيب خلايا شمسية فى المناطق الصحراوية المنتشرة على الكرة الارضية وذلك لتوليد الكهرباء . ثم استخدام الكهرباء الناتجة فى محللات كهربائية لتحليل الماء إلى عنصريه (الهيدروجين والاكسجين) . ثم تخزين ونقل الهيدروجين الناتج لاستخدامه فى الأغراض المختلفة .

ولقد فكر الألمان منذ عدة عقود مضت فى استيراد الطاقة الشمسية من الدول الأفريقية الغنية بالاشعاع الشمسى والتى يصل فيها الاشعاع الشمسى ضعف قيمته فى وسط أوروبا (أى 2380 — 2630 ك . و . س/ متر مربع) فى شكل هيدروجين ينقل كغاز فى أنابيب الغاز الطبيعى الموجودة حاليا والتى تمر من الجزائر عبر تونس والبحر المتوسط ثم ايطاليا أو نقله مسالا فى أوعية خاصة عبر السفن فى البحر ومن ثم توزيعه فى أوروبا واستخدامه فى الأغراض المختلفة كطاقة حرارية أو طاقة كهربائية عبر خلايا الوقود أو كوقود فى قطاع المواصلات أو فى الأغراض الصناعية وغيرها[13] .

وفى أحدى الدراسات التى قام بها العلماء الألمان عن تصدير الطاقة الشمسية من شمال أفريقيا إلى أوروبا تمت مقارنة ثلاثة أساليب لنقل هذه الطاقة وهى نقلها على شكل كهرباء عبر خطوط الجهد العالى بتيار مستمر أو نقلها فى شكل وقود أو طاقة كيميائية عن طريق توليد الهيدروجين فى موقع محطات الطاقة الشمسية ثم نقل هذا الهيدروجين عبر أنابيب أو الخلط بين النظامين السابقين . وفى هذه الدراسة ستقام محطة لمعالجة المياه فى مدينة (Syrte Minor) فى تونس ومد أنابيب المياه إلى محطة انتاج الهيدروجين فى مدينة (In– Salah) فى الجزائر وذلك لمسافة 1000 كيلومتر .

وقد وجد ان الطريقة الاخيرة هى الاكثر اقتصادا . ففى النظام المختلط من المقترح سيتم نقل 80 ٪ من الطاقة الشمسية على شكل هيدروجين و 20 ٪ على شكل كهرباء ، وستستخدم أنابيب نقل الغاز الطبيعى المستخدمة حاليا لنقل الغاز الطبيعى من الجزائر الى ايطاليا [14] . كما ان خطوط الكهرباء ستسلك نفس الطريق .

ففى طريقة نقل الطاقة على شكل كهرباء سيتم إنتاج الهيدروجين بواسطة التحليل الكهربى للماء فى أوروبا ، وتصل الكفاءة الكلية لهذا النظام إلى 76٪ وتكلفة الهيدروجين المنتج 27 . - 1 . 39 مارك ألمانى /ك . و . س على حسب سعر الخلايا الشمسية . أما فى الطريقة التى سيتم فيها إنتاج الهيدروجين فى شمال أفريقيا ونقله كغاز عبر الانابيب إلى أوروبا ، فالكفاءة الكلية لهذا النظام 73٪ وتكلفة الهيدروجين 3 . 0 - 1 . 44 مارك ألمانى/ك . و . س ، وسيتم توزيع الهيدروجين فى المانيا فى شبكة الأنابيب المستخدمة حاليا للغاز الطبيعى . أما فى النظام المختلط فكفاءة النظام تصل إلى 82٪ وتكلفة إنتاج الهيدروجين 26 . - 1 . 32 مارك/ك . و . س .

وقد أوضحت بعض الدراسات بأن مساحة الأرض اللازمة لتركيب خلايا شمسية لإنتاج هيدروجين يعادل الاستهلاك العالمى للطاقة من الوقود الحفرى لسنة 1990 ، هى 500,000 كيلو متر مربع أى أقل من 2٪ من مساحة الصحراء فى العالم [15] .

