جـــمـــهوريـــــة الـــســـــــودان
جامـــــعة أم درمان الإسلامية
كلـــية الدراســـــات العليـــا
كلـــية العلوم الهنـــدســـية

استخدام الطاقة الشمسية للحصول على وقود الهيدروجين لإنتاج الكهرباء للاستخدامات المنزلية بمنطقة مصراتة

بحث مقدم للحصول على درجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية

أكتوبر/٢٠٠٩

إعداد الطالب:

محمد حسين محمد الكيسة

إشراف:

المشرف: بروفيسور(م) د.م/ أسامة عبدا لحفيظ الحسين

مساعد المشرف: د/ فتحي أبو صاع

بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالى:

﴿الرّحمَن(١) عَلّم القُرَان(٢) خَلَقَ

الإنْسَانْ(٣) عَلّمَهُ الْبَيَانْ(٤)﴾

"صدق الله العظيم"

(سورة الرحمن الآية١-٤)

الإهداء

إلى

أبي وأمي العزيزين

إلى زوجتي وأطفالي اهدي هذا العمل

"حفظهم الله"

شكر وتقدير

نتقدم بعد شكر الله تعالى والثناء عليه بما هو أهل بالشكر والتقدير إلى **د.أسامة عبدا لحفيظ الحسين و د.فتحي أبوصاع** المشرفان على هذا البحث وما بذلا من جهد ووقت وما أسدى به من النصائح والتوجيهات، وإلى أعضاء هيئة التدريس والإدارة والعاملين بجامعة أم درمان الإسلامية وإلى المعهد العالي للمهن الشاملة الذي أعمل فيه وإلى العاملين بمركز الأرصاد الجوية بمصراته والشركة العامة للكهرباء والعاملين بجامعة السابع من أكتوبر بمصراتة والمعهد العالي للصناعة – مصراتة وإلى الأصدقاء الأعزاء الذين قدموا لي كل التشجيع والدعم...

إليهم جميعاً ومن لم نذكرهم، أتقدم لهم بجزيل الشكر والعرفان على ما قدموه من التشجيع والدعم والذى ساعد فى إنجاح هذه الأطروحه.

مستخلص

في إطار استخدامات الطاقة الشمسية تناول هذا البحث الحصول على وقود الهيدروجين لإنتاج الكهرباء وذلك بعد أن تمت دراسة الخواص الفيزيائية والكيميائية له وطرق إنتاجه وتخزينه واحتياطات الأمان عند استخدامه، بالمقارنة مع باقي أنواع الوقود الأخرى. وكذلك تمت دراسة إنتاج الهيدروجين بالتفصيل بواسطة التحليل الكهربائي للماء هذا بالإضافة إلى دراسة أنواع المحللات كمحللات الكالين ومحللات ذات الغشاء المتبلور والمحللات الكهروضوئية ومحللات الفصل الحراري للماء، وأيضاً طرق نقل الهيدروجين. وفي هذا الإطار تمت مقارنة إنتاج الهيدروجين بواسطة الطرق التقليدية (الوقود الاحفوري) وطرق التحليل الكهربائي لعنصر الماء بعد فصله إلى مكوناته الرئيسية من الهيدروجين والأكسجين.

إضافة علي ذلك فلقد تم استخدام الهيدروجين مرة أخري في خلايا الوقود وفائدته بيئياً وهندسياً وبناًء عليه تمت دراسة أنواع خلايا الوقود وضواغط الهيدروجين وتقنياتها وطرق نقله المختلفة بالتفصيل.ووفقاً عليه فقد تم حساب قيمة الإشعاع الشمسي الساقط على المتر المربع الواحد بمنطقة مصراتة، وقدمت عدة نماذج يمكن على أساسها حساب الإشعاع الشمسي وتم اقتراح التخزين أولا بواسطة البطاريات ثم باستخدام منظومة الهيدروجين وذلك من خلال المحلل، ثم تخزين الهيدروجين ثم استخدام الهيدروجين مرة أخرى في خلايا الوقود.

ومن خلال النتائج التي توصل إليها البحث يمكن الحصول على مساحة لوح شمسي مناسبة حيث أنه في يوم ١/١من السنة وهو أقل معدل للسطوع الشمسي فإن المساحة المطلوبة للألواح الشمسية هي ١٣٧متر مربع عند ٢٥% من كفاءة اللوح الشمسي ،أما في يوم ٦/٢١ من السنة فإن المساحة المطلوبة من الألواح الشمسية هي ٥٩.٣متر مربع وهي عمليا تعتبر حصيلة جيدة للمنظومة.

Abstract

The research represents an attempt to investigate one of the important power sources at this time which is The Energy, as it concludes different types of energies such as:- chemical energy, mechanical energy, heat energy, solar energy, nuclear energy, electrical energy and light energy. Also another source of energy, which is fossil energy, such as- oil, coal and natural gas.

The researcher investigates another type of energy as well, which is the renewable and durable energy (R&D). This significant energy is necessary for both the environment and mankind. The research also explains the solar cells developing stages, and how they generate the power. Moreover, the hydrogen energy and how to utilize it at the power station.

The researcher suggests a solar cells system for producing power and analyzing water, where as this system could be used at Misurata town.

Finally, this study contains comparisons between the daily sunlight hours and the whole days of the year. Calculations, results, findings and recommendations are also concluded in the last chapters.

فهرس المحتويات

الموضوع
الصفحة

المقدمة..... **XIII**

الفصل: الأول الطاقة..... ١

١-١ أنواع الطاقة.....

١-٢ مصادر الطاقة..... ١

١-٢-١ مصادر الطاقة غير المتجددة..... ١

١-٢-٢ الطاقة المتجددة.....٢

١-٣ الأهداف.....٢

الفصل الثاني: الدراسات السابقة

١-١ الدراسة الأولى ٣

١-٢ الدراسة الثانية ٥

١-٣ الدراسة الثالثة ٦

١-٤ الدراسة الرابعة ٦

١-٥ الدراسة الخامسة ٧

١-٦ الدراسة السادسة..... ٩

الفصل الثالث: الطاقة الشمسية

٣-١ لمحة عن الطاقة الشمسية..... ١٠

٣-٢ نبذة تاريخية عن تطور الخلايا الشمسية..... ١٠

٣-٣ تعريف الخلايا الشمسية..... ١١

٣-٤ كيفية عمل هذه الخلايا..... ١٢

٣-٥ منحنى عمل الخلية الكهروضوئية..... ١٤

٣-٦ تطبيقات الخلايا الكهروضوئية..... ١٥

٣-٧ بعض مشاكل استخدام الطاقة الشمسية..... ١٦

الفصل الرابع :الطاقة الهيدروجينية

٤-١ الهيدروجين..... ١٨

٤-٢ الخواص الفيزيائية والكيميائية للهيدروجين..... ١٨
٤-٢-١ كثافة الهيدروجين ١٩
٤-٢-٢ تخزين الهيدروجين ١٩
٤-٢-٤ أسباب اختيار الهيدروجين ٢١
٤-٣ أساليب هيدريدات المعادن ٢٤
٤-٤ خيارات تخزين الهيدروجين..... ٢٤
٤-٤-١ طريقة التخزين بواسطة سائل الهيدروجين..... ٢٤
٤-٤-٢ طريقة التخزين بواسطة الغاز المضغوط..... ٢٥
٤-٤-٣ تخزين الهيدروجين بواسطة المواد..... ٢٦
٤-٥ إنتاج الهيدروجين..... ٢٧
٤-٥-١ عمليات الكيمياء الحرارية..... ٢٨
٤-٥-٢ طرق حرارية أخرى..... ٢٨
٤-٦ نقل وتوزيع الهيدروجين..... ٢٨
٤-٧ بعض تقنيات تخزين الهيدروجين..... ٢٩
٤-٨ التحديات التي تواجه تخزين الهيدروجين..... ٢٩
٤-٩/الاستراتيجيات المتعدد لتخزين الهيدروجين..... ٣٠
٤-١٠ الهيدروجين في الكربونات..... ٣٤
٤-١١ التخزين الثابت..... ٣٦
٤-١٢ طرق نقل الهيدروجين..... ٣٦
٤-١٣ استخدام الهيدروجين..... ٤٠
٤-١٤ خلايا الوقود..... ٤١
٤-١٥ فائدة خلايا الوقود بالنسبة للبيئة..... ٤١
٤-١٦ صفات خلايا الوقود..... ٤٢
٤-١٧ مشاكل خلايا الوقود..... ٤٣
٤-١٨ نظام خلايا الوقود..... ٤٤
٤-١٩ ضواغط الهيدروجين..... ٥١
٤-٢٠ مميزات الهيدريدات المعتمدة على ضواغط الهيدروجين..... ٥٢
٤-٢١ التقنيات..... ٥٣
٤-٢٢ مميزات هيدريدات الحالة الصلبة لتخزين الهدروجين..... ٥٧
٤-٢٣ الهيدريدات الانعكاسية والغير انعكاسية..... ٦٠
٤-٢٤ اختبارات والتحليلات للطاقة الجديدة والمتجددة..... ٦٠

٤-٢٥ متطلبات الأمان في التعامل مع الهيدروجين..... ٦١
الفصل الخامس : معادلات وافتراضات الإشعاع الشمسي
٥-١ نظام الخلايا الشمسية ٦٣
٥-٢ طاقة الإشعاع الشمسي..... ٦٥
٥-٣ معادلة الإشعاع الشمسي..... ٦٦
الفصل السادس: تطبيق الحسابات على منطقة مصراتة
٦-١ حساب معدل الاستهلاك..... ٧١
٦-٢ حساب كمية التخزين..... ٧٢
٦-٣ تطبيق الحسابات..... ٧٢
٦-٤ استخدام البطاريات..... ٧٣
٦-٥.استخدام المنظومة الإضافية..... ٧٣
الفصل السابع: النتائج والمقارنات
٧-١ مقارنات بين معدل ساعات السطوع الشمسي وأيام أشهر السنة ٧٥
٧-٢ مقارنة بيانية بين قيمة الإشعاع خلال أيام أشهر السنة..... ٧٩
الفصل الثامن :الاستنتاجات والتوصيات..... ٨٥
المراجع..... ٨٧

فهرست الأشكال

رقم الشكل	الموضوع	رقم الصفحة
١-١	محطات الطاقة الشمسية المنزلية	٣
١-٢	مخطط لمحلل وخلايا الوقود	٤
١-٣	محطة كاملة لتوليد كهرباء بواسطة الطاقة الشمسية	٤
١-٤	نماذج لمحطة طاقة شمسية	٤
١-٥	العلاقة بين القدرة والزمن	٥
١-٧	مخطط لمحطة توليد هيدروجين بواسطة الطاقة الشمسية	٦
١-٨	دورة تحكم في دورة التشغيل	٧
١-٩	محرك احتراق داخلي يعمل بواسطة الهيدروجين والبروبان	٧
١-١٠	منظومة خلايا شمسية	٨
١-١١	التشغيل والتحكم في المنظومة الشمسية	٨
١-١٢	المكونات التركيبية للألواح الشمسية	٩
١-١٣	محطة شمسية كاملة تعمل بواسطة الهيدروجين	٩
٣-١	التغير في استخدام الفيلم الرقيق وبلورات السيليكون	٢٦
٣-٢	نظرية عمل الخلايا الكهروضوئية	٢٩
٣-٣	نظرية عمل الخلية الشمسية	٣١
٣-٤	نظرية عمل السيليكون	٣٢
٣-٥	استخدام الطاقة الشمسية في توليد الهيدروجين	٣٤
٤-١	طرق إنتاج واستخدام الهيدروجين	٤٦
٤-٢	تخزين الهيدروجين بواسطة التكثيف	٥٦
٤-٣	التداخل بين جزيئات الهيدروجين	٥٦
٤-٤	خزانات الهيدروجين	٦٤
٤-٥	نوعان مختلفان من خزانات الهيدروجين المضغوط	٦٤
٤-٦	مقارنة بين الهيدروجين المسال والغازي	٦٥
٤-٧	خزان الهيدروجين المسال	٦٦
٤-٨	حركة غاز الهيدروجين	٦٨
٤-٩	مصفاة ميثانول	٧٢

٤-١٠	دورة استخلاص الهيدروجين من الميثانول واستخدامه في خلايا الوقود	٧٣
٤-١١	مجموعة الأجهزة للحصول على الهيدروجين من الطاقة الشمسية	٧٩
٤-١٢	صور لمجموعة من المحللات المتراصة	٨٠
٤-١٣	تركيب ونظرية عمل خلية الوقود	٨٦
٤-١٤	تركيب نظام خلايا الوقود	٨٨
٤-١٥	نظرية عمل خلية الوقود	٩٠
٤-١٦	استخدام البليتنيوم في خلايا الوقود	٩١
٤-١٧	مجموعة من خلايا الوقود تركب في نموذج	٩٢
٤-١٨	نظرية عمل خلية من نوع PEM	٩٦
٤-١٩	محطة اختبار لخلايا الوقود من نوع PEM	٩٩
٤-٢٠	ضاغط صغير من نوع هيرا	١٠٣
٤-٢١	نموذج للضاغط يستخدم مسخن حراري كهربائي أو بواسطة الغاز	١٠٣
٤-٢٢	محطة توزيع هيدروجين	١٠٥
٤-٢٣	الدائرة المغلقة لاستخدام وتخزين الهيدروجين	١٠٦
٤-٢٤	مقارنة بين طرق تخزين الهيدروجين المختلفة	١٠٧
٤-٢٥	رسم تخطيطي لمحلل وضاغط ومزود شحن	١٠٧
٤-٢٦	رسم لمحطة تزود الهيدروجين	١٠٨
٤-٢٧	أوعية تخزين الهيدروجين	١٠٩
٤-٢٨	تصنيف الهيدريدات	١١١
٤-٢٩	تداخل بين ذرات الهيدروجين هيدريدات المعدن	١١٢
٤-٣٠	عملية تخزين الهيدروجين في الهيدريدات التقليدية	١١٣
٤-٣١	الهيدريدات غير الانعكاسية	١١٥
٤-٣٢	بعض صفات الهيدريدات	١١٧
٥-١	دورة كاملة توليد واستخدام هيدروجين	١٢٠
٥-٢	حساب الإشعاع الشمسي المباشر المؤثر	١٢٤

فهرست الجداول

رقم الجدول	الموضوع	الصفحة
٤-١	كثافة الهيدروجين	٣٩
٤-٢	بعض خواص الهيدروجين	٤٠
٤-٣	مقارنة بين الهيدروجين وبعض أنواع الوقود الأخرى	٤١
٤-٤	بعض مصادر الهيدروجين	٤٢
٤-٥	خواص تخزين الهيدروجين	٤٣
٤-٦	خواص الأمان للهيدروجين	٤٤
٤-٧	مقارنة بين أحجام وأوزان خزانات مختلفة	٥٤
٥-١	معدل الإشعاع الشمسي مصراتة	١٢١
٥-٢	إحصائية السكان بمنطقة مصراتة	١٢٢
٥-٣	معدل الاستهلاك السنوي للفرد	١٢٣
٥-٤	مواصفات بعض أنواع الخلايا الشمسية	١٢٦
٥-٥	قيم الثوابت للسماء الصافية	١٢٨

المقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم "والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين سيدنا محمد صلي الله عليه وسلم وعلى اله وصحبه أجمعين" وبعد:

إن البحوث الحديثة التي أجريت مؤخرا في مجال الطاقة اتجهت إلى الطاقة الشمسية كبديل عن الطاقة الاحفورية الأخرى، وقد أجريت الكثير من الأبحاث والدراسات والتي أثمرت الكثير من الإنجازات في مجال الحصول على الطاقة. أما في الاستخدام المباشر عن طريق الخلايا الشمسية فقد قدمت العديد من الدارسات والأبحاث وأجريت العديد من التطبيقات للاستفادة القصوى من الأشعة المباشرة للشمس.

