تقنيات إنتاج الهيدروجين

د . وداد أبوالقاسم الأسطى *

مقدمة :-

ان فكرة استخدام الهيدروجين كحامل للطاقة ليست جديدة ، ففى سنة 1780 م أنتج أول مرة غاز مكون من 50٪ هيدروجين ، 40٪ أول أكسيد الكربون وآثاراً لبعض الغازات الأخرى [1] . وقد توقف استخدام هذا الغاز فى الستينات فقط ، حيث استبدل بالغاز الطبيعى . وقد تنبأ العالم الفرنسى جول فرن سنة 1874 فى كتابه « جزيرة الألغاز » بأن الماء سيستخدم وقودا فى المستقبل ، وأقترح تحليل الماء فى خلايا التحليل الكهربى لانتاج الهيدروجين والأكسجين ، ومن ثم استخدام الهيدروجين منفردا أو مع الأكسجين للحصول على مصدر لاينضب من الطاقة وبالتالى حل مشاكل الطاقة المستقبلية .

اختزنت الأرض الطاقة الشمسية فى شكل حياة نباتية وحيوانية منذ ملايين السنين ، وحولتها ، عبر عمليات طويلة ومعقدة ، إلى طاقة كيميائية (ما نعرفه اليوم بالوقود الحفرى) . ويمكن تحويل هذه الطاقة إلى أنواع مختلفة من الطاقات التى يتم استخدامها . وقد استخدم الانسان هذا المصدر بشراهة دون أن يعرف حدود هذا المصدر والنتائج المترتبة عن حرقه واستخدامه . فكان لابد له اليوم من البحث عن مصادر أخرى تكفل له استمرار حياته وتطورها . والمصدر المرشح هو الماء .

فاستخدام مصدر أولى للطاقة الكهربائية ، من أحد الطاقات المتجددة ، لتحليل الماء الى عنصرية الهيدروجين والاكسجين هو الحل الأمثل لمشاكل الطاقة الحالية . والهيدروجين المحضر من الماء هو وقود المستقبل على هذه الأرض .

ويعتبر الهيدروجين أهم أنواع الوقود التى يتوقع استخدامها مستقبلا بعد استنفاذ أنواع الوقود التقليدى المستعملة حاليا . كما انه اللبنة الأساسية لبناء الكون . وقد أظهرت الدراسات ان نسبة الهيدروجين فى الكون تزيد قليلا عن 90٪ من مجموع الذرات . وحيث أن ذرة الهيدروجين أخف الذرات فان النسبة الوزنية للهيدروجين تقارب من 75٪ . أما الهيليوم فتشكل ذراته حوالى 9٪ من الذرات جميعا فى الكون .

فالهيدروجين يمتلك أصغر ذرة كما أنه أخف العناصر كثافة وهو قابل للاشتعال ويمكن اسالته بالضغط والتبريد ، ويدخل الهيدروجين فى تركيب مواد كيميائية كثيرة أهمها الماء ، والمركبات العضوية التى تكون الأجسام الحية من نباتات وحيوانات . فهو يتحد مع الكربون لتكوين المواد الهيدروكربونية . كما يتحد مع الكربون وعناصر أخرى مثل الأكسجين والنيتروجين والحديد والماغنسيوم والكبريت والفسفور ليكون مركبات حيوية عديدة .

أما وجوده كعنصر منفرد فهو نادر على سطح الأرض . وغاز الهيدروجين من أكثر الغازات وفرة فى الكون ولكن الغلاف الجوى يفتقر لوجوده كعنصر طليق . ويوجد بنسبة قليلة متحدا مع بعض العناصر على هيئة مركبات فى القشرة الأرضية ويوجد بنسبة عالية متحدا مع الأكسجين فى الماء الذى يملأ البحار والمحيطات . لذلك تعتبر المياه المتوافرة فى البحار والمحيطات المصدر الرئيسى لغاز الهيدروجين والمصدر الرئيسى لوقود المستقبل .

وحرق الهيدروجين للحصول على طاقة حرارية لاينتج عنه سوى الماء واستخدامه فى مولدات الطاقة الكهربائية (خلايا الوقود) من أنظف وأكفاء الأنظمة المستخدمة فى الوقت الحالى ، حيث يتأكسد الهيدروجين ويختزل الهواء أو الأكسجين فى هذه الخلايا بعد عزل كل منها على أقطاب مسامية خاصة (أنظر موضوع خلايا

* مركز دراسات الطاقة الشمسية

الوقود فى العدد الأول من مجلة الطاقة والحياة) وعند سريان الكترونات فى دوائر كهربائية خارجية يتم الحصول على طاقة كهربائية .

طرق انتاج الهيدروجين

الهيدروجين يعتبر مصدرا مغريا لطاقة نظيفة . وأغلب الهيدروجين المستخدم حاليا ينتج من النفط أو الغاز الطبيعى بواسطة تهذيب البخار أو الأكسدة الجزئية ولكن الهيدروجين المنتج من تفكك الماء يعتبر أنقى وأفضل من ناحية التلوث البيئى وخاصة عند استخدام مصدر أولى نظيف للطاقة مثل الطاقة الشمسية . ويمكن انتاج الهيدروجين بأحدى الطرق الآتية :

1 ـ انتاج الهيدروجين من الوقود الحفرى

فى الوقت الحالى يتم انتاج الهيدروجين فى أغلب الدول المنتجة للهيدروجين من الوقود الحفرى والماء كمواد خام وباستخدام طاقة مولدة من الوقود الحفرى ، حيث يتم اختزال الماء الى هيدروجين بواسطة الكربون أو أول أكسيد الكربون وتتأكسد المواد الهيدروكربونية جزئيا الى ثانى أكسيد الكربون ويصل انتاج الهيدروجين فى العالم يوميا الى 5 . 4ملايين متر مكعب [2] منها 48٪بواسطة النفط و30٪ بواسطة الغاز الطبيعى و 10٪من الفحم [1] . ويمكن انتاج الهيدروجين عن طريق الوقود الحفرى بأحدى الطرق التالية كما هو موضح فى جدول (1) [1 ، 2] :