ومن المشاريع القائمة التى يتم فيها نقل الطاقة عبر القارات هو مشروع (Euro– Quebec Hydrogen Pilot Plant) القائم فى كندا والذى تستخدم فيه الطاقة الكهربائية المولدة من المساقط المائية لتحليل الماء وانتاج الهيدروجين ومن تم نقله عبر السفن إلى أوروبا حتى يتم توزيعه واستخدامه فى الأغراض المختلفة (طاقة حرارية ، طاقة كهربائية ، فى وسائل المواصلات

الأرضية والجوية ، . . . .) ويهدف هذا المشروع إلى ايجاد الطريقة المناسبة لنقل مصادر الطاقة المتجددة عبر القارات[16] . كما تتم دراسة تصدير الطاقة داخل أوروبا والتى بنيت على إمكانية تصدير الطاقة الكهرومائية من النرويج إلى ألمانيا فى شكل هيدروجين أو كهرباء وتوجد ثلاث طرق أو دراسات مقترحة بالخصوص أولها بقدرة 100 ميجاوات والأخريان قدرة كل منهما 20 ميجاوات وفى الأولى يتم شحن الهيدروجين المسال عن طريق بواخر فى أوعية خاصة ويتم تقييم المشروع تقنيا واقتصاديا لإمكانية جعله تجاريا فى المستقبل[17] ومقارنته مع المشروع الكندى [EQHHPP] والذى له نفس القدرة .

وكمية الهيدروجين المنتج فى الدراسة الأولى 20,000 متر مكعب/ الساعة .

أما فى الحالتين الأخريين فالقدرة المستهلكة 20 ميجاوات وكمية الغاز المنتج 4000 متر مكعب/ الساعة .

العوائق التى تقف أمام استخدام الهيدروجين ؟

توجد بعض العوائق التى تقف أمام انتشار استخدام الهيدروجين كوقود فى الوقت الحالى ، والتى نذكر منها :

النواحى الاقتصادية :

رخص سعر النفط (أو الوقود الحفرى بشكل عام) يجعل الهيدرجين غير اقتصادى لاستخدامه بدلا من الوقود التقليدى ، فسعر إنتاج الهيدروجين بطريقة تهذيب البخار للميثان أو للغاز الطبيعى هى 5—10 دولار/ مليون وحدة حرارية بريطانية . بينما سعر انتاجه من التحليل الكهربى للماء يعتمد على سعر الكهرباء المستخدمة ، فهو يتراوح من 10 إلى 25 دولار لكل مليون وحدة حرارية بريطانية .

نواحى الانتاج :

95 بالمائة من الهيدروجين المنتج حالياً هو من الغاز الطبيعى وذلك عن طريق تهذيب البخار ، ولكن من عيوب هذه الطريقة انتاج غاز ثانى اوكسيد الكربون وكفاءة هذه الطريقة 65 بالمائة فقط . اما طريقة التحليل الكهربى للماء فهى اكثر كفاءة وانظف بيئيا ولكنها لاتعتبر اقتصادية الا فى حالة توفر مصدر رخيص للكهرباء ، مثل المساقط المائية ، وذلك كما هو فى كندا . هذا ولايزال العديد من طرق الانتاج تحت الدراسة والبحث وربما تثبت جدواها الاقتصادية فى القرن القادم .

نواحى الاستخدامات :

اكثر الاستخدامات الحالية للهيدروجين كمصدر للطاقة هو كونه كوقود لمركبات الفضاء ، ولنشر استخدامه كوقود للاحتياجات الطاقوية المختلفة مستقبلا لابد من تطوير طرق انتاجه وتخزينه ونقله وتوزيعه وسلامة استخدامه .