ولأجل تخزين الطاقة الشمسية المحصل عليها عن طريق الخلية الكهروضوئية قدمت عدة بحوت من أجل استخدام الهيدروجين كوسيلة لحفظ هذه الطاقة ثم إستخدامها مرة أخرى وخصوصاً أن الهيدروجين يصنف من الطاقات النظيفة والجديدة. ففي هذا البحث تمت دراسة إستخدام الطاقة الشمسية للحصول على وقود الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي لعنصر الماء من خلال تحليل العنصرين الهيدروجين H_2 والأكسيجين O_2 ثم استخدام هذا الهيدروجين مرة أخرى بواسطة خلية الوقود للحصول على الكهرباء اللازمة لبعض التطبيقات المختلفة في الاستخدام المنزلي لمنزل نموذجي يتراوح بين الثلاثة والخمسة أفراد بمنطقة مصراته – ليبيا.

الفصل الأول

الطاقة

١.١ أنواع الطاقة :

توجد نماذج متعددة لأنواع الطاقة وهى :

١. الطاقة الكيميائية.
٢. الطاقة الميكانيكية
٣. الطاقة الحرارية.
٤. الطاقة الشمسية.
٥. الطاقة النووية.
٦. الطاقة الكهربائية.
٧. الطاقة الضوئية.
٨. الطاقة الهايدروليكية
٩. الطاقة الجيولجية

٢.١ مصادر الطاقة

يمكن تقسيم مصادر الطاقة إلى مصدرين رئيسين هما:

(١) مصادر الطاقة غير متجددة أي مصادرالطاقة الاحفوريه.

(٢) مصادر الطاقة المتجددة

١.٢.١ مصادر الطاقة غير المتجددة

وهي عبارة عن مصادر الناضبة-أي التي ستنتهي مع الزمن لكثرة استعمالها-وهي موجودة في الطبيعة بكميات محدودة وغير متجددة، وهي بالإضافة إلى ذلك ملوثة للبيئة ومسبب لتغير المناخ ولانبعاث الغازات السامة تتكون مصادر الطاقة غير المتجددة من الوقود الآحفوري ويشمل النفط والغاز الطبيعي والفحم ويشمل أيضا الطاقة النووية.

٢.٢.١ الطاقات المتجددة

وهي عبارة مصادر طبيعية دائمة وغير ناضبة ومتوفرة في الطبيعة سواء كانت محدودة أو غير محدودة ولكنها متجددة باستمرار،وهي نظيفة لا ينتج عن استخدامها تلوث بيئي نسبيا ومن أهم هذه المصادر الطاقة الشمسية التي تعتبر في الأصل هي الطاقة الرئيسية في تكون مصادر الطاقة الأخرى وكذلك طاقة الرياح وطاقة المد والجزر والأمواج والطاقة الحرارية الجوفية وطاقة المسا قط المائية وطاقة البناء الضوئي والطاقة المائية للبحار والمحيطات.

إذا نظرنا إلى درجات الحرارة المرفقة في الجدول نلاحظ أنها معتدلة وفي مجملها لاتصل إلى درجة الارتداد إي انخفاض كفاءة الخلايا الشمسية مع وصول درجة الحرارة حد معين كما سترى لاحقا.أما من الناحية الاقتصادية فإن الاتجاه إلى الطاقة المتجددة كثرة البحوث والتطورات جعلت تكلفتها تتناقص بشكل كبير مما يوعد بمكانة جيدة لاستخدم الطاقات البديلة فقد تراجع تكلفة الخلايا الشمسية من ٧.٤ دولار أمريكي في سنة ١٩٨٧م

إلى ٢.٥ دولار سنة ٢٠٠٢م والتوقعات المستقبلية في أن تنخفض انخفاض كبيرة حتى تصل إلى ٠.٨ دولار في سنة ٢٠٢٠م.

٣.١ الأهداف :

١- تصميم منظومة افتراضية تشمل توليد الكهرباء بواسطة الخلايا الشمسية والتخزين بواسطة الهيدروجين وإعادة توليد الكهرباء مرة أخرى بواسطة خلايا الوقود.

٢- إدخال تقنية تخزين الطاقة الشمسية بواسطة الهيدروجين كطاقة متجددة وصديقة للبيئة.

٣- إستخدام الهيدروجين لتخزين الطاقة الشمسية ومقارنة ذلك مع البطاريات.

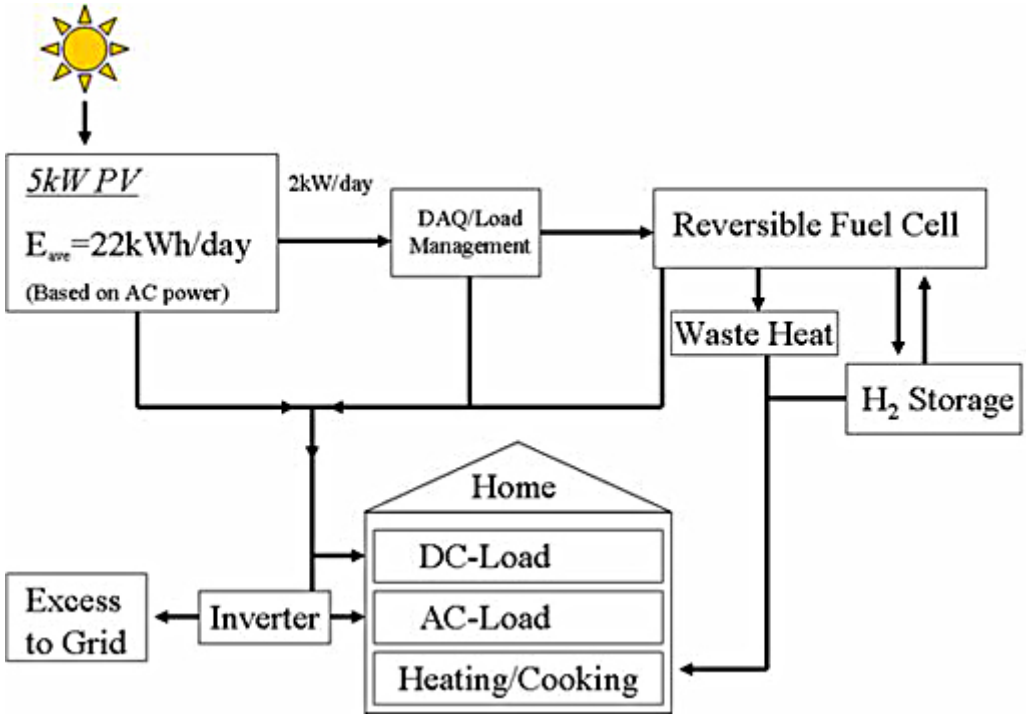
٤- تطبيق المعطيات المطبقة على منطقة مصراتة من حيث عدد ساعات السطوع الشمسي ومعدل شدة الإشعاع الشمسي الساقط على المتر المربع للحصول على أفضل البيانات وذلك لأجل إستخدام الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء لتلبية احتياجات منزل يسكنه ثلاثة أو خمسة أشخاص بمنطقة مصراتة.

الفصل الثانى

الدراسات السابقة

أجريت عدة دراسات فى مجال إستخدامات الطاقة الشمسية للحصول على وقود الهادروجين ومن تلك الدراسات:

١.٢ محطة متكاملة بإستخدام الهيدروجين: قامت (NFCRC)= " National Fuel Cell Research Center " باختبار وتصنيع نموذج محطة توليد كهرباء للاستخدام المنزلي بواسطة الطاقة الشمسية مستخدما محلل وخلايا الوقود للحصول على الكهرباء في حالة انعدام الطاقة الشمسية كما هو موضح بالرسم التخطيطي والشكل والصورة للمحطة، استخدم النموذج للخلايا شمسية بقدرة 5 kw أي Eaver.=22 kwh/day وأستخدم الناتج المباشر لتوليد الكهرباء في الاستخدام المنزلي واستخدام الباقي في توليد الهيدروجين بواسطة المحلل ثم استخدام الهيدروجين المخزن مرة أخرى عند انعدام الإشعاع واستخدام الحرارة الناتجة في خلايا الوقود للتدفئة والاستخدامات المنزلية، وقد أثبت النموذج نجاحا حيث ثم توليد ٤٠قدم مكعب من الهيدروجين في الساعة باستخدام أنظمة الطاقة البروتونية HogenRE-40



شكل(2-١) إحدى محطات الطاقة الشمسية المنزلية التي تستخدم الهيدروجين في التخزين

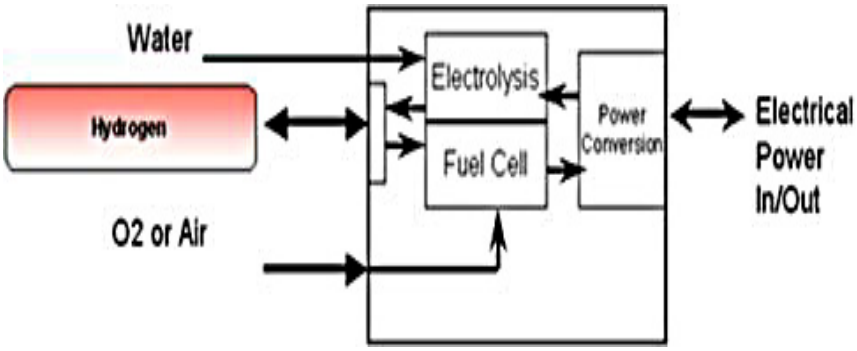
DAQ: Data Acquisition :بيانات التوافق

Gird: Utility electrical Gird: شبكة الكهرباء الخدمية

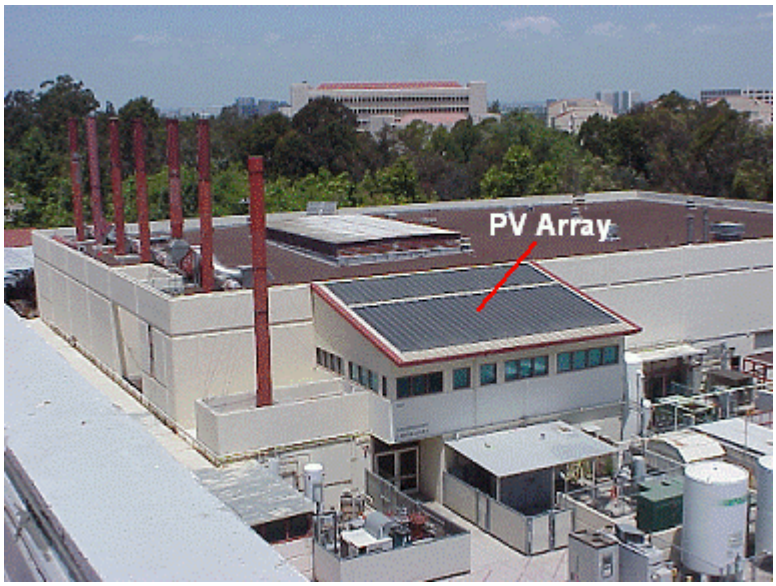
AC: Alternating Current: تيار متردد

Eavg: Average Power produced per day: متوسط القدرة المنتجة لكل يوم

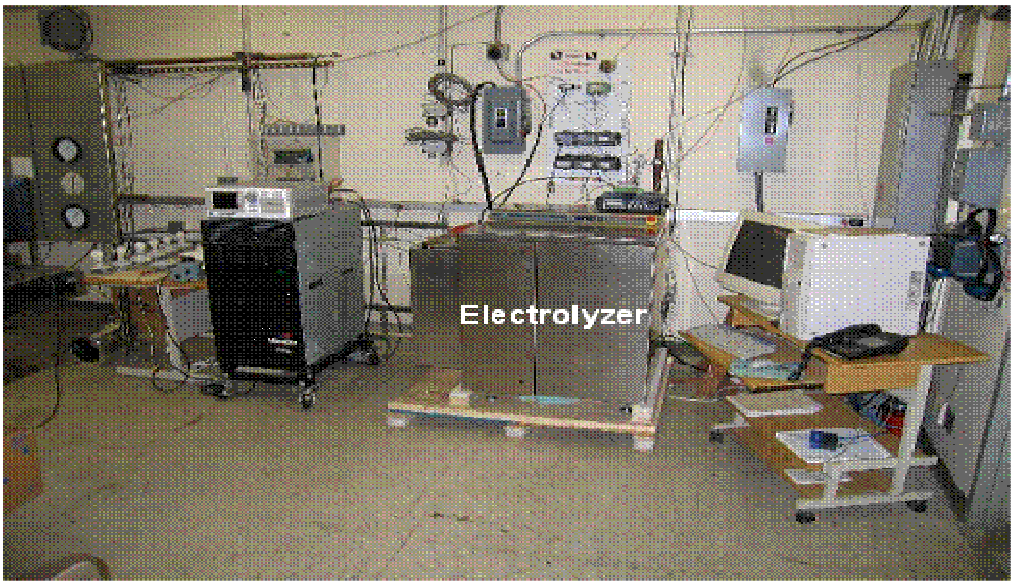
kWh: Kilowatt-hours: كيلووات-ساعة



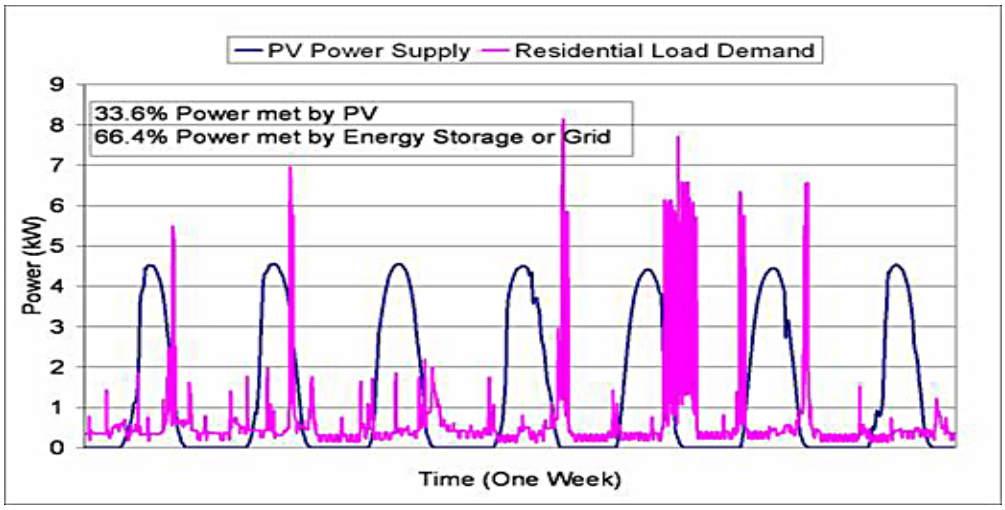
شكل(٢-٢) مخطط للمحلل وخلايا الوقود



شكل(٢-٣)محطة كاملة لتوليد الكهرباء باستخدام الطاقة الشمسية والهيدروجين كحامل للطاقة



شكل (٢-٤) صورة نموذج المحطة

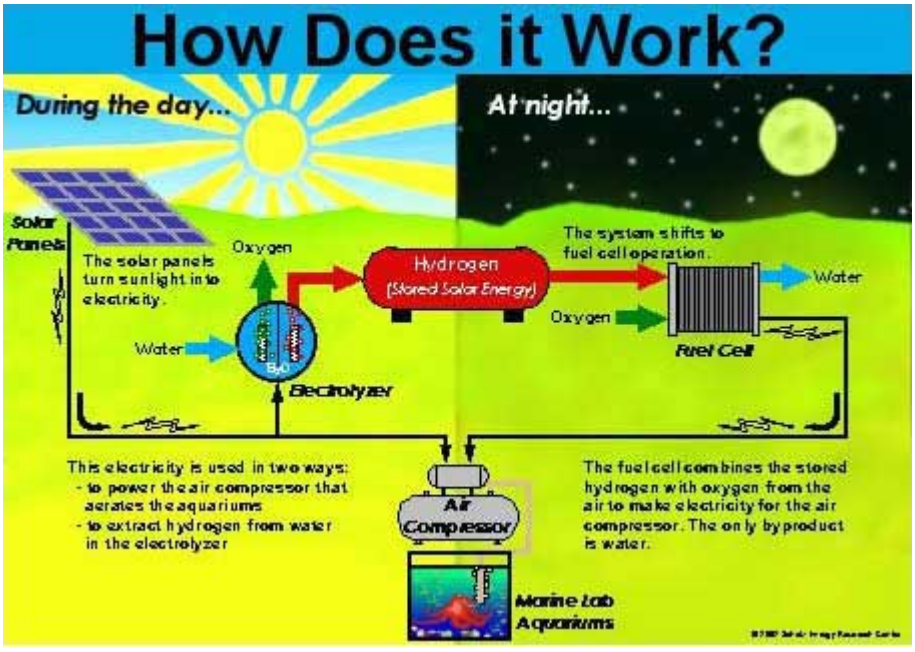


شكل (٢-٥) العلاقة بين القدرة والزمن

٢.٢ محطة توليد كاملة متكاملة:

Solar-Hydrogen Fuel Cell prototype, as a source of Renewable Energy Generation

المقدمة من Andre' Rodriguez &Others من معهد بولينيسيكو بالمكسيك بتاريخ ٢٤-٨-٢٠٠٦م ثم تصنيع وتجريب وحدة تزويد بالطاقة عن طريق الخلايا الشمسية لجهاز متنقل بواسطة تحليل الماء للحصول على الهيدروجين ثم تخزينه تحت ضغط منخفض ثم استخدامه مرة أخرى بواسطة خلايا الوقود للحصول على الكهرباء وقد نجحت هذه الطريقة في تشغيل جهاز تليفزيون بقدرة ٣٥٠ وات بواسطة خلايا شمسية متصلة بالمحل ثم بخلايا الوقود حيث يمكن تشغيل الجهاز في الفترة المسائية نتيجة تخزين الهيدروجين ويعتبر الكاتب أن هذا نجاحا للطاقة المتجددة مع أنه استخدم خلايا شمسية ذات كفاءة منخفضة جداً مقارنة بالوقت الحاضر وهي ٥% فقط.