جدول (1) طرق انتاج الهيدروجين من الوقود الحفري كمادة خام وبواسطة الوقود الحفري كمصدر للطاقة [1]

الطريقة	تهذيب البخار	الاكسدة الجزئية	تغويز الفحم	تحويل اول اكسيد الكربون
المادة الخام	مواد هيدروكربونية سائلة او غازية	مواد هيدروكربونية سائلة او صلبة او غازية	فحم	اول اكسيد الكربون
درجة الحرارة (م)	850<	1200 ـ 1400	800 ـ 2000	(HT) 350 ـ 500 (LT) 200 ـ 250
الضغط (جوي)	25	10 ـ 100	1 ـ 40	ـــــ
المادة المتفاعلة	يد ا	يد ا و ا	يد ا و ا	يد ا
المادة الحفارة	اكسيد النيكل	ـــــ	ـــــ	2 ا/كر ا
مصدر الطاقة	وقود حفري	وقود حفري	وقود حفري	وقود حفري
نواتج التفاعل	يد ، ك ا	يد ، ك ا	يد ، ك ا	يد ، ك ا
نسبة الغاز (٪)	52 ، 11	50 ، 50	20 ـ 40، 15 ـ 65	70 ـ 90 ، 10 ـ 30

1 . 1 . اعادة تشكيل البخار (أو تهذيب البخار) عن طريق وسيط :

وهى أحدى الطرق المنتشرة الاستخدام منذ عدة عقود لانتاج الهيدروجين وأكفأ الطرق وأكثرها اقتصادية . وتشمل هذه الطريقة تحويل المواد الهيدروكربونية وبخار الماء الى هيدروجين وأكاسيد الكربون بالتحفيز . وتستخدم فى هذه الطريقة المواد الهيدركربونية الخفيفة مثل الميثان والنافتا والتى يمكن أن تتبخر دون تكون للكربون . ويكون 50٪ من الهيدروجين المنتج بهذه الطريقة من بخار الماء فى حالة استخدام الميثان 64.5 ٪ فى حالة استخدام النافتا .

ولاطالة عمر الوسيط ، يجب ازالة الكبريت من المواد الهيدروكربونية قبل عملية التهذيب ثم يمرر بخار الماء ويتم التفاعل على وسيط من النيكل بداخل أنابيب من مركبات معدنية يغلب عليها الحديد الصلب . وعادة ما تكون نسبة الغازات الناتجة (بالحجم) من هذا الغاز الصناعى هى : 74٪ هيدروجين ، 18٪ أول أكسيد الكربون ، 6٪ ثانى أكسيد الكربون و 2٪ ميثان . وبعد الانتهاء من عملية التهذيب يمرر الغاز الناتج فى منظومة لانتاج كمية أكبر من الهيدروجين وتحويل أول أكسيد الكربون الى ثانى أكسيد الكربون وذلك حسب التفاعلات التالية [2] :

ك ن يدم + ن يد$_2$أ ← ن ك أ + (ن + م/2) يد$_2$

ك أ + يد$_2$أ ← ك أ$_2$ + يد$_2$

ك أ + 3 يد$_2$ ← ك يد$_4$ + يد$_2$أ

حيث ان :

ن = 1 ، م = 4 في حالة الميثان.

ثم يمرر الغاز الناتج فى وحدة تنقية لازالة أول أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكربون وبعض الشوائب الأخرى وذلك للوصول الى درجة معينة من نقاوة غاز الهيدروجين التى تصل من 97 الى 98٪ .

1 . 2 . انتاج الهيدروجين عن طريق الأكسدة الجزئية

تعتمد هذه الطريقة أساسا على تحويل البخار والأكسجين والمواد الهيدروكربونية الى هيدروجين وأكاسيد الكربون . وتتم هذه العملية عند ضغط مرتفع نوعا ، مع / أو بدون وسيط معتمدة على المواد الأولية أو الوقود المستخدم والطريقة المستخدمة .

فمثلا طريقة الأكسدة الجزئية مع وسيط تتم عند درجة حرارة 590 درجة مئوية وتستخدم مواد أولية تتراوح من الميثان الى النافتا . أما طريقة الأكسدة الجزئية بدون وسيط فتتم عند درجات حرارة مرتفعة نوعا من 1150 ـ 1315 درجة مئوية وتستخدم فيها مواد هيدروكربونية تتراوح من الميثان الى الزيوت الثقيلة أو الفحم .

عندما يستخدم الفحم يتم تغويزه وحيث ان نسبة الهيدروجين الى الكربون منخفضة فى حالة استخدام المواد الهيدروكربونية الثقيلة نجد أن جزءا كبيرا من الهيدروجين فى هذه الطريقة يأتى من بخار الماء وبالتالى الحصول على نسبة كبيرة من ثانى أكسيد الكربون فى الغاز المنتج . وتصل نسبة الهيدروجين المنتج من الماء 69٪ عند استخدام الزيوت الثقيلة بينما تصل الى 83٪ فى حالة الفحم .

وتتشابه هذه الطريقة مع الطريقة السابقة فى مراحلها حيث تتم على 3 مراحل أيضا وهى : توليد الغاز الصناعى ، تفاعل الماء والغاز وتنقية الغاز . ففى مرحلة توليد الغاز ، تتم أكسدة المواد الهيدروكربونية جزئيا بالأكسجين وتحويل أول أكسيد الكربون عن طريق بخار الماء وينتج بالتالى الهيدروجين . وحيث أنه من الصعب ازالة النيتروجين عن غاز الهيدروجين لانتاج غاز نقى ، لذلك يجب استخدام أكسجين فى عملية الأكسدة الجزئية بدلا عن الهواء الجوى . وتكون التفاعلات فى عملية الأكسدة الجزئية كالآتى :

ك ن يدم + (ن/2) أ$_2$ ← ن ك أ + (م/2) يد$_2$ + حرارة

ك ن يدم + ن يد$_2$أ + حرارة ← ن ك أ + (ن + م/2) يد$_2$

ك أ + يد$_2$أ ← ك أ$_2$ + يد$_2$ + حرارة

وعادة ما تكون نسبة الغازات الناتجة كالآتى : 46هيدروجين ، 46٪ أول أكسيد الكربون و 6٪ ثانى أكسيد الكربون و 1٪ ميثان و 1٪ نيتروجين وأرغون . وتتم معالجة الغاز الناتج بنفس الطريقة السابقة فى تقويم البخار أى يمرر الغاز الناتج فى وحدة تحويل الغاز لانتاج الهيدروجين وتحويل أول أكسيد الكربون الى ثانى أكسيد الكربون ثم تنقية غاز الهيدروجين من أى شوائب أو غازات .