نواحى السلامة فى استخدامه :

لقد اوضحت وكالة الفضاء الامريكية سلامة استخدام الهيدروجين كوقود . ومقارنة للوقود التقليدى لايعتبر الهيدروجين خطر الاستخدام ، فقد تم استخدامه فى السابق كغاز للمدن فى اوربا وفى الولايات المتحدة ، حيث كان هذا الغاز (غاز المدينة) يحتوى على الهيدروجين واول اوكسيد الكربون . ولنشر استخدامه كوقود مستقبلا لابد من اقامة حملة توعية توضح فيها كل الطرق السليمة لاستخدامه وللتعامل معه . ■

المراجع

1 · Bockris,J · O ·M · and Wass, J ·C ·,« About The Real Economics Of Massive Hydrogen Production At 2010 A·D » Hydrogen Energy Progress VII, Proceedings Of the 7th WHEC, Moscow, U·S·S·R ·

2 ·« Solar Hydrogen Energy Carrier for the Future », Companion brochure for an exhibition , prepared by DLR , ZSW and ministry of Economic Affairs and Tecgnology , FRG ·

3 Davis, Ged R·, « Energy For Planet Earth », Scientific Americcan, VOL 236, NO ·3 , Sept · 1990 ·

4 ·Selvam, P ·, « Energy and Environment – An All Time Search », Int · Journal of Hydrogen Energy, VOL ·16, NO ·1, PP 35 –45, Pergamon Press, 1991 ·

5 ·Veziroglu·T ·N, « Take – Of The Hydrogen Energy System », Int· Journal Of Hydrogen Energy, VOL ·14, NO ·8, PP491 –492, Pergamon Press, 1989 ·

6 ·Dinga, G ·P·,« Hydrogen : The Ultimate Fuel and Energy Carrier », Int· Journal of Hydrogen Energy, VOL·14, NO·11 PP777 –784, Pergamon Press, 1989 ·

7 ·Goltsova, L·F·,....et al ,« Scientometric Studies of the Problem of HYDROGEN ENERGY AND TECHNOLOGY In The World », Int. Jornal of Hydrogen Energy, VOL.15, NO.9, PP655 –662, Pergamon Press, 1990 .

8 .Hiraoka, K.,.....et al, « Energy Analysis of CO2 Emission Evaluation of a Solar Hydrogen Energy System In Japan –I ·
Conceptual Design of The System », Int. Journal of Hydreogen Energy, VOL.16, NO.9, PP631 –638, Pergamon Press, 1991 .

9 .Grasse, W., Oster,F. and Aba –oud,H., « HYSOLAR : THE German – Suadi Arabian Program on Solar Hydrogen – 5 – Years of Experience », I.J.H.E. VOL.17, NO.1, PP –8 Pergamon Press, 1992 .·

10 .Winter,C.J. and Fuchc,M « HYSOLAR and Solar Wasserstoff –Bayern », Int. Journal of Hydrogen Energy , VOL.16, No.11 pp 723–734, Prergamon Press, 1991

11 .Szyszka, A., « Realization of The Solar – Hydrogen Project at Neunburg Vorm Wald, F.R.G. », I.J.H.E., VOL.15, NO.8, PP597 –600, Pergamon Press, 1990 .

12 .Wally ,R.L., « The Hydrogen Homestead Project », Symposium Paper, Hydrogen For Energy Distribution », Institute of Gas Technology, July 24 –28, 1978 .

13 .Winter, G.J. and Nitsch, « Hydrogen ENERGY –A SUSTAINABLE DEVELOPMENT Towards A World Energy Supply System For Future Decades », Int. Journal of Hydogen Energy, VOL14, NO.11, PP785 –796, Pergamon Press, 1989 .

14 .Kaske, G.,....et al, « Comparison Between High Voltage Direct Current Transmission and Hydrogen Transport» , I.J.H.E., VOL.16, NO.2, PP105 –114, Pergamon Press, 1991 .

15 .Voigt, C., « Material and Energy Requirements of Solar Hydrogen Plants », Int. Journal of Hydrogen Energy, VOL.9 NO.6, PP491 –500, Pergamon Press, 1984 .

16 .Gretz, J.P.,...et al, « The 100 MW Euro – –Quebec Hydro – Hydrogen Pilot Plant », I.J.H.E., VOL.15, NO.6, PP419 –424, Pergamon Press, 1990 .

17 .Andereasen, K.,....et al, « Norwegian Hydro – Energy In Germany (NHEG) », I.J.H.e., VOL.18, NO.4 PP325 –336, Pergamon Press, 1993 .