شكل (٢-٦) مخطط لمحطة توليد بواسطة الطاقة الشمسية تستخدم الهيدروجين كوسيلة تخزين وكفاءة محلل ٣٢% فقط.

٣.٢ مشروع محطة سوكت :

قامت "Schatz Energy Research Center" بإقامة مشروع "The Schatz Solar Hydrogen Project "

يقوم هذا المشروع على استعمال خلايا شمسية لتوليد الكهرباء الذي يقوم عبر المحلل على فصل الهيدروجين من الماء وبواسطة ضاغط يعمل بجزء من التيار الناتج من الخلايا الشمسية يضغط الهيدروجين في خزانات التخزين الثلاث ثم يستخدم الهيدروجين مرة أخرى

مكونات هذا المشروع:

١.لوح شمسي بقدرة ٧ kw من نوع [192 M75 Siemens modules]

٢.محلل [Electrolyzer] بقدرة 6 kw والتي تنتج 20 لتر قياسية من الهيدروجين لكل دقيقة (قيمة قصوى) عند 100 Psig .

٣.ثلاث خزانات ذات سعة 500 جالون لتخزين الهيدروجين عند ضغط 100Psig .

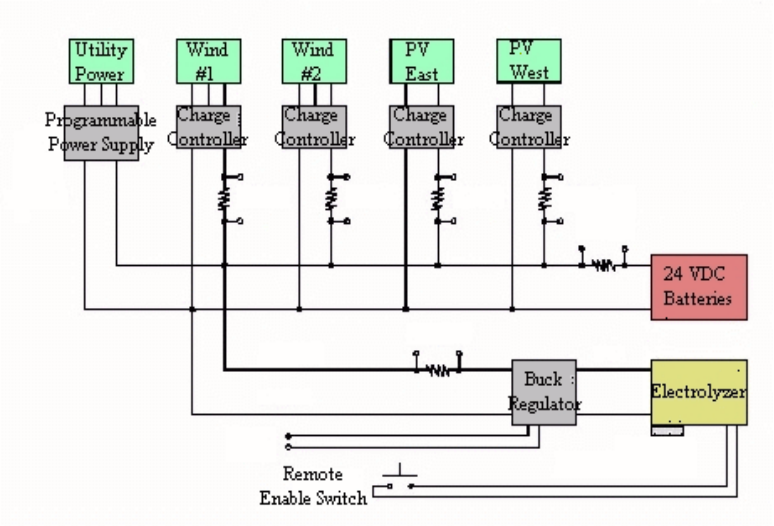
٤.خلايا وقود من نوع PEM بقدرة 1.5 kw .

٥.نظام تحكم بواسطة الحاسب الآلي ليقوم بالتحكم ومراقبة المنظومة .

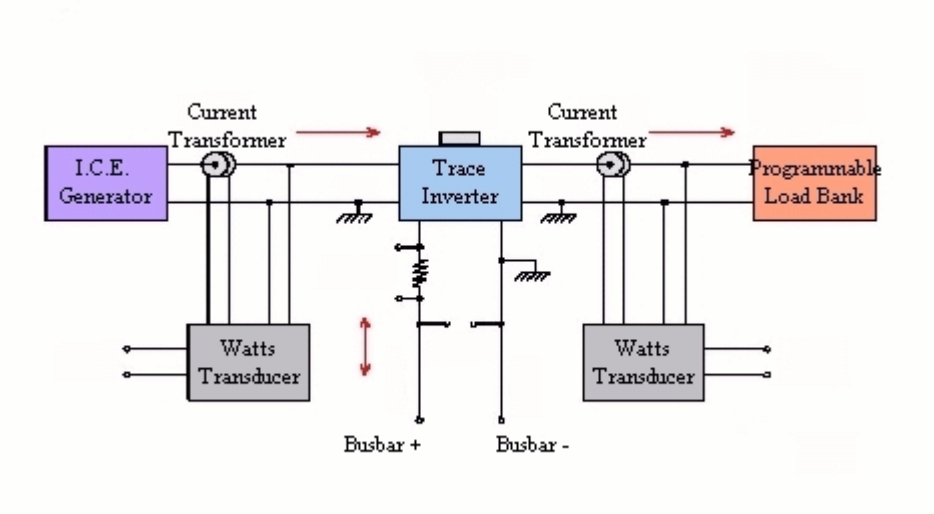
بدأ في استخدام هذا النظام منذ ١٩٩١م، وقد وضع نظام حاسوب حديث في ٢٠٠١-٢٠٠٢موقد نشرت نتائج هذا المشروع في مؤتمر التاسع والعشرون IEEE في مايو ٢٠٠٢موقد أضيف خلايا وقود جديدة في ٢٠٠٢م وزيد حجم مجموعة خلايا الوقود إلى ثلاث أضعافحيث خفض الحجم والوزن إلى الثلث لنفس القدرة من الطاقة ودلك يجعل النظام قابل للحمل.

٤.٢ محطة نفاذا الشمالية:

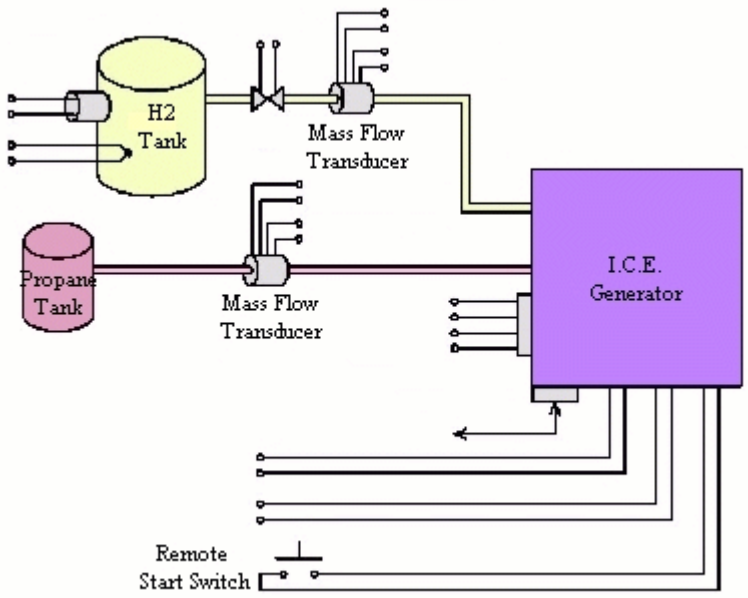
قام مركز "Northern Nevada Science Center " بتصميم نظام لتوليد الكهرباء من مجموعتين من الرياح ومجموعتين من نماذج الخلايا الشمسية ومنظومتين أحدهما مجموعة من البطاريات ومحلل(Electrolyzer) لتوليد الهيدروجين كما في شكل رقم (٢-٧) واستخدامه في مولد يعمل بواسطة محرك احتراق داخلي I.C .Engine Generator. يضغط الهيدروجين الناتج من المحلل إلى 100 PSIفي خزان ذو سعة 80 قدم مكعب، يقوم الهيدروجين الناتج مولد محرك احتراق داخلي



شكل(٢-٧) مخطط لمحطة توليد هيدروجين بواسطة الطاقة المتجددة و بها بطاريات تخزين



شكل(٢-٨) دورة تحكم في دورة التشغيل



شكل(٢-٩) محرك اختراق داخلي يعمل بواسطة الهيدروجين والبر وبان

٥.٢ نموزج دراسى لمحطة متكاملة:

"Life Cycle Assessment Study Of Solar PV Systems :An example of a 2.7 kwp distributed Solar PV System in Singapore" بواسطة R.kannan & Others 13-June-2005

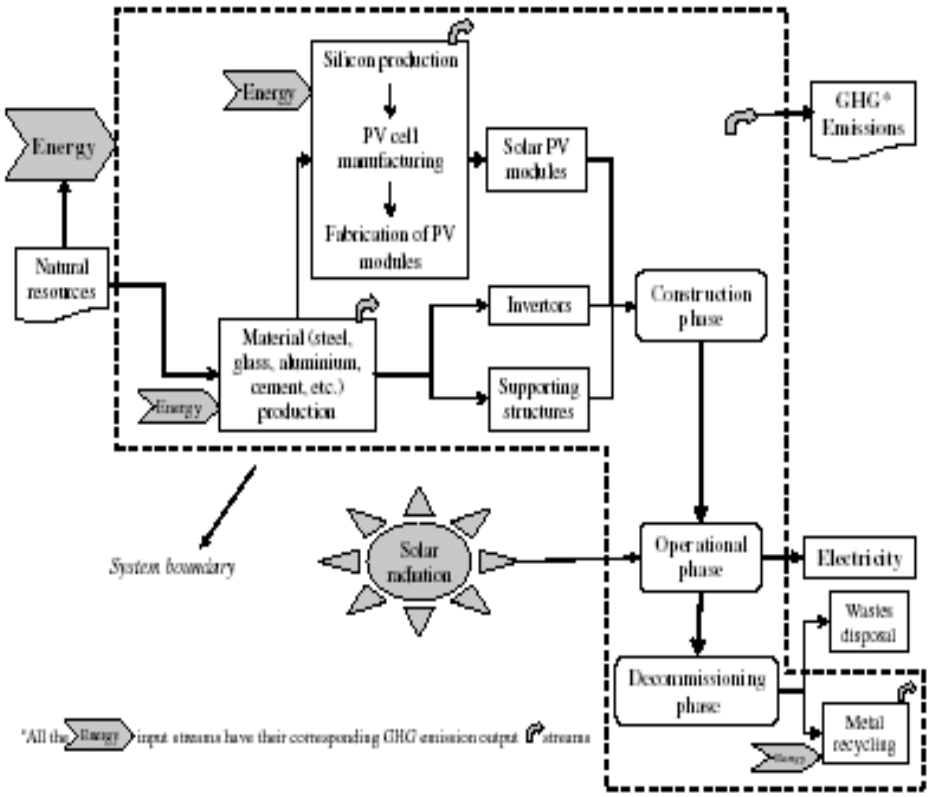
www.eleseevier.com/locate/solener

تتكون منظومة 2.7kwp من 36 من نماذج السيليكون أحادى التبلور (12V,75 WP) مثبتة على سطح مبنى بواسطة دواعم من ألومنيوم مثبتة بكتلة خرسانية كما في

شكل(٢-١٠) منظومة خلايا شمسية مثبتة على السطح

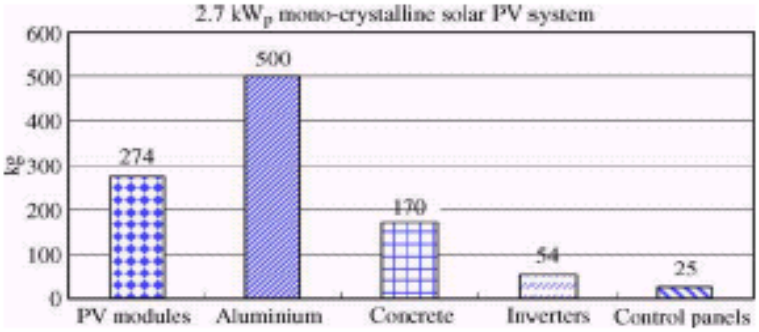
وتوصل ١٢ نموذج على التوالي لتوليد 204V DC (900wP عند معدل قياسي

(under STC) وتوجد ثلاث صفوف كل صف ١٢ نموذج وتوصل بواسطة محول 1.5KVAوالخارج يكون ثلاثي الطور ويوصل منظم يقوم بتغذية الحمل المطلوب خلال المبنى ومركب على المنظومة مجموعة من العدادات (القدرة،الفولت،التيار،درجة الحرارة...)



شكل (٢-١١)دورة التشغيل والتحكم في المنظومة الشمسية

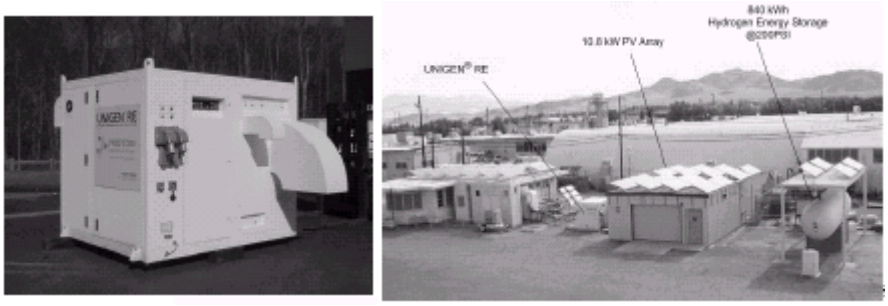
معدل الكهرباء المولدة من الخلايا الشمسية خلال الفترة من2003 May- June 2002
كانت 2623kwhp ومن الفترة June 2003-May 2004 كانت 2581kwhp،



شكل(٢-١٢) المكونات التركيبية للألواح الشمسية

أما معدل القدرة المولدة سنوياً فهي 2600 kwhp وقد كانت كفاءة النماذج الشمسية في المقياس المعياري(under STC) هو 11.86%

٦.١ مشروع البحيرة الصينى:



شكل(٢-١٣) محطة شمسية كاملة تعمل بواسطة الهيدروجين

في ورشة العمل (Solar-Hydrogen Work Shop) Nov.9-10، 2004 DOE,UMUC Conference Center, Adelphi, Mary Land. المشروع المقدم بعنوان "مشروع البحيرة الصيني" الذي يتكون من١٠.٨ kw من الخلايا الشمسية و ٨٤٠ kwh كمخزون بواسطة الهيدروجين عند ٢٠٠ PSI .وعدد ٢ من خلايا الوقود من نوع PEM قدرة كل منها ١.٢ kw

الفصل الثالث

الطاقة الشمسية

١.٣ ماذاعن الطاقة الشمسية؟

الشمس هي مصدر الحياة ومصدر الطاقات على الأرض، فالطاقة الشمسية الواصلة إلى سطح الأرض تتحول إلى شكلين رئيسين للطاقة :طاقة كيميائية وطاقة حرارية، وكل منها يتجلى بعدة مظاهر تؤدي لنشء عدد من الطاقات.