1 . 3 . انتاج الهيدروجين بتغويز الفحم

يؤكسد الفحم المسحوق جزئيا بواسطة الأكسيجن وبخار الماء عند الضغط الجوى ويتكون الغاز الصناعى الناتج من النسب التالية : 29٪هيدروجين ، 60٪ أول أكسيد الكربون ، 10٪ ثانى أكسيد الكربون ، 1٪ أرجون ونيتروجين . تبرد هذه الغازات وتمرر فى وحدة تحويل الغاز لتحويل أول أكسيد الكربون الى ثانى أكسيد الكربون وأيضا زيادة كمية الهيدروجين وبعدها ينقى غاز الهيدروجين من الشوائب وتصل درجة

نقاء غاز الهيدروجين فى هذه العملية 97.5 ٪

1 . 4 . طريقة تحويل أول أكسيد الكربون

وفيها يتم تفاعل أول أكسيد الكربون مع بخار الماء تحت ظروف الضغط الجوى وعند درجة حرارة تتراوح من 200 ـ 250 درجة مئوية فى حالة التفاعل المنخفض الحرارة أو عند 350 ـ 500 درجة مئوية فى حالة التفاعل المرتفع الحرارة ، حيث يضاف أكسيد الكروم لحفز التفاعل . وتكون نسبة غاز الهيدروجين الناتجة من التفاعل مرتفعة مقارنة بالطرق السابقة إذ تبلغ 70 ـ 90٪ بالحجم . أما بالنسبة لثانى أكسيد الكربون فهى من 30 ـ 10٪ وذلك حسب التفاعل التالى :

ك أ + يد$_2$أ ← ك أ$_2$ + يد$_2$.

2 . انتاج الهيدروجين بتفاعل الحديد مع بخار الماء

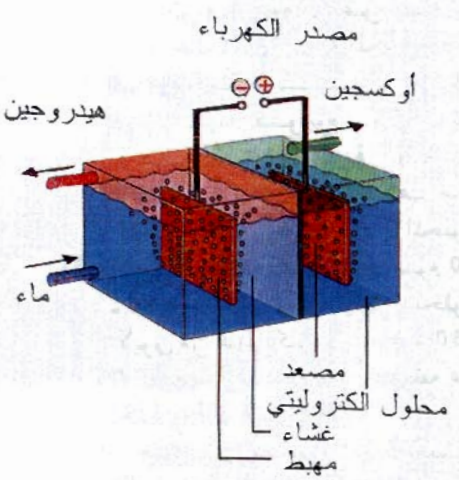
وتتلخص هذه العملية فى تفاعل بخار الماء مع الحديد الساخن (450 درجة مئوية) لانتاج غاز غنى بالهيدروجين وأكاسيد الحديد . عادة ما يتم الحصول على غاز غنى بالهيدروجين (هيدروجين وأول أكسيد الكربون) بأحد الطرق السابقة وخاصة طريقة تغوير الفحم ، حيث يمرر هذا الغاز مع بخار الماء على أكاسيد الحديد ، الناتجة من تفاعل بخار الماء مع الحديد الساخن ، فينتج الهيدروجين وتزداد كميته ويتحول أول أكسيد الكربون الى ثانى أكسيد الكربون وتختزل أكاسيد الحديد الى حديد ، وتتم العملية على أربع مراحل هى : تغويز الفحم ـ اعادة توليد الحديد ـ انتاج الهيدروجين ـ تنقية غاز الهيدروجين .

3 . التحليل الكهربى للماء

تعتبر طريقة التحليل الكهربى للماء أفضل الطرق لانتاج الهيدروجين ومصدر التيار الكهربى قد يكون أحد مصادر الطاقة المتجددة لذلك فهى لاتعتمد على الوقود الحفرى كمصدر أولى للطاقة . ومع أن هذه الطريقة ليست منافسة للطرق السابقة اقتصاديا الا ان لها عدة مميزات منها ان غاز الهيدروجين الناتج يكون ذا نقاوة عالية تفوق 99٪ وأكثر الطرق كفاءة ومرونة فى التشغيل .

وحيث ان الهيدروجين يرتبط مع الأكسجين فى جزىء الماء ارتباطا وثيقا فهذا يتطلب قدرا كبيرا من الطاقة لفك هذا الارتباط . وفى هذه الطريقة يتم فصل الماء الى عنصرية الهيدروجين والأكسجين عن طريق امرار تيار كهربى مستمر بين قطبين مغمورين فى محلول أيونى موصل للتيار الكهربى . وتتكون محطة انتاج الهيدروجين من محطة تنقية للماء ـ محلل كهربى ـ فاصل للغاز ـ محول تيار ـ منظم ـ مقوم تيار ـ آلة ضغط الغازات .

أما خلية التحليل الكهربى فهى تتركب من قطبين مغمورين فى محلول ألكتروليتى حامضى أو قاعدى (غالبا ما يكون قاعديا) ويفصل القطبان بواسطة حاجز أو غشاء نصف نافذ . وعند توصيلهما بمصدر كهربائى مستمر بفرق جهد 48 . 1 فولت تقريبا ، تحت الظروف العادية للحرارة والضغط ، يتفكك الماء الى عنصرية الهيدروجين والأكسجين . فيتحرر الهيدروجين عند الكاثود والاكسجين عند الأنود ، وذلك كما فى شكل (1) [3] ، وحسب التفاعل الكهروكيميائى التالى لمحلول



ألكتروليكى قاعدى :

التفاعل عند الكاثود :

2 يد$_2$أ + 2 e$^-$ ← يد$_2$ + 2 يد أ$^-$

التفاعل عند الأنود :

2 يد أ$^-$ ← يد$_2$أ + 0.5 أ$_2$ + 2e$^-$

التفاعل الكلى :