وقد أهتمت العلوم الحديثة بهذه المجالات ووجهت للإستفادة منها في مختلف صورها ورصدت لها المبالغ اللازمة لتطوير لمنتجات والبحوث الخاصة باستغلال الطاقة الشمسية كمصدر بديل للمصادر التقليدية من نفط وغاز وقد أعطى النصيب الأوفر في البحوث والتطبيقات لمجال تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء وهو ما يعرف باسم (الخلايا الشمسية) وهذا المصدر من الطاقة هو أمل الدول النامية في التطور حيث إصباح توفر الطاقة الكهربائية من أهم العوامل الرئيسية وإيجاد البني التحتية الأساسية فيها ولا يتطلب إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية المركزية للتوليد بل تنتج الطاقة وتستخدم بنفس المنطقة أو المكان وهذا ما يوفر كثيرا من تكلفة النقل والمواصلات وتعتمد هذه الطريقة بصورة أساسية على تحويل أشعة الشمس إلي طاقة كهربائية وتوجد في الطبيعة مواد كثيرة تستخدم في صناعة الخلايا الشمسية والتي تجمع بنظام كهربائي وهندسي محدد لتكوين ما يسمى باللوح الشمسي والذي يعرض لأشعة الشمس بزاوية معينة كي ينتج أكبر قدر من الكهرباء[7].وقد أثبت التجارب والتطبيقات العلمية والعملية إمكانية استخدام الطاقة الشمسية على نطاق تجاري.وقد من الله سبحانه وتعالى على بلادنا العربية بنصيب وافر من الطاقة الشمسية وخاصة الدول المحيطة بالصحراء الكبرى وصحراء شبه الجزيرة العربية ومن خلال البيانات المأخوذة من مركز الأرصاد الجوية مصراتة يتبين أن معدل السطوع الشمسي اليومي لمنطقة مصراتة هو مرتفع جدا إذا ما قارناه بمناطق العالم الأخرى وهو٨.٥٩ ساعة/يوم لسنة ٢٠٠٥م[35] وفي المقارنة في الجدول المرفق بين المناطق الثلاث وهي الميريا بأسبانيا وسبها (ليبيا) وصحراء السعودية وثبت من خلالها أن سبها هي أكبر منطقة من ناحية شدة الإشعاع الشمسي وهذا ما يدفعنا إلى التمسك الشديد بالاستفادة من هذا المورد الضخم للحصول على الطاقة مستقبلاً.

٢.٣ نبذة تاريخية عن تطور الخلايا الشمسية

إذا نظرنا إلى ٥٣سنة من تطور الخلايا الكهروضوئية(P V) فسوف نندهش من التقدم التقني الهائل مع أول خلية سيل كونية فمن أول خلية أنتجت سنة ١٩٥٣م إلى ٥ بليون سم مربع من الخلايا الشمسية سنة ٢٠٠٢ م أي (٥٦٠مليون وات) أما تكلفة نموذج(Module)فقد تراجعت من ١٥٠٠ دولار أمريكي سنة ١٩٥٥م لكل وات إلى ٣-٤ دولار سنة ٢٠٠٣م.

أما معدل النمو في السوق فقد ارتفع من بعض المجمعات في ١٩٦٠-١٩٧٠م ممن القرن الماضي إلى استثمار ٤-٥ بليون دولار في نماذج وخلايا الشمسية وأنظمة التحكم وأنظمة أخرى لتلبية احتياجات الإنسان من الكهرباء في جميع المناطق والتجمعات خاصة النائية منها .فمن الخلية التي أبعادها ٢.٥ سم مربع التي تنتج عدد قليل من ملي وات من القدرة مع عديم التركيز في الإضاءة أما الآن بوسع خلية ١سم مربع أن تنتج ٣٥٠ وات بتركيز

١٢٠٠ مرة الذي يعطي ٩٠ كيلووات ساعة من الطاقة الكهربائية للسنة[7]. الخلايا الشمسية كانت سابقا تصنع من مادة واحدة (السيليكون المتبل) من وصلة واحدة أما الآن فتصنع الخلايا من عدة مواد وعدة أنواع من التوصيات من أحادي أو ثنائي أو ثلاثي الطبقات.أما من الناحية التسويقية للخلايا الشمسية فمن مرحلة انعدام كامل في ١٩٥٠-١٩٦٠م إلى أسواق قليلة١٩٨٠م . والآن فإن أكثر من ٢.٢بليون وات من الخلايا الشمسية موزعة حول العالم وهذا النجاح الجيد أخذ يرتفع بنسبة٢٤% لكل سنة خلال الخمسة عشر سنة الماضية و٣٥%خلال السبع سنين الأخيرة[8].

٣.٣ تعريف الخلايا الشمسية

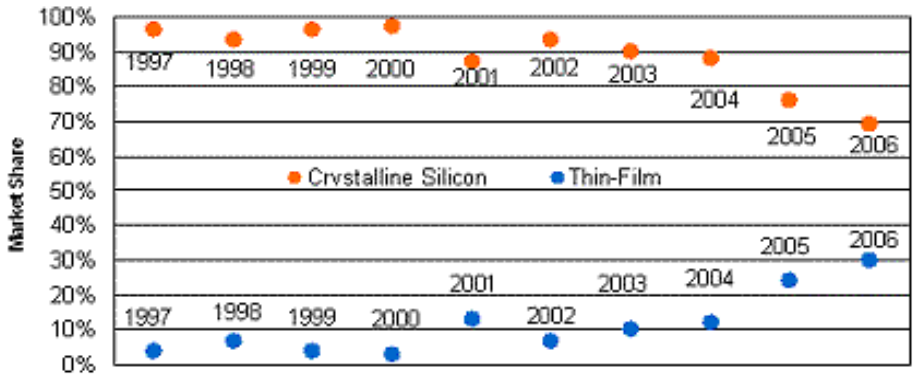
هي عبارة عن محولات فولتضوئية تقوم بتحويل ضوء الشمس المباشر إلى كهرباء وهي نبائط شبه موصله وحساسة ضوئيا ومحاطة بغلاف أمامي وخلفي موصل للكهرباء ولقد تم إنما تقنيات كثيرة وإنتاج الخلايا الشمسية عبر عمليات متسلسلة من المعالجات الكيميائية والفيزيائية والكهربائية على شكل متكاثف ذاتي الآلية وعالي الآلية كما تم إنما مواد مختلفة من أشباه الموصلات لتصنيع الخلايا الشمسية على هيئة عناصر كعنصر السيليكون أو على هيئة مركبات كمركب الجاليوم زرنيخ وكر بيد الكادميوم وفوسفيد لانديوم وكبريتيد النحاس وغيرها من المواد الواعدة لصناعة الخلايا الفولتضوئيات.إن مادة السيليكون تعتبر أحد أهم أصناف النواقل المستخدمة في تصنيع الخلايا الكهروضوئية التي تعتبر بسيطة التركيب مدروسة بشكل جيد،ففي عام ١٩٥٤م تمت صناعة أول خلايا كهر وضوئية سيليكونية في معهد بل لابس في الولايات المتحدة الأمريكية بمردود(٦%) ومن الجدير بالذكر أن السيليكون لا يوجد كمادة نقية في الطبيعة على حالة منفردة ولكن في صورة متحدة وهو من أكثر العناصر على سطح الأرض بل يلي الأكسجين وهو يوجد في الطبقات الخارجية للأرض ويجد في الطبيعة في صورة أكسيد سيليكا. تنقسم الخلايا الكهروضوئية السيليكونية إلى ثلاث مجموعات أساسية:

١-الخلايا السيليكونية الغير بلورية.

٢-الخلايا السيليكونية الوحيدة البلورة.

٣-الخلايا السيليكونية المتحدة البلورات.

وقد أنتجت في الصناعة خلايا كهر وضوئية على مبدأ الخلايا السيليكونية الوحيدة بمردود(١٤-١٥%) واستمرت البحوث في التطور كما ذكر سابقا أما المرايا فهي فكرة جديرة بالاهتمام فلقد بنى الروس لوحا شمسيا سطحه أقل من نصف متر مربع واستطاعته (١٥٠ وات) وهي استطاعه أكبر من التي تولدها الألواح الأمريكية ذات السطح نفسه بأربع مرات حيث أن



شكل (٣-١) التغير في استخدام الفيلم الرقيق وبلورات السيليكون

العلماء الروس قد توصلوا لذلك بزيادة ضوء الشمس على الخلايا بمقدار عشر مرات من الجدير بالذكر أنه لا يجوز تركيز ضوء الشمس أكثر من حد معين حيث أن ذلك يؤدي إلى تسخين الخلايا تسخينا يجعلها تقف عن العمل وقوفا تاما .وقد لاقت مركزات الأشعة الشمسية في السنوات الأخيرة استخداما واسعا لأنها تساعد على زيادة كثافة الأشعة الساقطة على الخلية الكهروضوئية وذلك نتيجة لعمليات الانكسار،الانعكاس،تحويل طول الموجة و الانعراج. ومن المعلوم أن باستخدام مركزات الأشعة تتناقص حاجة الخلايا الكهروضوئية من مادة السيليكون إلى النصف مع درجة الحرارة المذكورة. والمحطات العاملة على الطريقة الكهروضوئية لا تحتاج لمياه تبريد ولا تحوي أجزاء متحركة مما يعني انعدام التآكل فيها وهي لا تحتاج إلى صيانة إذا ركبت بشكل جيد ومناسب.المحطات الكهروضوئية قادرة أيضا على تحويل الجزء المنتشر من الإشعاع الشمسي مما يجعلها ملائمة للطقس الغائم.

٤.٣ كيفية عمل هذه الخلايا

توجه لوحة الخلايا الضوئية بزاوية ميل مناسبة في واجهة الشمس حتى تتساقط أشعة الشمس عموديا على اللوحة، تحول الخلايا الشمسية القدرة الشمسية مباشرة إلى قدرة كهربائية بدون عمليات وسطية، فهي تمتص معظم الطيف الشمسي وتحول جزء من هذه الإشعاعات إلى طاقة كهربائية حيث يمكن استخدامها في الحال أو تخزينها، والمنظومات من هذا النوع تصمم أساسا لاجل المنشآت في المواقع البعيدة بقسوة عالية في طقسها ولذلك يجب أن تكون هذه المنظومات ذات مقاومة عالية للرياح والرطوبة والبرد والعواصف الرملية وأن تحاط بتصميم ضد هجمات الطيور والحيوانات والتآكل، ولهذا فإن المواد الأساسية التي تتثبت بها الخلايا يجب أن تقاوم هذه الأشياء المحيطة ومعدن هذه الخلايا لا يتعرض للتآكل وهذه نقطة هامة جدا حيث تصنع غالبية الخلايا الشمسية من السيليكون وهو نصف معدن وقد يكون عازل ومعدن وفي حالته كمعدن لا تكون إلكترونات ذراته مرتبطة بإحكام مما يؤدي إلى جريانها بسهولة عندما يطبق عليها ضغط كهربائي، بينما تكون إلكترونات ذراته في حالة العازل مرتبطة بشدة لا يحدث جريان عندما يطبق عليها الضغط الكهربائي.ومن أسباب اختيار المواد السيليكونية المميزات الآتية :

١- أنه عالي التوصيل الحراري.

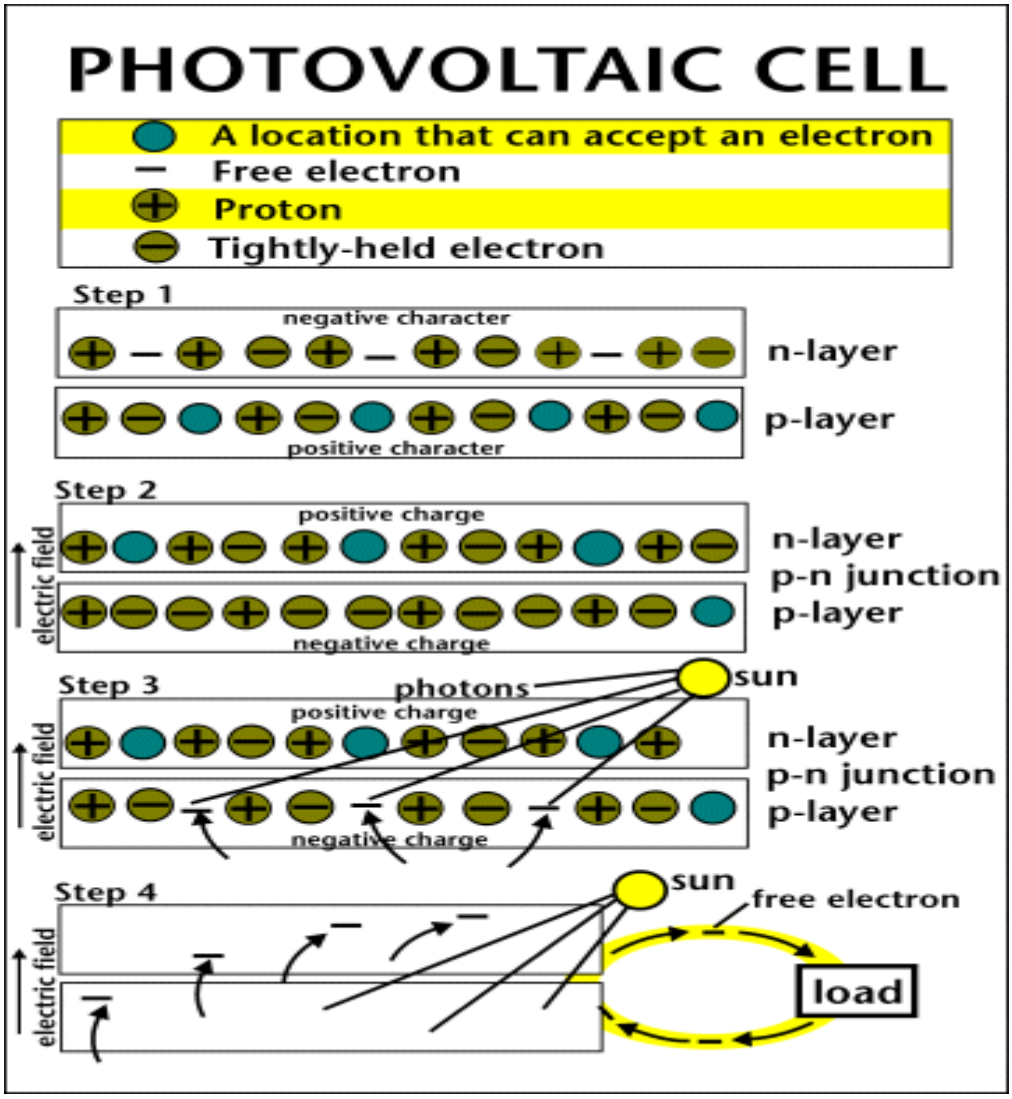
٢- الثبات الجيد مع الطقس المحيط.

٣- عازل ممتاز للكهرباء.

٤- عالي القدرة.

تصنع الخلايا الشمسية بجمع أو ضم نوعين من أشباه المعادن أحدهما سلبي والآخر إيجابي، حيث أن نصف المعدن الإيجابي يصنع لاحتواء أيونات سلبية ونصف المعدن السلبي يصنع لاحتواء أيونات إيجابية، هذه الأيونات الإيجابية والسلبية تهئى البيئة الضرورية لمرور تيار كهربائي يتحرك ضمن الخلية الشمسية والضوء الصادر من الشمس هو عبارة عن جدول من جزيئات الطاقة الصامتة المسماة فوتونات .تتدفق هذه الطاقة الصافية من الشمس على الخلية الشمسية فتقوم هذه الفوتونات باختراق السيليكون وتضرب ذراته بشكل عشوائي مما يؤدي إلى تأين ذرات السيليكون حيث يؤدي ذلك إلى إفلاث إلكترون خارجي من مداره محولا طاقته إلى طاقة حركة للإلكترون وحركة هذه الإلكترونات بطاقتها تسمى بالتيار الكهربائي يبين الشكل(٣-٢) خلية شمسية حيث أن أي خلية شمسية مثالية تتألف من غطاء زجاجي تضم الخلية والكترودين أحدهما خلفي والآخر أمامي

وطبقات من شبة المعدن، حيث تكون أشعة الشمس مجمعة على الالكترود الأمامي فيمر التيار الكهربائي عائدا إلى الخلية الشمسية عبر الالكترود الخلفي . من الجدير بالذكر أن الخلايا الشمسية لا تستطيع لوحدها إنتاج القوة الصالحة للاستعمال فمن الضروري ربطها بمكونات النظام الأخرى وتبين الصور في الشكل التالية توضيح لعمل هذه الخلايا:

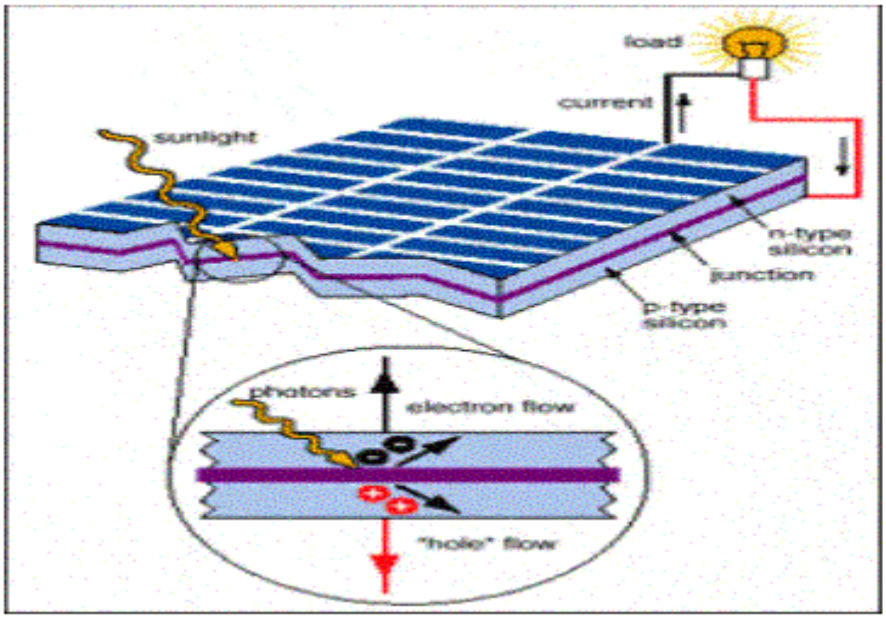


Free electron=وصلة مزدوجة= p-n junction، الطبقة الموجبة= p-layer،الطبقة السالبة= n-layer
=إلكترون الحر، p=بروتون، load =الحمل، step =مرحلة

شكل (٣-٢) نظرية عمل الخلايا الكهروضوئية

وتصنع الخلايا الضوئية من شكل شديد النقاء من السيليكون .والسيليكون عنصر متوافر بكثرة على القشرة الأرضية . وبعد استخراجه يرسل للتنقية . وتنقية السيليكون عملية مكلفة إلى حد ما. ولان السيليكون في شكله شديد النقاء يكون عازلا.ومن ثم يتم إضافة عنصري الزرنيخ والبور ون اللذان يتحدان مع السيليكون .وينتج عن هذا الاتحاد بروتونات والكترونات قابلة للحركة وفي هذه الحالة يصبح السيليكون موصلا إلى درجة ما أو "شبه موصل". وتحتوي الخلية الشمسية على وصلة وهي شبه موصله ما بين طبقة تسمى (بي ـ لير) تحتوي على بروتونات على متحركة.وطبقة تسمى (إن ـ لير) تحتوي على إلكترونات متحركة. وعندما يتم امتصاص قدر كاف من الطاقة الضوئية .يدخل ضوء الشمس من طبقة (بي ـ لير) ثم يمر عبر الوصلة خارجا من طبقة (إن

لير) وخلال هذه العملية تتولد شحنات سالبة وموجبة (موجبة حول {بي لير} وسالبة حول {إن لير})،ومن ثم يصبح هناك قطب موجب (إلكترود) أخر قطب سالب (أنود) وكانت الخلية الشمسية في الفترة السابقة تنتج في ضوء الشمس المباشر ٠.٥ -٠.٧ فولت من الكهرباء.ويتم تجميع الشحنات الكهربائية الناتجة من عدد من الخلايا الشمسية في توصيله واحدة توصل إلى بطاريات وتستطيع البطاريات الطاقة الناتجة عن عمل ٥-٧ أيام.أو تخزن على هيئة هيدروجين يتم الحصول عليه بواسطة التحليل الكهربائي للماء النقي فينبعث غازي الأكسجين والهيدروجين وهما المكونان الرئيسيان لعنصر الماء ويستخدم الهيدروجين مرة أخرى لتوليد الطاقة الكهربائية عن طريق خلية الوقود والتي يتحد خلالها الهيدروجين والأكسجين ليعطي تيارا كهربائيا والماء ولهذه الطريقة مستقبل واعد بيئيا واقتصاديا حيث أن الهيدروجين هو وقود المستقبل

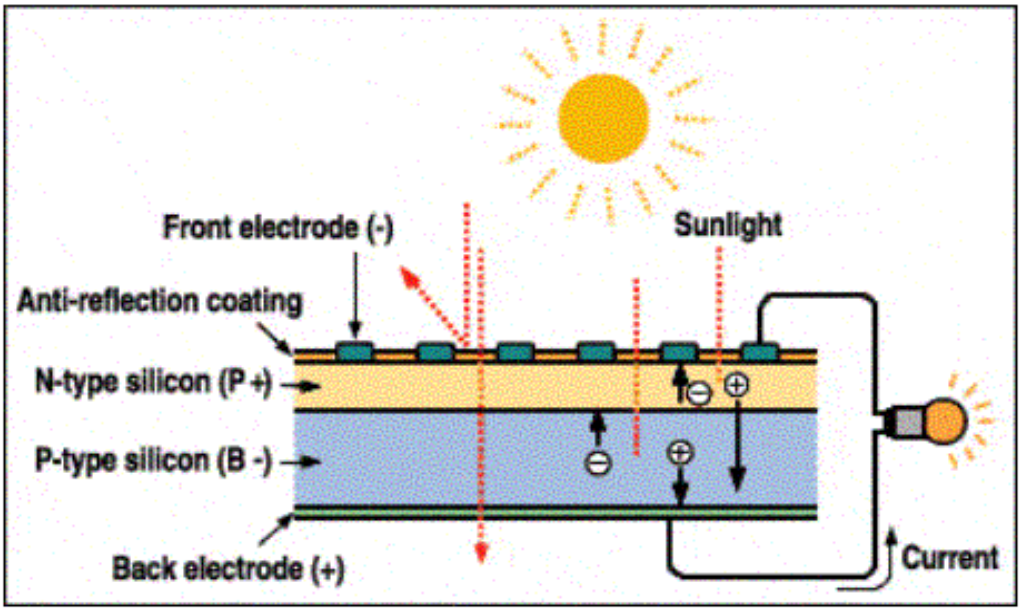


شكل (٣-٣) نظرية عمل الخلية الشمسية

٥.٣ منحنى عمل الخلية الكهروضوئية

إن الغاية الأساسية من الخلية الكهروضوئية هي أن تعطي تيار وتوتر كهربائي معين ليعطي استطاعة حمل معينة ولذلك فإن خاصية التيار-التوتر (I-V) للخلية تعتبر النقطة الأساسية في اختبار الخلية،تمثل هذه الخاصية عادة شكل منحنى يسمى بالمنحنى المميز أو منحنى عمل الخلية الكهروضوئية .فعند V=0 دارة الخلية تكون في حالة قصر (I=0) فإن دارة الخلية تكون مفتوحة والتوتر عندها يساوي(F.O.C). تؤخذ نقطة عمل الخلية الكهروضوئية في النقطة التي يكون فيها التوتر عالياً والتيار أكبر ما يمكن أي في النقطة التي تكون فيها السطوع عظمي :القدرة القصوى = أقسى شدة للتيار×أقصى قيمة لفرق الجهد.

الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية: تعتبر الخلية الكهروضوئية من السيليكون.



شكل(٣-٤) نظرية عمل السيليكون متعدد الطبقات

النصف ناقل .يتضح سطح هذه الوصلة بشكل متعامد مع اتجاه متعامد مع اتجاه الأشعة الشمسية.يؤدي إمتصاص هذه الأشعة إلى ظهور أو توليد حوامل حرة داخل نصف الناقل (إلكترونات وثقوب)، تنفصل هذه الحوامل فراغيا تحث تأثير الحقل الكهربائي لوصلةN-P ( ) الإلكترونات تتجمع في منطقة (N) والثقوب في المنطقة ((P نتيجة) لذلك تظهر بين المنطقتين (N-P قوة محركة كهربائية تستمر طالما تحدث عملية توليد الحوامل الحرة أي طالما تتلقى الخلية الكهروضوئية الضوء، وهي تعمل كمولد للطاقة الكهربائية عند تعرضها للأشعة الشمسية (١٠).

٦.٣ تطبيقات الخلايا الشمسية

١- تأمين الطاقة الكهربائية لقوارب الملاحة واليخوت البحرية.

٢- تغذية بعض الاحتياجات المنزلية كمضخة المياه والنيون والتلفزيون و..الخ.

٣- الإمداد بالقدرة لإنارة المنازل.

٤ - إضاءة الأرصفة على سواحل الميناء والمنشآت البحرية على الشاطئ وداخل البحر.

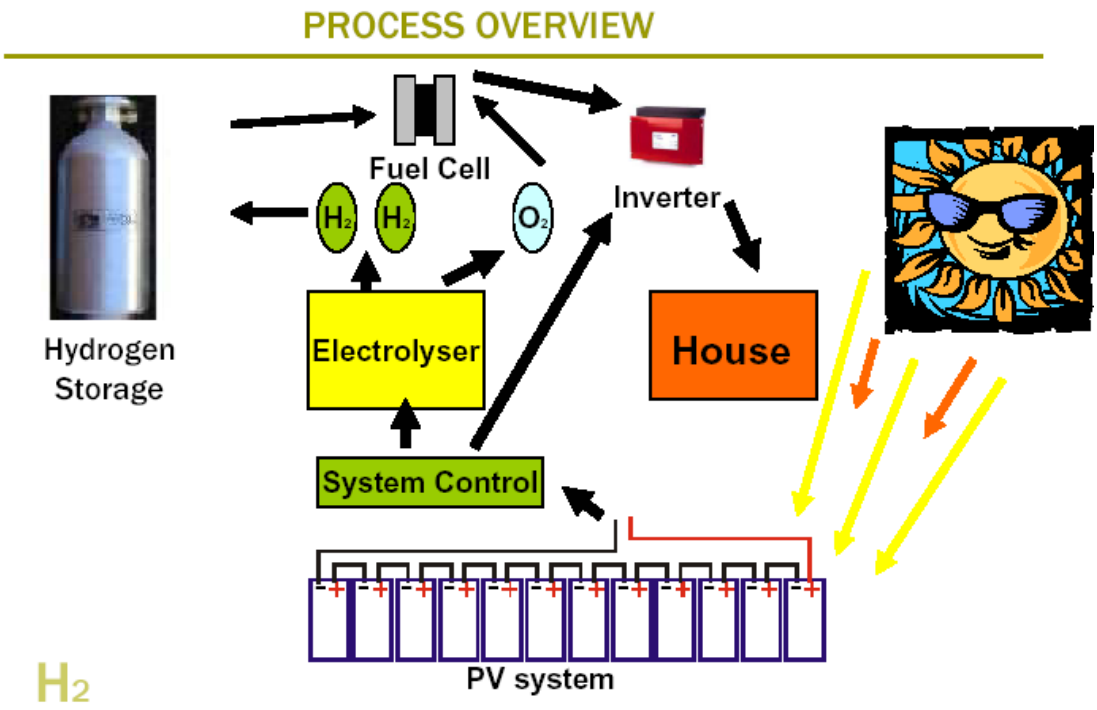
٥- في عملية التكييف والتدفئة باستخدام مباشر لهذه الخلايا من الحرارة المطرودة منها.

٦- في الاتصالات (الراديو ومستقبلات الراديو).

٧- تشغيل مضخات الري وماء الشراب .

٨- علامات الطرق السريعة والسكك الحديدية في الطرق الصحراوية وغيرها من الاستخدامات الطرق السريعة.

٩- يستخدم في التحليل الكهربائي للماء للحصول الهيدروجين والأكسيجين عن طريق المحلل الكهربائي وقد تقدمت البحوث والدراسات وقد أمكن استخدام هذه الطريقة كإحدى طرق تخزين الطاقة الشمسية واستخدامها مرة أخرى عن طريق استخدام خلايا الوقود التي تعمل بواسطة الهيدروجين وهذه الطريقة الحديثة سنقوم في هذا البحث بدراستها وتطبيقها على نموذج افتراضي بتزويد مجموعة سكنية بالكهرباء من خلال منظومة تعمل بالطاقة الشمسية للحصول على الهيدروجين والشكل(٣-٥)يوضح مفهوم هذه النظرية.



شكل(٣-٥) استخدام الطاقة الشمسية في توليد الهيدروجين كمصدر تخزين للطاقة

وقد ثم مؤخرا صنع خلايا شمسية بقاعدة متحركة تدعى التابعات الشمسية، حيث أنه خلال فترة النهار تمر الشمس عبر الخلايا الشمسية في مسار شبه دائري متجهة من الشرق إلى الغرب عبر الأفق، لذلك فإن الزاوية بين الشمس والخلايا تختلف بشكل كبير علما أن أفضل زاوية موجودة هي عندما تسقط أشعة الشمس عموديا على سطح الخلايا طيلة اليوم.أما تابعات الشمس فتتبع الشمس طول فترة النهار لضمان زاوية عمودية بين أشعة الشمس والخلايا الفوتوضوئية .تبدأ التابعات بالعمل مع شروق الشمس وتدور باتجاه الشمس وتلحق بها مع تأخير زمني محدد،أما في الليل فإنها تتوقف عن الحركة بانتظار شروق الشمس من جديد.

٧.٣ بعض مشاكل استخدام الطاقة الشمسية

إن أهم المشاكل التي تواجه الباحثين في مجالات الطاقة الشمسية هي وجود الغبار ومحاولة تنظيف أجهزة الطاقة الشمسية منه وقد برهنت البحوث الجارية حول هذا الموضوع أن أكثر من ٥٠% من فاعلية الطاقة الشمسية تفقد في حالة عدم تنظيف الجهاز المستقبل لأشعة الشمس لمدة شهر .إن أفضل طريقة للتخلص من الغبار هي أستخدم طرق التنظيف المستمر أي على فترات لا تتجاوز ثلاثة أيام لكل فترة وتختلف هذه الطرق من بلد إلى أخر معتمدة على طبيعة الطقس في ذلك البلد . والمشكلة الثانية في استخدام الطاقة الشمسية هي حدوث التآكل في المجمعات الشمسية ولصدأ في المجمعات الشمسية .أما المشكلة الرئيسية التي تواجه استخدام الطاقة الشمسية فهي خزن الطاقة الشمسية والاستفادة منها أثناء الليل أو الأيام الغائمة أو الأيام المغبرة ويعتمد خزن الطاقة الشمسية على طبيعة وكمية الطاقة الشمسية ونوع الاستخدام وفترة الاستخدام بالإضافة إلى التكلفة الإجمالية لطريقة الخزن ويفضل عدم استعمال أجهزة للخزن لتقليل التكلفة والاستفادة بدلا من الطاقة الشمسية مباشرة حين وجودها فقط. ويعتبر تخزين الحرارة بواسطة الماء والصخور أفضل الطرق الموجودة في الوقت الحاضر .أما بنسبة لتخزين الطاقة الكهربائية فما زالت الطريقة الشائعة هي استخدام البطاريات السائلة .توجد حاليا الكثير من الطرق

التخزين للطاقة الشمسية كصهر المعادن والتحويل الطوري للمادة وطرق المزج الثنائي وغيرها .ومن الطرق الحديثة والتي يعول عليها كثيرا في خزن الطاقة الشمسية هي استخدام الهيدروجين كحامل للطاقة وذلك باستخدام الكهرباء الناتجة من الخلايا الشمسية في تحليل الماء إلى عنصري الأكسجين والهيدروجين ثم تخزين الهيدروجين واستخدامه مرة أخرى في مكان أو وقت أخر لتوليد الكهرباء بواسطة خلايا الوقود.[12] وهو موضوع هذا البحث وسندرسه بالتفصيل -بإذن الله – في الفصول المقبلة.