2 يد$_2$أ ← 2 يد$_2$ + أ$_2$

التفاعل لمحلول الأكتروليتى حامضى :

التفاعل عند الكاثود :

4 يد$^+$ + 4e$^-$ ← 2 يد$_2$

التفاعل عند الأنود :

2 يد$_2$أ ← أ$_2$ + 4 يد$^+$ + 4e$^-$

التفاعل الكلى :

2 يد$_2$أ ← 2 يد$_2$ + أ$_2$

وبشكل عام يمكن استخدام هيدروكسيد الصوديوم أو هيدروكسيد البوتاسيوم كمحلول أيونى للخلية . ومن مميزات محلول هيدروكسيد البوتاسيوم أنه أكثر ايصالية للكهرباء منه لمحلول هيدروكسيد الصوديوم . أيضا أقل قابلية لاذابة غاز ثانى أكسيد الكربون ، الذى يحدث تلوثا وفى اقلال الايصالية للمحلول الايونى من تلك لمحلول هيدروكسيد الصوديوم (الصودا الكاوية) .

ويمكن ملاحظة أن أعلى ايصالية تحدث عندما تكون نسبة المحلول 28٪ لهيدروكسيد البوتاسيوم و 20 لهيدروكسيد الصوديوم . وذلك عند درجات الحرارة العادية . وتتراوح درجة الحرارة التى تصل عندها خلية التحليل الكهربى عندما يكون المحلول الأيونى من هيدروكسيد البوتاسيوم 60 ـ 80 درجة مئوية وعندما يكون المحلول الأيونى من هيدروكسيد الصوديوم 50 ـ 70 درجة مئوية ، وذلك للمحافظة على الخلية واطالة عمر أجزائها .

وتعتمد كفاءة خلية التحليل الكهربى على المواد المصنع منها الأقطاب والغشاء الفاصل بينها وأيضا المحلول الأيونى ، حيث أن المحلول الأيونى يجب أن يكون ناقلا جيدا للأيونات وذا استقطابية قليلة . أما المواد المستخدمة للأقطاب فيجب أن تكون مقاومة للتآكل . ويجب استخدام ماء نقى (ماء مطر مثلا) للخلية حيث أن وجود شوائب فى الماء يسبب تلوث المحلول الأيونى . لذلك كان لابد من وجود وحدة تحلية لكل منظومة انتاج هيدروجين أو لكل محطة لانتاج الهيدروجين .

وتصل كفاءة المحللات الكهربائية الى 80٪ [2] وذلك عندة شدة تيار 2000 أمبير / المتر مربع . وتعتمد كمية الهيدروجين المنتج (على وحدة المساحة من الكترود) على شدة التيار . وبشكل عام كلما زادت شدة التيار زاد فرق الجهد فى الخلية وبالتالى القدرة أو الطاقة الكهربائية اللازمة لعمل الخلية وبالتالى تكلفة انتاج الهيدروجين المنتج . وعند تصميم الخلية يجب عمل توازن بين حجم الخلية والذى يمكن اقلاله عند زيادة شدة التيار ، ومن ثم سعر المحطة (رأس المال + التشغيل والصيانة) وسعر الطاقة اللازمة لتشغيلها .

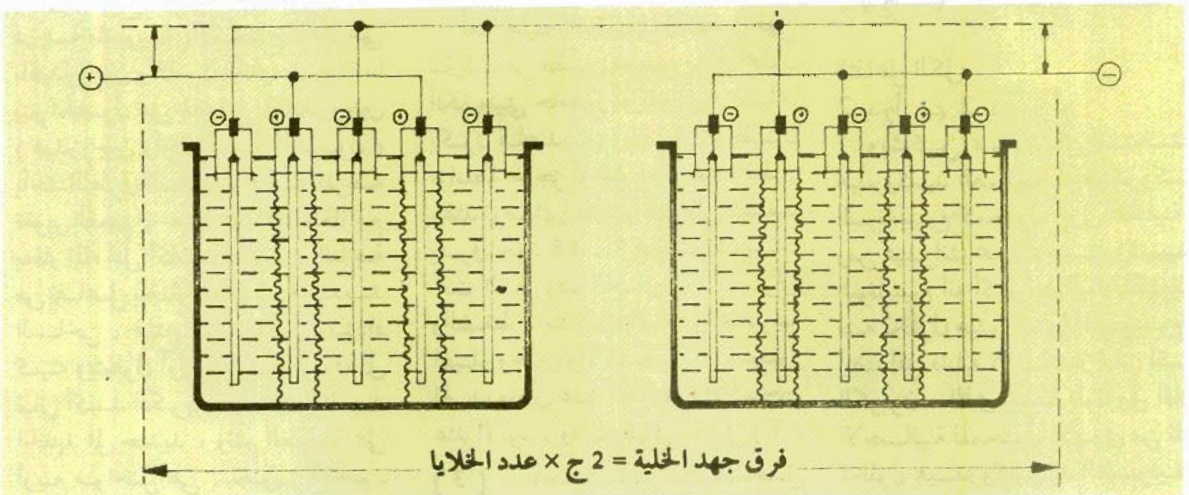
وفى هذه الطريقة لانتاج الهيدروجين نجد أن ما يقارب من 82٪ من سعر انتاج الهيدروجين النهائى عبارة عن سعر الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل المحطة بينما سعر المحطة لايتعدى 14٪ وسعر التشغيل والصيانة 4٪ فقط [2] . بينما سعر المحطة فى الطرق السابقة يتراوح من 30 ـ 58٪ وسعر التشغيل والصيانة من 10 ـ 20٪ ، أما باقى السعر فهو لانتاج الغاز الصناعى .

وعادة ما تعمل خلايا التحليل الكهربى التجارية بأحدى الطريقتين أو أحد الأسلوبين التاليين حيث تصنف بشكل عام الى محللات أحادية القطبية ومحللات ثنائية القطبية .