الفصل الرابع

الطاقة الهيدروجينية

١.٤ الهيدروجين

أكتشف الهيدروجين سنة ١٧٦٦م بواسطة العالم هنري كافيندش وهو أول عنصر في الجدول الدوري وهو يتكون بروتون واحد و إلكترون واحد وهذا يجعل منه أصغر وأخف لعناصر.الهيدروجين يتفاعل مع عدد كبير ومختلف من المواد وهو من أكثر روابط العناصر في الطبيعة وهو يمثل أكثر من ٩٠% من العناصر الموجودة في الطبيعة وعليه فإن الهيدروجين يمكن إنتاجه من أنواع عديدة من المصادر.وإحدى هذه المصادر المهمة لإنتاج الهيدروجين هو الماء حيث ينفصل الهيدروجين و الأكسجين بواسطة الكتروليزر و الذي يمكن تغذيته بالكهرباء بواسطة الخلايا الشمسية أو بواسطة شبكة الكهرباء ويمكن استخدام الهيدروجين مرة أخرى بواسطة خلية الوقود لتعطي كهرباء وحرارة وينبعث الماء فقط بدون أي ملوثات . يتصف غاز الهيدروجين بمميزات تجعله وقودا جيدا نظرا لخفته ونظافته وكذلك لما يتميز به من حيث التخزين والتوزيع والنقل والاستخدام بالإضافة إلى قلة العادم الضارة الناتجة بعد استخدامه أو احتراقه.ويمكن تحويل غاز الهيدروجين إلى شكل أخر من الطاقة ويعتبر الهيدروجين من أكثر العناصر تواجدا في الكون حيث يمثل المادة الخام التي تكونت منها كل العناصر الأخرى حيث أن كثيرا من النجوم والكواكب الأخرى تتكون من الهيدروجين فقط أو تحتوي على نسبة عالية منه.الهيدروجين لا يوجد على الأرض كعنصر مستقل بل يوجد في الجو ويشكل نسبة ٠.٢% .الهيدروجين يوجد بنسبة عالية متحدا مع الأكسجين في الماء الذي يملأ البحار والمحيطات .يستعمل غاز الهيدروجين في الصناعة في عمليات الاختزال وفي صنع بعض المخصبات الزراعية وبعض أنواع اللدائن .يعتبر الهيدروجين من أرخص أنواع الوقود المحضر صناعيا نسبة إلى كمية الطاقة المخزونة فيه إضافة إلى قلة نسبة العادم الضارة الناتجة بعد إحراقه[14].

٢.٤ الخواص الفيزيائية والكيميائية للهيدروجين

١.٢.٤ كثافة الهيدروجين

جدول رقم(٤-١) يبين كثافة الهيدروجين

الغاز م^{٣}	سائل (لتر)	الوزن (كلجم)
١	١.١٦٣	٠.٠٨٩٨
٠.٨٥٦	١	٠.٠٧٠٩
١٢.١٢٦	١٤.١٠٤	١

جدول رقم (٤-٢) يبين بعض خواص الهيدروجين

الخاصية	القيمة
الكثافة	٠.٠٨٩٨٨ كلجم/م^{٣}
القيمة الحرارية القصوى	١٢.٧٤٥ ميجا جول/م^{٣}
القيمة الحرارية الصغرى	١٠.٧٨٣ميجا جول/م^{٣}
الطاقة النارية	٠.٠٢ ميجا جول
درجة حرارة النارية	٥٢٠ درجة حرارة مئوية
أخفض مستوى للاشتعال(تركيز الغاز مع الهواء)	١:٤ جزء %
أعلى مستوى للإشعال(تركيز الغاز مع الهواء)	٧٢:٥ جزء %
معدل اللهب	٢.٧ متر/ث

٢.٢.٤ تخزين الهيدروجين

الهيدروجين يمكن أن يخزن في ثلاث أشكال : كغاز أو كسائل أو في مواد أخرى.حجم من الهيدروجين للطاقة المحتوي على ١ لتر من الجازولين.

٣.٢.٤ إحتياطات الآمان

الهيدروجين يعتبر خطيرا كالجازولين ولكن ربما أخطر لصفات الآمان الخاصة به فهو:

١- الهيدروجين أخف من جميع العناصر.

٢- الهيدروجين منخفض الكثافة لذلك فهو مرتفع الطاقة.

٣- الهيدروجين ينتشر في الهواء أسرع من أي وقود غازي.

٤- الهيدروجين لا طعم ولا رائحة ولا لون له وهو غير سام.

٥- يحترق الهيدروجين في أشكال مختلفة من التركيز.

٦- لهب احتراق الهيدروجين غير مرئي في ضوء النهار.

٧ -طاقة احترق الهيدروجين في تركيزا معينة منخفضة جدا.

٨- معدل لهب الهيدروجين أكثر ارتفاعا من جميع أنواع الوقود.

٩- درجة حرارة احتراق الهيدروجين مرتفعة أكثر من الجازولين.

١٠- أن الهيدروجين قابل للانفجار في التركيز العالية خاصة إذا خزن ولكن في الهواء الجوي صعب أن ينفجر[15].

جدول رقم (٤-٣) يبين مقارنة بين الهيدروجين وبعض أنواع الوقود الأخرى

الخواص	هيدروجين	جازولين	ديزل	الغاز الطبيعي	ميثانول
الكثافة(كيلوجرام/لتر)	٠.٠٠٠٠٨٩٨	٠.٧٠٢	٠.٨٥٥	٠.٠٠٠٧١	٠.٧٩٩
الكثافة(كلج/م^{٣})(الحالة الغازية)	٠.٠٨٩٨	٧٠٢	٨٥٥	٠.٧١	٧٩٩
كثافة الطاقة(ميجا جول/كلج)	١٢٠	٤٢.٧	٤١.٩	٥٠.٤	١٩.٩
كثافة الطاقة(ميجاجول/لتر)	٠.٠١٠٠٦	٣١.٢	٣٦.٥	٠.٠٣٦١	١٥.٩
كثافة الطاقة(ميجا جول/متر^{٣})	١٠.٧٨٣	٣١٢٠٠	٣٦٥٠٠	٣٦.١	١٨٠٠٠
كثافة الطاقة(كيلووات ساعة/كلج)	٣٣.٣	١١.٨٦	١١.٦٤	١٤	٥.٥٣
كثافة الطاقة (كيلووات ساعة/متر^{٣})	٢.٧٩	٨٦٦٦.٦٧	١٠١٣٨.٨٨	١٠.٠٢	٤٤٢٠

هذه القيم مأخوذة من أقل قيمة حرارية وعند الضغط الجوي العادي وعند درجة حرارة العادية.

جدول رقم (٤-٤) يبين بعض مصادر الهيدروجين

مصدر الطاقة	نوع الطاقة	تقنية الطاقة	طريقة الإنتاج
الطـاقـــة المتجددة	كهرباء	الرياح	الكتروليزر(المحلل)
		هيدروليك	
		موجات	الخلايا الشمسية
		الشمس	
	غاز أو مواد	الكتلة الحيوية	تصفية
			البيولوجي
الاحفورية	قدرة	نووية	الكتروليزر(محلل)
			حراري نووي
	مواد /غاز	الغاز الطبيعي	تصفية
		ميثانول	
		النفط	
		الفحم	تحويله إلى غاز

جدول رقم (٤-٥) يبين خواص تخزين الهيدروجين في حالات مختلفة

محتوى طاقة ١ لتر من الجازولين	كيلووات ساعة	
تقنية تخزين الهيدروجين	حجم من الهيدروجين للمحتوى٨.٦٧ كيلووات ساعة	حجم من الجازولين ل٨.٦٧ كيلووات ساعة
الضغط (جوى)	٣١٠٧ لتر	١
الضغط (٢٠٠ بار)	١٣ لتر	
الضغط (٧٠٠ بار)	٦.٤ لتر	
سائل (-٢٥٣ درجة مئوية)	٣.٦ لتر	
ميثانول	١.٨ لتر	
هيدروميثيل( )	٢.٣ لتر	
هيدروميتيل الحديد	١.٧لتر	

هذه البيانات تتغير تبعا لنوع القياسات.كل معلومات الهيدروجين بأقل قيمة حرارية٢.٧٩ كيلووات ساعة/متر^{٣} عند درجة حرارة وضغط عادية[15].

جدول (٤-٦) بعض خواص الأمان للهيدروجين

خواص احتياطات الآمان	الهيدروجين	جازولين
طاقة الاشتعال	٠.٠٢ ميجاجول	٠.٢٤
درجة حرارة الإشعال	٥٢٠ درجة حرارة مئوية	٢٤٠ درجة حرارة مئوية
انتقال الإشعال(التركيز على الاشتعال)	٤.١-٧٢.٥ جزء%	١- ٧.٦ جزء %
اقل درجة الانفجار(تركيز في الهواء)	١٣- ١٨جزء%	١.١ %
معدل اللهب (متر/ث)	٢.٧	٠.٣
أشعة اللهب	١٧ -٢٥ %	٣٤ــــ٤٣ %
طفوية (الكثافة النسبية)	٠.٠٧	٤
الانتشار (سم^{٢} /ث)	٠.٦١	٠.٠٥

٤.٢.٤ أسباب إختيار الهيدروجين

١- الهيدروجين يعطي طاقة خالية من الانبعاث.

٢- الهيدروجين آمن كما الجازولين والغاز الطبيعي.

٣- الهيدروجين في المدى البعيد سيدخل في منافسة مقارنة بالوقود الاحفوري.

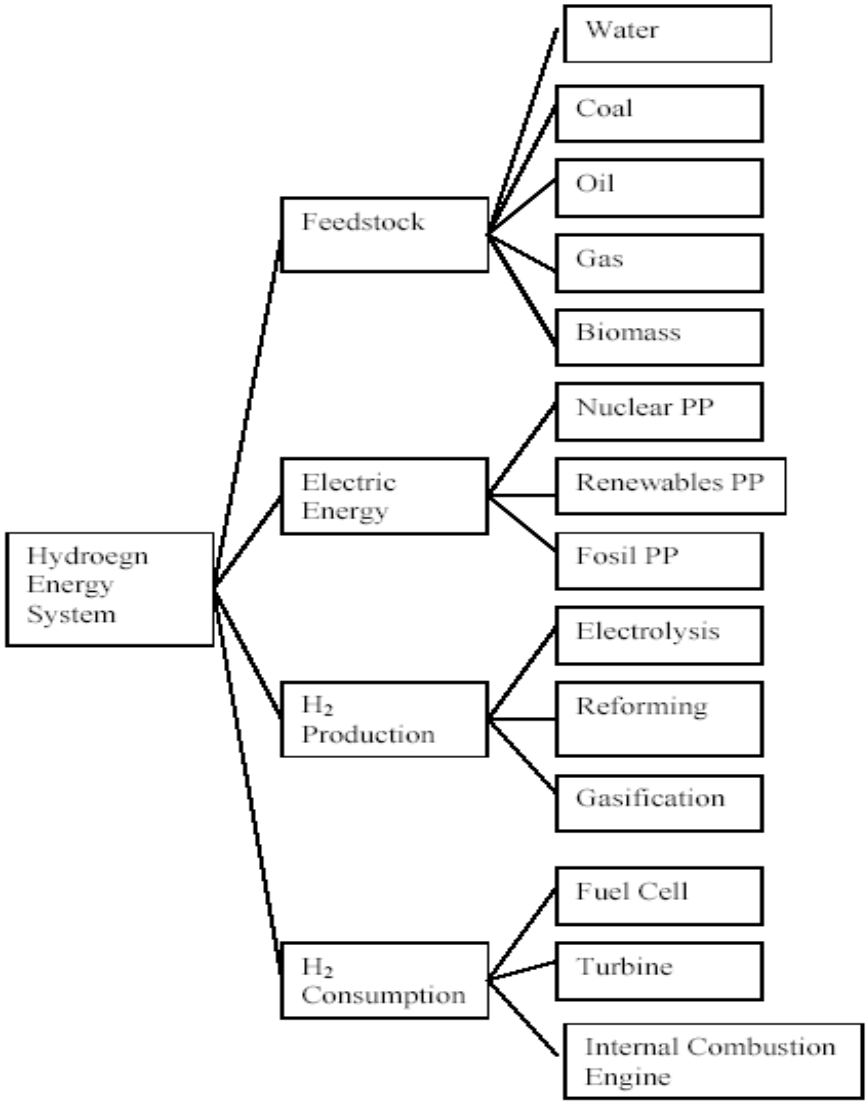
٤- الهيدروجين يزيل الاعتمادية الكاملة على الوقود الاحفوري.

٥- الهيدروجين يمكن إنتاجه من أي تقنية سواء الشمس أو الرياح.

٦- الهيدروجين مع خلايا الوقود تقنية جديدة يمكن أن تخلق فرص عمل جديدة. إما الكتلة الذرية للهيدروجين فهي ١.٠٠٧٩٤ جم/مول ويدخل الهيدروجين بنسبة ٧٥% في التركيب العنصري للمواد الطبيعية للكون وبعض النجوم تتركب أساسا من الهيدروجين على شكل بلازما .وينتج الهيدروجين في الوقت الحاضر صناعيا من

الهيدروكربونات وفي الوقت الحاضر أكثر استخدام لـه في معالجة الوقود الاحفوري خاصة النفط ويوجد لـه تطبيقات عديدة في مجال الطاقة والاقتصاد العالمي[15].