الخلية الأحادية القطبية

فى هذا النوع يتم فصل الكاثود والأنود بواسطة حاجز لمنع اختلاط الهيدروجين والأكسجين . ويحمل كلا الجانبين لكل من الكاثود والأنود ، نفس القطبية وذلك كما فى شكل (2) [4] ، ويكون المحلول الإلكتروليتى مشتركا . ويتم توصيل الأقطاب على التوازى . ويحاط كل كاثود بغشاء أو حاجز لمنع اختلاط الهيدروجين مع الأكسجين ويعمل هذا النوع من الخلايا عند شدة تيار عالية وفرق جهد منخفض . ويتم توصيل الخلايا على التوالى لزيادة فرق الجهد للمحلل .

ويمكن أن يعمر هذا النوع من المحللات لمدة 25 سنة ولايحتاج الى صيانة لمدة 10 سنوات . وعند صيانته يمكن فصل الخلايا التى بها خلل فقط واعادتها بعد الانتهاء من الصيانة ولكن عيوبها أنها تشغل حيزا كبيرا .



شكل (2) تركيب الخلية الاحادية القطبية

الخلية الثنائية القطبية

فى هذا النوع يتم عزل كل خلية عن الأخرى ويتم فصل قطبى كل خلية بحاجز أو غشاء . وكل قطب يمكن أن يكون كاثودا على أحد الأوجه وأنودا على الوجه الآخر وذلك كما فى شكل (3) . حيث يتم ربط الأقطاب على التوالى وتحتوى كل خلية على محول الكتروليتى مستقل عن الأخرى . كما يمكن أن يكون عدد هذه الأقطاب من 30 الى المئات ويكون فرق الجهد الكلى من 60 ـ 1200 فولت .

وتعتبر تقنيات المحلل الكهربى القاعدى أكثر أنواع المحللات الكهربية انتشارا من الناحية التجارية . وهذه المحللات التقليدية الحالية لاتحتاج الى تطويرات كبيرة ، بينما الأنواع المتقدمة منها والتى تعمل عند درجات حرارة مرتفعة نوعا فهى بحاجة الى تطوير الغشاء الفاصل . بالاضافة الى ايجاد وسائط نشطة ومستقرة ورخيصة التكلفة . أيضا ايجاد مواد تقاوم الصدأ والتآكل من جراء استخدام الكتروليت قاعدى وخاصة عند درجات الحرارة المرتفعة . جدول (2) يوضح مقارنة بين التقنيات المختلفة للمحللات الكهربائية[5] .

جدول (2) التقنيات الحالية والمتقدمة للمحللات الكهربائية للماء [5]

التقنية	المحللات القاعدية			المحلل الكهربائي المطعم الصلب	المحلل الكهربائي ذا الحرارة المرتفعة (المستخدم بخار الماء)
	التقليدية	المتقدمة	ذات الغشاء الصناعي (الغير عضوي)		
مرحلة التطور	احجام كبيرة تجارية	حجم معامل ونماذج	حجم معامل ونماذج	حجم معملي ونماذج	حجم معملي صغير جدا
فرق الجهد للخلية (فولت)	1.8 ـ 2.25	1.5 ـ 3.0	1.6 ـ 1.9	1.4 ـ 2	0.95 ـ 1.3
كثافة التيار (أمبير/سم²)	0.13 ـ 0.25	0.2 ـ 2.0	0.2 ـ 1.0	0.25 ـ 2.0	9.3 ـ 1.0
درجة الحرارة (م)	70 ـ 90	90 ـ 145	90 ـ 120	80 ـ 150	923 ـ 10.09
الضغط (جوي)	1 ـ 30	40	40	40	30
الكتروليت	25 ـ 35٪ هيدروكسيد البوتاسيوم	25 ـ 40٪ هيدروكسيد بوتاسيوم	14 ـ 15٪ هيدروكسيد بوتاسيوم	نافيون	اوكسيد زركونيوم موازن باكسيد اتيريوم
كفاءة الخلية (٪) الطاقة (ك.و.س/متر مكعب من الهيدروجين)	77 ـ 80 4.3 ـ 4.9	80 ـ 90 3.8 ـ 4.3	82 ـ 91 3.6 ـ 4.0	85 ـ 90 ---	90 ـ 100 3.5

المحللات الكهربائية ذات التقنية المتقدمة :

ويمكن تقسيمها الى الأنواع التالية :

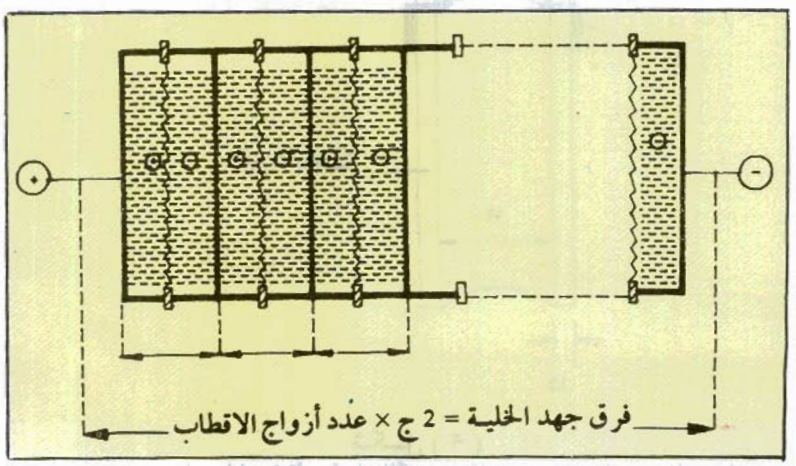
4 . 1 . المحللات الكهربائية التى تعمل عند ضغط مرتفع

فى هذا النوع من الخلايا يتم انتاج غازى الهيدروجين والأكسجين عند ضغط 30 جوى ولها عدة مميزات منها :

1 . القدرة المستهلكة تكون منخفضة .

2 . الاقلال من التكلفة الكلية حيث ان التكلفة ستنخفض لعدم الاحتياج الى ضغط الغاز الناتج .

كما انها تتميز بالارتفاع فى الكفاءة وانخفاض فرط الفولتية الذى يقل عند ارتفاع الضغط وانخفاض حجم الغاز . ولكن يجب الحذر من ذوبان الغازات (الأكسجين والهيدروجين) فى الالكتروليت ومن ثم اختلاطهما .