إن اغلب النظائر الطبيعية للهيدروجين تحتوي على واحد إلكترون ونواة ذرية ذات بروتين واحد أما في المركبات الايونية يمكنه اخذ شحنة موجبة أيضاً (ليصبح أيون موجباً ويصبح البروتون مكشوفاً) أو يصبح أيون سالب ويعرف كهيدرويدات الهيدروجين .الهيدروجين يمكن أن يكون مركبات مع غالبية العناصر وهو موجود في المياه وفي كل المركبات العضوية وهو يلعب دورا عمليا مهم في تكوين الأحماض الكيميائية عند حدوث التفاعلات التي يتم فيها تبادل في النيترونات بين جزيئات المواد القابلة للذوبان وعنصر الهيدروجين هو الوحيد الذي يعطي عرضا تحليلية لمعادلة سكارنجر التي تدرس طاقات و رابط ذرة الهيدروجين والتي تلعب دورا رئيسياً تاريخيا ونظريا في اكتشاف ميكانيكا الكم.الكميات الكبيرة من



شكل(٤-١) طرق إنتاج واستخدام الهيدروجين

الهيدروجين تستخدم في المجال النفطي والصناعات الكيميائية فهو في المجال النفطي في هيدروالكالين وهيدروكبريتيك والفصل الهيدروجيني وهو مهم جدا في كثير من الأغراض الأخرى فهو يستخدم في هدرجة الزيوت والدهون كما في الدهون النباتية وإنتاج الميثانول .الهيدروجين يستخدم في صناعة حمض

الهيدروكلوريك ويستخدم في بعض طرق اللحام وفي اختزال الخامات المعدنية ويدخل في مكونات وقود بعض أنواع الصواريخ ويستخدم كوسيط تبريد في المولدات الكهربائية في محطات الكهربائية لان له أعلى موصليه حرارية عن أي غاز أخر .بما أن أخف من الهواء وهو يمثل١٥/١ من كثافة الهواء فقد استخدم في الماضي كثيرا في النقل الجوي كعامل رفع في البالونات الهوائية ولكن إحدى الحوادث الجوية التي انفجر فيها إحدى البالونات أدى إلى كارثة جوية أدت إلى مقتل العديد في هذه الحادثة المروعة التي بعدها توقف استخدام الهيدروجين في رفع البالونات نتيجة لخطورة استخدامه. من خلال الهيدروجين يحضر الديتريوم وهو نظير للهيدروجين (هيدروجين-٢) يستخدم في تطبيقات الانصهار النووي كملطف لتقوم ببطيء النيترونات وفي تفاعلات الانصهار النووي أما الديتيريوم فتوجد له تطبيقات في مجال الدراسات الكيميائية والمجال البيولوجي لتأثير تفاعلات النظائر.أما التريتيوم (هيدروجين-٣) ينتج في المفاعلات النووية ويستخدم في إنتاج القنبلة الهيدروجينية تصنف من النظائر المهمة في العلوم البيولوجية .الهيدروجين ليس مصدراً للطاقة وبما أنه لا يتوفر كمصدر طبيعي وفي سبيل الحصول عليه يتم استهلاك قدر كبير من الطاقة لإنتاجه اكثر من العائد المستخلص منه فهو لذلك يعتبر فقط حاملا جيد للطاقة وكما جاء في تقرير قسم الطاقة للولايات المتحدة الأمريكية لسنة ٢٠٠٣م حيث يذكر أن أكثر الاستراتيجيات الطاقات البديلة والبني التحتية للطاقة هو استخدام الهيدروجين وهو ثالث عنصر من حيث الوجود على سطح الأرض ويمكنه حمل أنواع عديدة من الطاقة إلى استخدامات نهائية مختلفة يمكن أن يؤمن طاقة مستقبل نظيفة ونظرياً مميزات استخدام الهيدروجين من ناحية التركيز على الناحية البيئية للاستخدام .وبما أن الهيدروجين ابسط العناصر لأن ذرته تتكون من بروتون واحد و إلكترون واحد وهو أيضا أكثر العناصر توافراً في الطبيعة وبالرغم من بساطته وتوفره في الطبيعة ولا يمكن إيجاده كغاز على الأرض ويكون دائما متحد مع عناصر أخرى فالماء مثلا هو اتحاد عنصري الهيدروجين والأكسجين (H_2O) وكما هو معلوم فأن الهيدروجين يوجد في كثير من المركبات العضوية وبشكل ملحوظ في الهيدروكربونات التي يتكون منها الكثير من الوقود المستخدم كالجازولين والغاز الطبيعي والميثانول والبر وبان وكما سبق يمكن الحصول على الهيدروجين عن طريق فصله من الهيدروكربونات بواسطة التطبيقات الحرارية والعمليات التي تعرف بالتصفية وفي الوقت الحاضر أغلب الهيدروجين المنتج من الغاز الطبيعي ويستخدم التيار في فصل الماء إلى عنصريه الأكسجين والهيدروجين وتستخدم بعض أنواع الطحالب والبكتيريا التي تستخدم ضوء الشمس كمصدر للطاقة منتجة الهيدروجين في بعض الحالات.والهيدروجين مرتفع الطاقة مع هذا فإن المحرك الذي يستخدم الهيدروجين النقي لا ينتج عنه تلوث . وكالة الفضاء الأمريكية استخدمت الهيدروجين السائل في محركات الدفع للمكوك الفضاء والمركبات الصاروخية الأخرى لانطلاقها إلى المدار واستخدمت خلايا وقود الهيدروجين لتغذية أنظمة المكوك بالكهرباء وينتج عن ذلك ماء نقي للشرب وتعتبر خلايا الوقود كالبطاريات التي تعطي تزويداً مستمر بإضافة الوقود لها وهي لا تفقد شحنتها كما في البطاريات وخلايا الوقود هي تقنية واعدة في الاستخدام كمصدر للحرارة والكهرباء للمباني وهو مصدر القدرة الكهربائية للسيارات التي تسير بالهيدروجين وبالرغم من هذه التطبيقات والاستخدامات المثالية إلا أن أغلب مصادره في الوقت الحاضر هي الغاز الطبيعي ميثانول أو الجازولين بواسطة (Reforming) وهي تستخدم الوقود الاحفوري وخلايا الوقود ستكون من البني التحتية للطاقات المستقبلية. أما في المستقبل فإن الهيدروجين والكهرباء سيرتبطان كأهم حاملي وتخزين وحركة واستخراج الطاقة في صفة ملائمة للمستهلكين . ومصادر الطاقة المتجددة كالشمس مثلاً لا يمكنها إنتاج الطاقة طوال الوقت فالشمس لا تكون ساطعة دائما ولكن باستخدام الهيدروجين يمكن أن تخزن هذه

الطاقة حتى استخدامها وقت الحاجة وكذلك يمكن نقله من مكان إلى أخر حسب الحاجة من خلال التصورات العلمية يمكننا أن نعلم أن الهيدروجين سوف يكون أحد أساسيات البني التحتية للطاقة المستقبلية حيث ستحل محل الغاز الطبيعي والنفط والفحم في المستقبل غير البعيد (٨).

٣.٤ أساليب هيدريدات المعادن

كما في الحالات الأخرى فإن متطلبات تخزين الهيدروجين في المعادن تحتاج إلى حساب لمضاعفة نسبة التخزين في كل مرة فنسبة الطاقة ونسبة التبريد تحتسب اعتمادا على معدل سريان الهيدروجين ومياه التبريد تستخدم لتخزين الهيدروجين إذا كانت على هيئة هيدريدات والحرارة تستخدم لتحريره والتكلفة الرئيسية لتخزين الهيدروجين في صيغة هيدريدات ليعطي كمية من الهيدروجين هي تكلفة التخزين فقط بدون إضافات أخرى وللتخزين بهذه الطرق حسابات خاصة لتعطي أقل تكلفة ممكنة لإنتاج الهيدروجين.ومن بين التحديات التي تواجه استخدام الهيدروجين في السيارات مثلا هو تخزين كمية من الهيدروجين بداخلها تكفي لمسافة أكثر من ٣٠٠ ميلاً.ولو آخذنا أساسا قضية الأوزان فإن الهيدروجين يحتوي على كمية من الطاقة بمقدار ثلاث أضعاف ما يحتوي عليه الجازولين أي (١٢٠ ميجا جول/كلجم) للهيدروجين تقابلها(٤٤ ميجا جول/كلجم) للجازولين. أما من ناحية الحجم فإن ٨ ميجا جول /لتر من سائل الهيدروجين يقابلها ٣٢ ميجا جول /لتر من الجازولين[16].
ويخزين الهيدروجين بالسيارات التي تستخدم الهيدروجين يتم بواسطة خزانات تخزين خاصة ذات حمولة (٥ـ١٣ كلجم) من الهيدروجين لتغطية احتياجات النقل الخفيف للمركبات[20].

٤.٤ خيارات تخزين الهيدروجين

الخيارات الرئيسية لتخزين الهيدروجين هي تخزينه كغاز مضغوط أو سائل أو اتحاد مع مركبات كصيغة هيدرات المعادن والتخزين تحث سطح الأرض بالرغم من أنه يعتبر كصيغة تخزين للغاز تحث سطح الأرض وكل طريقة لها مميزاتها وعيوبها.

١.٤.٤ طريقة التخزين بواسطة سائل الهيدروجين

هو تخزين عالي الكثافة عن أي نوع أخر ولكنه يحتاج إلى خزان ذو عزل عالي وقدرة عالية لتحويل الغاز إلى سائل .واختيار أفضل طريقة لتخزين الهيدروجين يعتمد على:

١- نوع التطبيق (هل الهيدروجين المطلوب سائل أم غاز و ما هو الضغط المطلوب).

٢- كثافة الطاقة المطلوبة (ما هو صنف الهيدروجين المستخدم وما هو الغرض منه).

٣- كمية الهيدروجين المخزنة (هل هو استخدام صغير أو هو تخزين أساسي لكميات كبيرة من الهيدروجين) .

٤- زمن التخزين (هل يتم التخزين لساعات فقط أو تخزين فصلي).

٥- ما هي صيغة الطاقة المتوفرة بسهولة(هل يوجد فاقد في الحرارة وهل يوجد ضغط بخار عالي متوفر لتشغيل التوربينات مثلا).

٦- هل توجد رغبة في تخزين كمية أكبر من الهيدروجين في المستقبل(هل يوجد أسباب تدعو إلى زيادة تخزين كمية أخرى من الهيدروجين).

٧- إحتياجات الصيانة (هل يوجد صيانة يعتمد عليها ما يمكن إيقاف التخزين لغرض الصيانة) والهيدروجين يمكن أن يخزن في أشكال مختلفة ولكن استخدامه كوقود مقارنة بالأنواع الأخرى من الوقود للسيارات مثلاً يجب أن تقطع به السيارة مسافة التي يقطعها الوقود الهيدروكربوني .ومن خلال ذكر أنواع تخزين الهيدروجين السابقة الذكر وهي كغاز مضغوط أو كسائل الهيدروجين أو كهيدريدات المعادن والتخزين تحت الأرض والتكلفة الإجمالية للتخزين والتشغيل محسوب على أساس معدل الإنتاج وزمن التخزين وفي كل الأحوال يعتبر التخزين تحت الأرض هو الأرخص طريقة ويفضل تخزين الهيدروجين كسائل في حالة الفترات الطويلة عنه من الغاز المضغوط.وكما ذكرنا أن الهيدروجين يخزن طبيعيا كغاز أو كسائل وتخزينه كغاز يحتاج خزانات ذات ضغط مرتفع من(٥٠٠٠ PSI) أما تخزين الهيدروجين كسائل فيحتاج إلى تبريد كبير جداً فكما هو معلوم أن نقطة غليان –٢٥٢.٨ درجة مئوية عند واحد ضغط جوي[18].

٢.٤.٤ طريقة التخزين بواسطة الغاز المضغوط

خلايا وقود الهيدروجين للسيارات(FCVS) ينبعث منها كمية من الماء باستمرار مع الاستخدام .من خلال المقارنة بين خلايا وقود الهيدروجين للسيارات ومحركات الاحتراق الداخلي (ICES)وكم تكون المسافة المقطوعة لكل جالون وكمية المياه الناتجة :

محرك سيارة احتراق بنزين ⟵ ٢٥ mpg

(١) ١جالون بنزين ⟵ ٢.٧ kg من الوقود

(ما يعادل CH_2)

(1) $CH_2 + 3/2\ O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$(water)

2.7 kg +9.3kg ⟶ 8.5 kg + 3.5 kg

3.5 kg water /25 Miles=0.14 kg water/MILES

ما ينبعث من محرك احتراق داخلي من الماء

(٢)سيارات خلايا وقود الهيدروجين ⟵ 60 M p g

(60M p g g e) ⟵ 60ميل لكل جالون غاز مكافئي

١ جالون من البنزين يكافئ بقيمة قريبة جداً من ١ kg من الهيدروجين

$H_2 + 1/2O_2 \longrightarrow H_2O$ (water)

1.0 Kg + 8.0 kg ⟶ 9.0 kg

9.0kg water /60 Miles= 0.15 kg (water)/Mile

ما ينبعث من محرك خلايا وقود الهيدروجين من ماء [20]

*ملاحظة:الحسابات السابقة تفترض أن:

(الجازولين vehicle(I C E) محرك الاحتراق الداخلي البنزين بمتوسط ٢٥ ميل لكل جالون .(الهيدروجين (F C V) محرك خلايا الوقود الهيدروجين بمتوسط ٦٠ ميل لكل جازولين مكافئ

[gge) of hydrogen] م(Gge 1) من الهيدروجين يحتوي على نفس الطاقة التي يحتويها جالون من البنزين {في معدل أقل قيمة حرارية(LHV) وهي تساوي تقريبا ١ كيلوجرام من الهيدروجين.خلايا الوقود يعتبر نظام له قيمته لأن كفاءة طاقته تعادل ٢.٤ مرة من أنظمة الاحتراق التقليدية وهو ينجز ٢.٤ مرة ميل لكل جالون مما ينتجه جالون مكافئ بنزين .أما بنسبة للغاز المضغوط فمتطلبات التخزين تحسب من معدل الإنتاج وزمن التخزين .الطاقة المستخدمة تعتمد أساساً على معدل السريان والضغط النهائي الخارج . الحالة الأساسية[21] للقدرة المستخدمة في رفع الضغط من ١ ضغط جوي إلى ٢٠ ميجا باسكال (٢.٩٠٠ بي إس أي أ) وفي حالة الضغوط المختلفة الخارجة.الزيادة الطبيعية في الضغوط تستخدم لضبط متطلبات القدرة ارتفاعا أو هبوطاً.

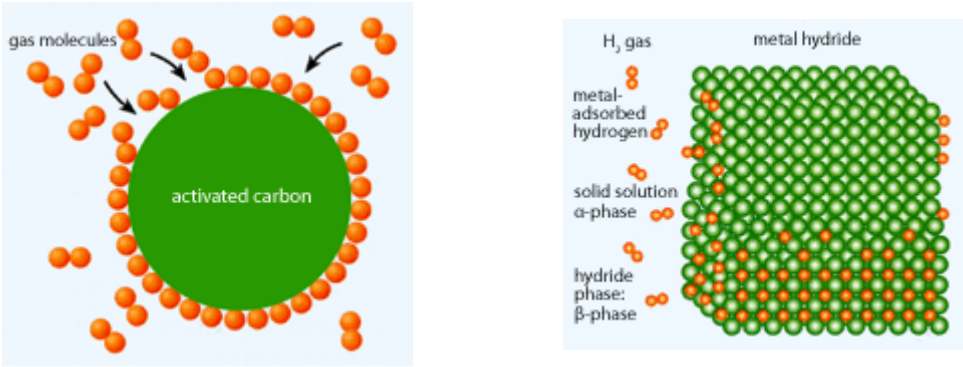
جدول (٤-٩) مقارنة بين أحجام وأوزان خزانات مختلفة .

Volume (liter)	Vehicles with equal driving distances per fill-up	Mass (kg)
70	Gasoline/combustion engine	50
320	Compressed hydrogen (350 bar) / fuel cells	90
180	Compressed hydrogen (700 bar) / fuel cells	~ 100
190	Liquid hydrogen / fuel cells	45
180	Hydrogen in metal hydride / fuel cells	200-600

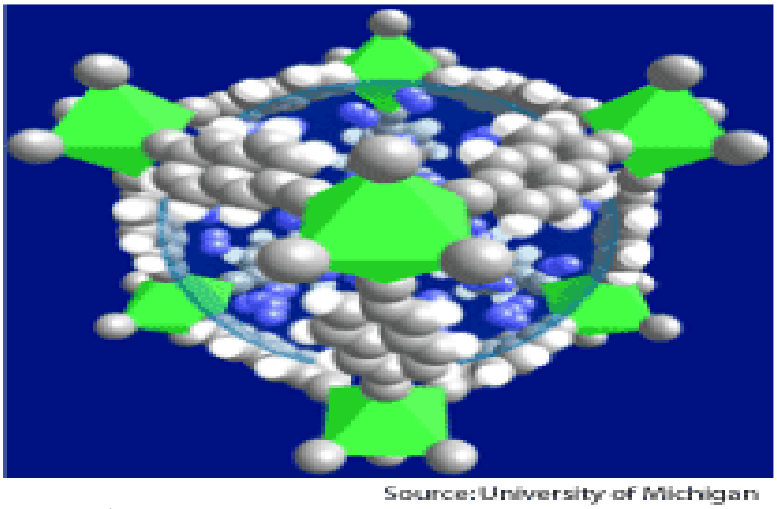
أما تكاليف الضاغط فهي تعتمد على قدرة الضاغط ومعدل الضغط الخارج أما تكاليف خزان الضاغط فهي تعتمد على تقدير التكلفة عند(٢٠ ميجا باسكال، ٢.٩٠٠ بي سي أي اء) وهذا يعتمد على الضغوط والأحجام المختلفة . ورغم أن قاعدة التكلفة تعتمد على قاعدة الكتلة ولكن قاعدة التقدير تعتمد على الحجم بمضاعفة معدل الضغوط .التكاليف الرئيسية تشمل الضاغط وخزان الضغط وتكليف التشغيل تشمل أيضا الكهرباء وتكاليف ماء التبريد ولتقليل تكلفة المنظومة تحسب على أساس زمني ولمدة ٢٢ سنة [20] .