شكل (3) تركيب الخلية الثنائية القطبية

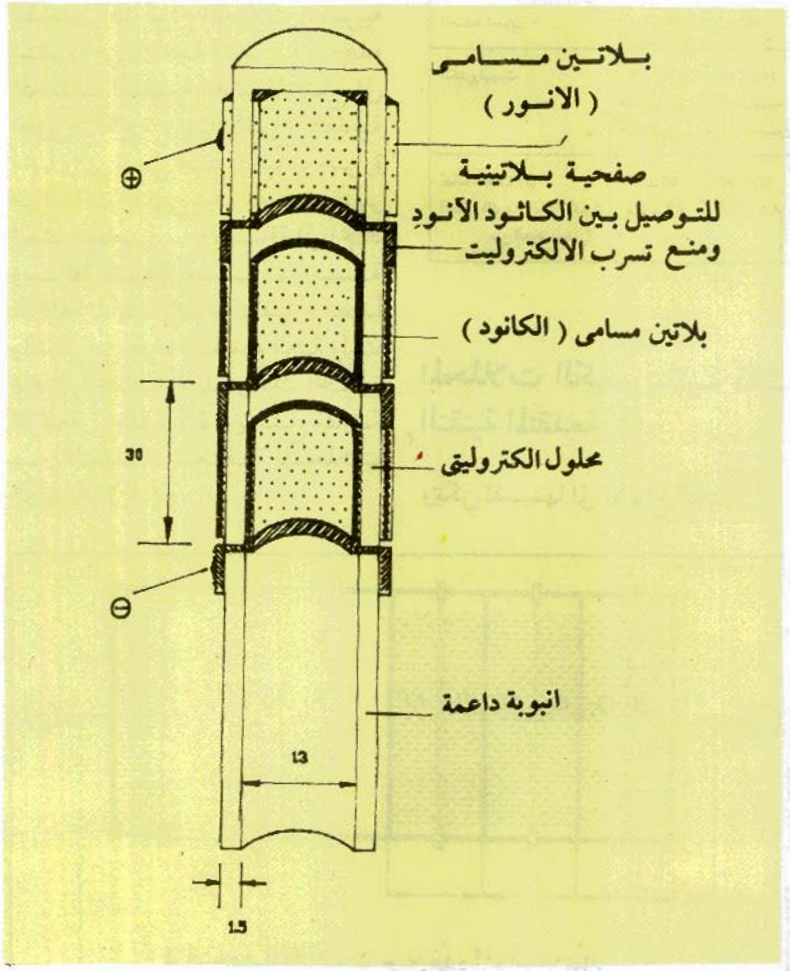
لذلك يجب أن يكون الغشاء بين الكاثود والانود ذا مقاومة عالية لنفاذ هذه الغازات وذا مقاومة منخفضة لمرور التيار الكهربى .

وتعمل معظم الخلايا الكهربائية التجارية عند الضغط الجوى . والغرض من رفع الضغط الذى تعمل عنده الخلية هو الاقتصاد فى تكلفة ضغط الهيدروجين بعد انتاجه . أيضا التقليل من حجم الخلية وفرق الجهد الذى تعمل فيه الخلية . ويعتبر رفع ضغط المحلل الكهربى عند درجات حرارة أكثر من 100 درجة مئوية ضروريا جدا وذلك للتقليل من نسبة تبخر الالكتروليت . ولكن يترتب على ذلك ارتفاع رأس المال وذلك لأنه عند العمل عند ضغط مرتفع يجب مراعاة توازن الغشاء وأخذ احتياطات أكبر فى التشغيل . وهذه الأسعار الاضافية يمكن أن تطغى على السعر الذى سيوفر من عدم الاحتياج الى ضغط الغاز بعد انتاجه .

4 . 1 . المحللات الكهربائية التى تعمل عند درجات حرارة مرتفعة

عند استخدام المحللات ذات الحرارة المرتفعة يتم تحليل بخار الماء عند درجات حرارة تصل الى 1000 درجة مئوية . وتعمل الخلية عند درجات حرارة بين 800 ـ 1200 درجة مئوية . ويتميز هذا النوع من المحللات بارتفاع كفاءته التى قد تصل الى 100٪ . ويستخدم فى هذا النوع من المحللات الكتروليت صلب من أكسيد الزركونيوم وأكسيد الايتريوم [4 ، 6 ، 7] . وتصنع الخلية ، عادة من ثلاثة أنابيب كما فى شكل (4) حيث يحيط الاقطاب بالكتروليت من الداخل والخارج . وتصنع الاقطاب من البلاتين . ويتم توصيل الخلايا كهربائيا على التوالى . ويوضع المحلل فى فرن كهربائى أو شمسى وذلك كما فى شكل (5) [6] ، كى يرفع درجة حرارته .

ويلاحظ أنه عند إنتاج الهيدروجين بطريقة التحليل الكهربى التقليدية عند درجات الحرارة المنخفضة يتم استهلاك طاقة كهربائية قدرها 2 . 4 ـ 4 . 9 ك . و . س لكل متر مكعب من الهيدروجين ، ولكن تحليل الماء كهربائيا عند درجات حرارة مرتفعة (أو تحليل بخار الماء) يقلل من كمية الطاقة الكهربائية اللازمة للخلية ، حيث أن طاقة « جبس الحرة » Gibbs Free Energy تقل كلما زادت درجة الحرارة فى المحلل . فالطاقة النظرية اللازمة عند 1000 درجة مئوية أقل منها عند درجة حرارة الجو بمقدار 25 ٪ . لذلك فالطاقة الكهربائية المستهلكة فى هذه الحالة 3 . 0 ك . و . س . / المتر المكعب من الهيدروجين [2 ، 6] . أيضا الفقد الناتج عن فرط الفولتية عند شدة تيار عالية يكون صغيرا جدا ويمكن اهماله . وكمصدر للطاقة الحرارية يمكن استخدام مركزات شمسية لتركيز أشعة الشمس على الخلية ، فاستخدام



شكل (4)
رسم تخطيطى لخلية التحليل الكهربى ذات درجة الحرارة الرتفعة

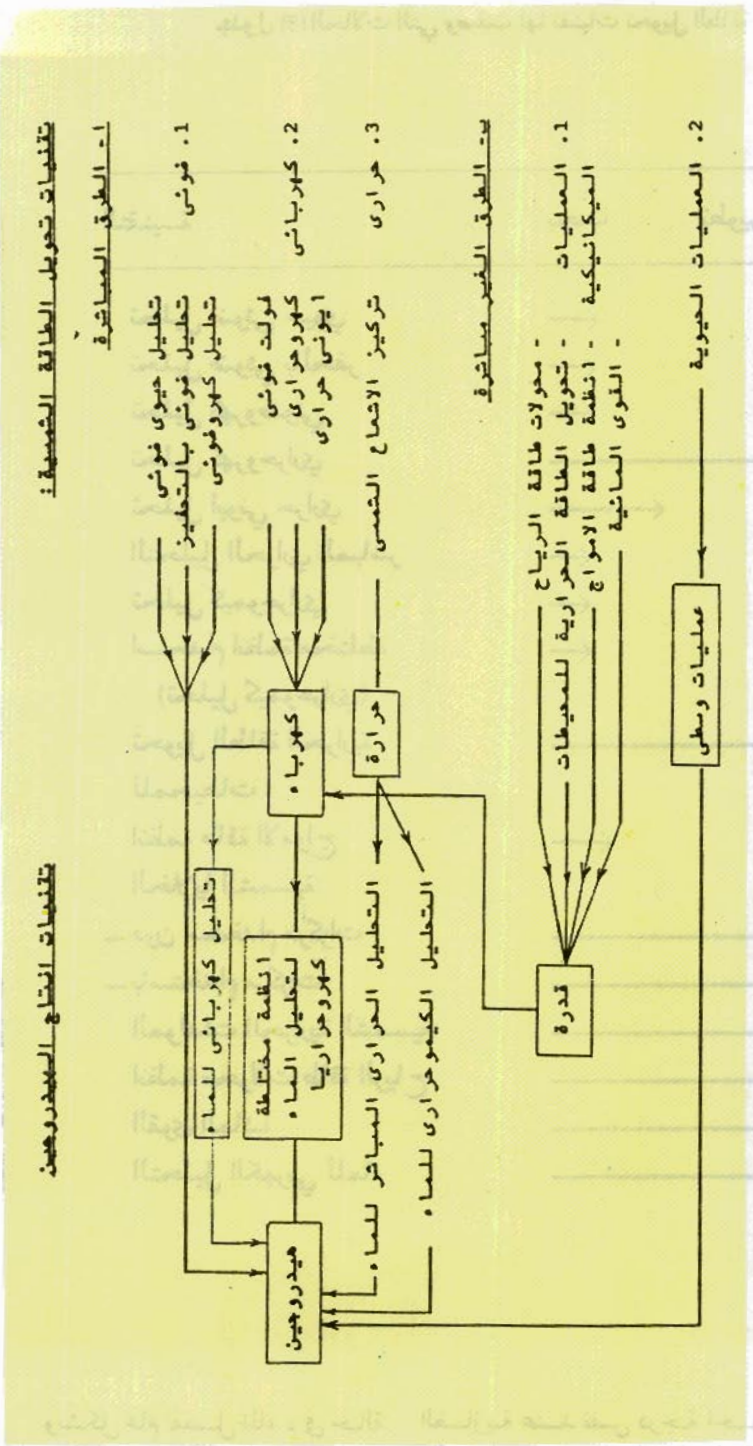
5 . انتـاج الهيـدروجـين باستخدام الطاقة الشمسية

أن المشاكل التى يعـانيها العـالم اليوم من جـراء استخدام الـوقود الحفـرى ، سواء كانت بيئية أو محدودية مخزون هذا الـوقـود ، تحتم انتـاج الهيـدروجـين بـوسائـل أخرى لاتعتمـد على الـوقـود الحفرى كمادة خـام ولا كمصدر للطاقـة لانتـاجـه . فمصـادر الـطاقـة المتـاحـة الأخرى هى الطاقـة النوويـة والشمسية (فى أى شكـل من أشكـالهـا) والمـادة الخـام هى المـاء ، والتفـاعـل بشكـل عام :

ماء + طاقة ← هيدروجين + أكسيجين

ويمكن انتاج الهيدروجين باستخـدام الطاقة الشمسية إما بـاستخدام الـطرق المبـاشرة لتحويـل الطاقـة الشمسيـة أو الـطرق الغير مبـاشرة . فمن التقنيـات المستخدمة فى الـطرق المباشرة لتحـويل الـطاقـة الشمسيـة التحليـل الحـرارى المبـاشر ، التحليـل الكيمـوحـرارى ، التحليـل الضـوئى ويشمـل التحليـل الضـوئى الحيوى ، التحليـل الضـوئى بـالحفـز ، التحليـل الكهـروضـوئى والتحليل الضوئى الكيموحرارى . كما تـوجد طـرق أخرى لتحـويـل الـطاقـة الشمسيـة يتم فيـما تحـويـل الأشعـاع الشمس إلى كهـرباء ومن تم استخـدام الكهرباء الناتجة لتحليـل الماء فى المحلل الكهربائى .

ومن الـطرق الغير مبـاشرة لتحويـل الطاقة الشمسيـة والتى يولـد فيها طـاقة كهربائيـة عبر عمليـات ميكانيكيـة هى طاقة الرياح ، تحويل الطاقة الحرارية فى المحيـطات ، طـاقـة الامـواج والقـوى المائية (أو المسـاقط المائيـة) . شكـل (7) يـوضـح الـطرق المبـاشرة والغيـر مباشرة لتقنيات تحويل الطاقة الشمسيـة وتقنيـات انتـاج الهيـدروجـين . بينـما



شكل (7) الطرق المباشرة و الغير مباشرة لتحويل الطاقة الشمسية و انتاج الهيدروجين.

جـدول (3) يـوضـح الحـالات التى وصلت لهـا تقنيـات تحـويـل الـطاقـة الشمسيـة وتقنيات انتـاج الهيدروجـين [10] .

جدول (3) الحالات التي وصلت لها تقنيات تحويل الطاقة الشمسية وتقنيات الهيدرجين

التقنيـــة	بحث	تطوير	تجريب	تجاري
تحليل ضوئي حيوي	←			
تحليل ضوئي بالحفر	←			
تحليل كهروضوئي	←			
تحليل كهروحراري	←			
تحليل ايوني حراري	←			
التحليل الحراري المباشر	←			
تحليل كيموحراري	←			
استخدام انظمة مختلطة (تحليل كيموحراري)	←			
تحويل الطاقة الحرارية للمحيطات	←			
انظمة طاقة الامواج	←			
الخلايا الشمسية:				
ـ دون استخدام مركزات	←			
ـ بأستخدام مركزات	←			
المولدات الحرارية الشمسية	←			
انظمة محولات طاقة الرياح	←			
القوى المائية	←			
التحليل الكهربي للماء	←			

وبشكل عام لفصل الماء ، فى حالة السيولة عند درجة حرارة 25 درجة مئوية وضغط 1 جوى ، إلى عنصريه (الهيدروجين والاكسجين فى الحالة الغازية عند نفس درجة الحرارة والضغط) نحتاج إلى طاقة تعادل التغير فى الانثلبى :

$$\Delta H = \Delta G + \Delta Q = \Delta G + T \Delta S$$

حيث أن :

G : هى طاقة جبس الحرة .

Q : الطاقة الحرارية .

T : درجة الحرارة المطلقة .

S : التغير فى الانتروبى .

ويقصد بالطرق المباشرة لانتاج الهيدروجين هى أما أن تكون طاقة جبس الحرة مساوية للصفر فى المعادلة السابقة أو أن الطاقة الحرارية مساوية للصفر . ففى الحالة الاولى ΔG=0 تسمى الطريقة الحرارية المباشرة لفصل الماء أو طريقة التحليل الحرارى المباشر لفصل الماء الى هيدروجين وأكسجين . أما الحالة الثانية والتى تكون فيها (ΔQ=0) فتوجد عدة طرق لفصل الماء الى هيدروجين وأكسجين ، وذلك مثل التحليل الكهربائى للماء حيث ΔG تعطى على شكل طاقة كهربائية وطريقة التحليل الاشعاعى والتى تكون فيها ΔG على شكل اشعاعات أو التحليل الضوئى والتى تكون فيه ΔG على شكل طاقة ضوئية . وفى حالة استغلال الطاقة الضوئية للشمس ، يحاول الانسان تقليد النبات فى عملية التمثيل الضوئى لانتاج الهيدروجين ومما تجدر الاشارة اليه أن هذه الطرق لاتزال تحت البحث والتطوير والتجريب المعملى .

وعموما كما تم التنوية فى موضوع (الهيدروجين الشمسى : وقود المستقبل) [مجلة الطاقة والحياة، العدد الثانى] ، أن العديد من الدول تسعى لاستخدام الهيدروجين وقودا فى الاستخدامات الطاقوية المختلفة من أجل غد أفضل بيئيا واقتصاديا . لذلك كان علينا اللحاق بهذه الدول واختيار التقنية المناسبة والعمل على استغلالها وتطويرها بما يتلاءم وموارداتنا واحتياجاتنا ■

المراجع

1 . « solar hydrogen Energy Carrier For The Furute » , Companion brochure for an exhibition prepared by the German Aerospace Research Establishement (DLR) , the solar and Hydrogen Energy Research Centre (Z SW) and the Ministry of Economic Affairs and Technology for the State of Baden - Wurttemberg , F. R. G.

2 . Steinberg , M. and cheng , H. C . , « Modern and prospective Technologies For Hydrogen production From Fossil Fuels » , Proceeding , of the 7th World Hydrogen Energy Conference , Moscow , .S .S .R 25 - 29 Sept 1988 , International Association For Hydrogen Energy , 1988 .

3 . Daimler Benz AG , « Renewable Energy » , Stuttgart , Germany , 1991 .

4 . Ohta , T., (ed) « Solar - Hydrogen Energy Systems » , pergamon Press , 1979 .

5 . Dutta , S., « Technology Assessment of Advanced Electrolytic Hydrogen Production » , Int. J. Hydrogen Energy , Vol . 15 , No 6 , Pergamon Press , 1990 .

6 . Arashi, H., Naito, H. and Miura , h., « Hydrogen Production From High - Temperature Steam Electrolysis Using Solar Energy » , Int. J . Hydrogen Energy , Vol . 16 . No . 9 Pergamon Press , 1991 .

7 . Tagawa , H . and Ohta , T., « Japan Hydrogen Energy and Technology Program » , Hydrogen Energy Progress VII , Proceedings of The 7th World Hydrogen Enery Conference , Vol .1 , P 153 , Moscow , VSSR , International Association for Hydrogen Energy , 1988

8 . Millet , P . ,... et al , « preparation of New Solid Polymer Electrolyte Composites for Water Electrolisis » , Hydrogen Energy Progress VII , Proceedings of the 7th World Hydrogen Energy Conference , Vol . 1 , P 367 , Moscow , USSR , International Association for Hydrogen Energy , 1988 .

9 . Abdel - Aal , H . K . and Hussein , I. A. , « Parmetric Study For Saline Water Electrolysis : Part I - Hydrogen Production » , International Journal of Hydrogen Enery , Vol . 18 , No . 6 , Pergamon Press , 1993 .

10 . Pacheco , F ., « Auto Electrolytic Generation of Hydrogen From Seawater Cogeneration of Surplus Electric and Thermal Energy » , Hydrogen Energy Progress VIII , Proceedings of the 8th , World Hydrogen Energy conference , Vol . 2 , P641 , International Association For Hydrogen Energy , 1990 .

11 . Kondrikove , N — B ., « problems of Sea Water Electrolysis For Ocean Energy Utilization and Hydogen Production » , Hydrogen Energy Progress VIII , Proceedings of The 8th . World Hydrogen Energy Conference , Vol . 2 , P 649 , International Association For Hydrogen Energy , 1990

12 . Foster , R . W . , « Tison , R . R ., Escher , W. J. D. and Hanson , J. A., « Solar Hydrogen Systems For the 1985 - 2000 Time Frame » , Final Report , The California Institute of Technolgy , June 1980 .