٣.٤.٤ تخزين الهيدروجين بواسطة المواد

يمكن تخزين الهيدروجين أيضا على سطوح المواد الصلبة وتعرف بالتكثيف (CONDENSAT) أو خلال المواد الصلبة بواسطة الامتصاص (Absorption). ففي التكثيف تتعلق ذرات أو جزيئات الهيدروجين بسطح المواد .أما في الامتصاص فتنفصل ذرات الهيدروجين إلى أحادية ذرة هيدروجين ثم تندمج في إطار النظام الشبكي للمواد الصلبة كما في الشكل [4-2]



شكل (٤-٢) تخزين الهيدروجين بواسطة التكتيف



شكل (٤-٣) التداخل بين جزيئات الهيدروجين وجزيئات المعدن في هيدريدات المعدن

تخزين الهيدروجين في المواد الصلبة يسمح بإمكانية تخزين كمية كبيرة من الهيدروجين في أحجام صغيرة وتحت ضغط منخفض ودرجة حرارة الحجرة العادية ويمكن أن تنجز أحجام ذات كثافة عالية أكثر من الهيدروجين المسال لآن جزئي الهيدروجين ينفصل إلى الهيدروجين الذري خلال هيدريدات إطار النظام الشبكي.وأخيرا الهيدروجين يمكن أن يخزن من خلال تفاعل المواد المحتوية على الهيدروجين مع الماء (أو مركبات أخرى كالكحول) .وفي هذه الحالة الهيدروجين يخزن في الاثنين المواد والماء وتعبير (التخزين الكيميائي للهيدروجين) أو الهيدريدات الكيميائية الذي يصف صيغة تخزين الهيدروجين أي أنه من الممكن تخزين الهيدروجين في تركيبة سائلة وصلبة. والنتيجة أن الهيدروجين إذا أردنا استخدامه بكميات كبيرة فلابد من القيام بتخزينه أما الاستخدامات الخفيفة كما في السيارات فيجب تغذيتها بالهيدروجين كما هو الحال في السيارات التي تسير بالوقود التقليدي[20]

٥.٤ إنتاج الهيدروجين

الهيدروجين يمكن إنتاجه من مصادر طاقة محلية مختلفة منها الوقود الاحفوري كالفحم والغاز الطبيعي بواسطة اختزال وفصل الكربون أو من الطاقة المتجددة كا لكتلة البيولوجية وتكنلوجيات الطاقة المتجددة وتشمل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة الحرارة الجوفية والطاقة المائية والطاقة الذرية وسنذكر بعض الطرق التكنولوجية للحصول على الهيدروجين.

١.٥.٤ عمليات الكيمياء الحرارية

١- فصل بخار الميتان: في هذه العملية، بخار مرتفع الحرارة يستخدم لاستخلاص الهيدروجين من مصدر الميتان كالغاز الطبيعي وهذه الطريقة هي الأكثر شيوعا لانتاج الهيدروجين ينتج بهذه الطريقة ٩٥% من الهيدروجين في الولايات المتحدة.

٢- الأكسدة الجزئية :ويقدم العلماء طريقة إنتاج الهيدروجين بواسطة الفصل الآني للأكسجين وأكسدة جزئي الميتان [12]

٢.٥.٤ طرق حرارية أخرى

١- فصل الماء عن طريق تركيز الحرارة الشمسية .

٢- إحراق الكتلة البيولوجية أو تحويلها إلى غاز (أي المواد الطبيعية كالنباتات أو المخلفات الزراعية) للحصول على وقود عضوي أو غاز والذي بعد ذلك يعالج للحصول على الهيدروجين.

٣- طرق التحليل الكهربائي

التحليل الكهربائي :في المحلل الكهرباء تستخدم لفصل عنصر الماء (H_2O) إلى هيدروجين وأكسجين وفي الوقت الحاضر نظام التحليل الكهربائي تستحوذ على قدر كبير من اهتمام الطاقة في الوقت الحاضر والتحدي الكبيرة لهذه الطرق هو خفض التكلفة وإيجاد كفاءة اكثر تقنية التحليل الكهربائي

٤-عمليات التحليل الضوئي :في التحليل الضوئي ، ضوء الشمس يستخدم لفصل الماء وهناك طريقتان معتمدة:

١- طرق التحليل الضؤبيلوجي:والتي يقوم فيها الميكروبات عندما تتعرض لضوء الشمس بتحليل الماء لينتج الهيدروجين

٢- طرق التحليل الكهروضوئية ويتم فيه غمر أشباه الموصلات في الماء وعندما تتعرض لضوء الشمس تقوم بتوليد كهرباء كافية لأنتاج الهيدروجين بواسطة فصل الماء [12].

٣.٥.٤ نقل وتوزيع الهيدروجين :

بما أنه يمكن إنتاج الهيدروجين من مصادر متعددة واستخدام طرق كثيرة فالهيدروجين يمكن إنتاجه في مصانع ضخمة ونقله إلى المستخدمين وأيضا يمكن إنتاجه محليا واستخدام مولدات صغيرة عند محطات التزود بالوقود للتخلص من النقل لمسافات بعيدة وفي الوقت الحاضر ينقل الهيدروجين بطرق البرية عن طريق الاسطوانات وأنابيب عربة القطار وناقلات مبردة أو في خطوط الأنابيب بالرغم من أن النقل بالأنابيب في الوقت الحاضر لا يوجد إلا في بعض المناطق القليلة في الولايات المتحدة والبنية التحتية لتوزيع الهيدروجين سوف تحتاج ضواغط ذات ضغوط عالية للهيدروجين الغازي وتسيل الهيدروجين للنقل المبرد ولكليهما أهمية كبرى في التكاليف يضاف إليهما تكاليف التشغيل وكفاءة الطاقة.ولقد ركزت هيئة الطاقة الأمريكية على البحوث في مجال تطوير وتحسين ودائمية وتجدد مصادر الطاقة .ومن خلال طرق عائد التكلفة لتخزين الهيدروجين في السيارة يعتبر التخزين من التحديات.وبما أن الهيدروجين يحتوي أكثر طاقة بنسبة لوزنه أكثر من أي حامل طاقة أخر وهو

يحتوي على أقل طاقة بنسبة للحجم وهذا يجعل في تخزينه صعوبة لكميات كبيرة في حيز صغير كما في خزان غاز للسيارة[20].

٦.٤ بعض تقنيات تخزين الهيدروجين

١- خزانات الضغط المرتفع :الهيدروجين غاز يمكن ضغطه وتخزينه في خزانات تخزين.وهذه الخزانات يجب أن تكون قوية ومتينة وخفيفة الوزن مع منافسة في التكلفة.

٢- الهيدروجين المسال : يمكن تخزين الهيدروجين كسائل وفي هذه الحالة يمكن تخزين الهيدروجين باعتبار الحجم .أي تخزين كمية كبيرة بنسبة للحجم ولكن يجب أن تكون درجة حرارة التخزين(-٢٥٣)

٣- تخزين معتمد على بناء المادة: الهيدروجين يمكن تخزينه في المواد الصلبة كبودرة أو سائل وهناك تقنيات تحت الدراسة وتشمل:

١- هيدريدات المعادن الانعكاسية: الهيدروجين يتحد كيميائياً مع بعض المعادن التي تنتج قيمة تخزينه عالية مقارنة بالغاز المضغوط أو المسال وهذه المواد يمكن إعادة تعبئتها على متن السيارة أو المركبة.

٢- المواد الكربونية والمواد ذات سطح العالي الامتصاص :بعض أنواع الكربونات يمكن أن تخزن الهيدروجين في شكل انعكاسي وهناك مواد امتصاصية قابلة لتخزين الهيدروجين في درجة حرارة الغرفة.

٣- هيدريدات المواد الكيميائية :وهي مواد تحت الدراسة وتعمل على انبعاث الهيدروجين في تفاعل كيميائي في السيارة ذاتها وهذه المواد تزال بعد ذلك ويعاد شحن مواد جديدة في محطات التغذية بالوقود[12].

٧.٤ التحديات التي تواجه تخزين الهيدروجين

من المعلوم أن من التحديات التقنية في مجال النقل هي كيف يمكن تأمين تخزين كمية من الهيدروجين نحتاجها لمدى القيادة العادية (أقل من ٣٠٠ ميل) وتكون داخل حيز السيارة أو المركبة وتكون مناسبة في الوزن والحجم والكفاءة والتكلفة والمتانة خلال جميع فترات التشغيل وعمر المركبة بالكامل والتأكد من ذلك بشكل ثابت وتكون قابلة للتزود بالوقود عدة مرات على الطريق وتشمل التحديات الأشكال الآتية:الوزن والحجم أنظمة التخزين يعتبر حاليا من التحديات للمدى غير المناسب للمركبات .المواد والمكونات التي تحتاجها يجب أن تكون مرتبة وخفيفة الوزن لنتمكن من جعل المدى أكثر من ٣٠٠ ميل:-

١-الكفاءة:كفاءة الطاقة من التحديات لكل معدات تخزين الهيدروجين، احتياجات الطاقة للحصول على الهيدروجين واستخدامه فهي تستخدم في إدخال وإخراج الهيدروجين لعملية انعكاسية المواد الصلبة وكفاءة دورة الطاقة مستمرة هو تحدي لتخزين الهيدريدات الكيميائية التي عندها يمكن إعادة توليد الهيدروجين، والطاقة اللازمة للانضغاط وتسيل. يجب أن تعتبر عند تقنية ضغط أو تسيل الهيدروجين

٢- المتانة: وهي من التحديات في تخزين واستخدام الهيدروجين والمواد والمكونات التي تنتج لتخزين الهيدروجين يجب أن توفر ١٥٠٠ دورة حياة.

٣- زمن إعادة التزود بالوقود:إن زمن إعادة الشحن بالوقود يعتبر طويلاً في الوقت الحاضر ويجب تطوير نظام تخزين الهيدروجين مع زمن إعادة شحن بالوقود أقل من ٣دقائق على مسار النظام.

٤- التكلفة: تكلفة تهيئة أنظمة تخزين الهيدروجين مرتفعة للغاية بالمقارنة مع أنظمة التخزين العادية لأنواع الوقود النفطي.وتحتاج أنظمة التخزين إلى مواد ومعدات ذات تكلفة منخفضة وطرق تصنيع للأحجام الكبيرة أيضا بتكلفة منخفضة.

٥- التشريعات والمعايير :يجب إيجاد تشريعات ومعايير لتخزين الهيدروجين والتي تسهل عمليات تشغيل وتجارية وتؤكد السلامة وقبول المجتمع لإنجاز المعرفة ومعايير وتركيبات واعتبارات التشغيل لذلك كله يجب توحيد المعايير والمقاييس.

٦- تحليل دورة الحياة والكفاءة :تحليل كامل لدورة الحياة وكفاءة تخزين دورة تخزين الهيدروجين يجب أن تنجز.وفي قطاع الطاقة ينظر باهتمام إلى القدرة على تخزين وسرعة وعدم ارتفاع السعر هي من أهم الاهتمامات وكما هو معلوم فإن الهيدروجين هو عنصر بمحتوى طاقة عالية جدا مقارنة بوزنه ولهذا السبب فمن الطبيعي انه الاختيار الأول في الرحلات الفضائية لهذا السبب استخدم في الرحلات الهوائية ومن ناحية أخرى فمحتوى الطاقة مقارنة بالحجم هو منخفض هذه الحالة هي من أكبر التحديات في اعتبارات التخزين مقارنة بتخزين الجازولين.قسم الطاقة الأمريكية (D O E) حددت أن كثافة الطاقة هي ٦.٥ نسبة لوزن الهيدروجين ويحسب ٦٢كلج من الهيدروجين لكل متر مكعب يجب أن ينجز لكي يعطي نظام تخزين الهيدروجين وزن وحجم يلبي حاجت سيارة خلايا الوقود لقطع مسافة٥٦٠ كيلومتر والاقتراحات الثلاث المقدمة وهي تخزين على هيئة غاز مضغوط في خزان تخزين أو يبرد الهيدروجين إلى سائل ثم يحفظ في خزان معزول جيداً أو التخزين في المركبات الصلبة[20].

٨.٤ الاستراتيجيات المتعددة لتخزين الهيدروجين

١-الهيدروجين المضغوط تبت نجاحا لسنوات عديدة وتوجد ثلاث أنواع رئيسية من الخزانات:-

أ- الصلب .

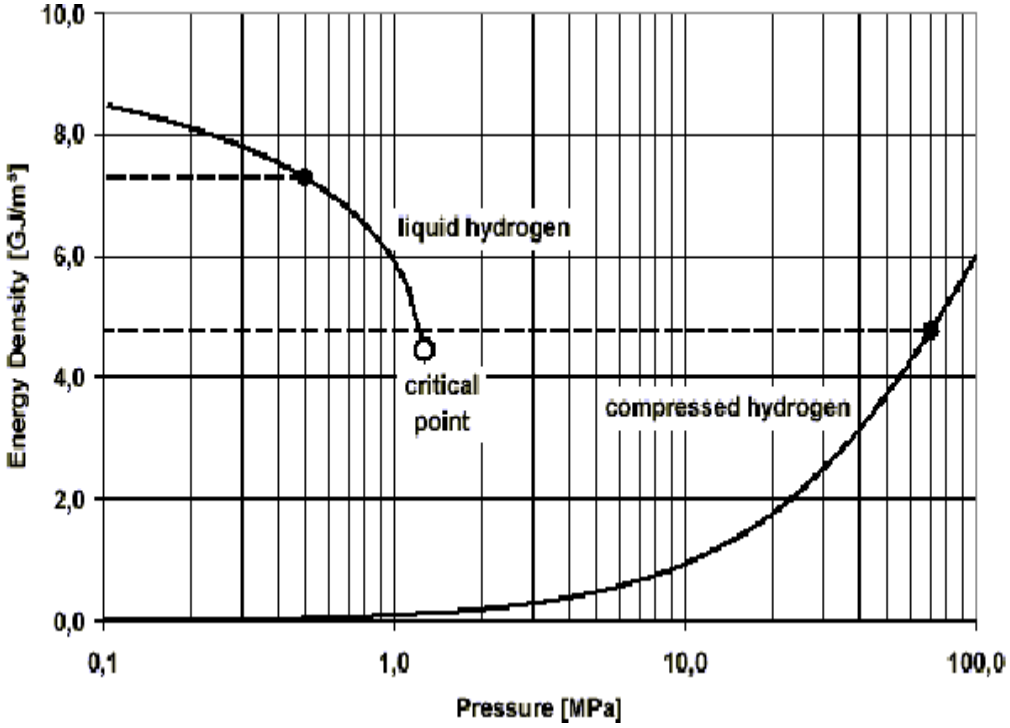
ب- قلب من الألومنيوم يحاط بنسيج الزجاجي

ج- قلب بلاستيك يحاط بنسيج زجاجي .

شكل (٤-٤) خزانات الهيدروجين

شكل (٤-٥) نوعان مختلفان من خزانات تخزين الهيدروجين المضغوط

في الأنظمة الثابتة عندما لا يشكل الوزن والحجم عوامل حاسمة، الخزانات الصلبة تعتبر حلاً جيداً ولكن في السيارات استخدام خزانات الوقودً يتعرض لمشاكل الحجم والوزن ولكن في السنوات

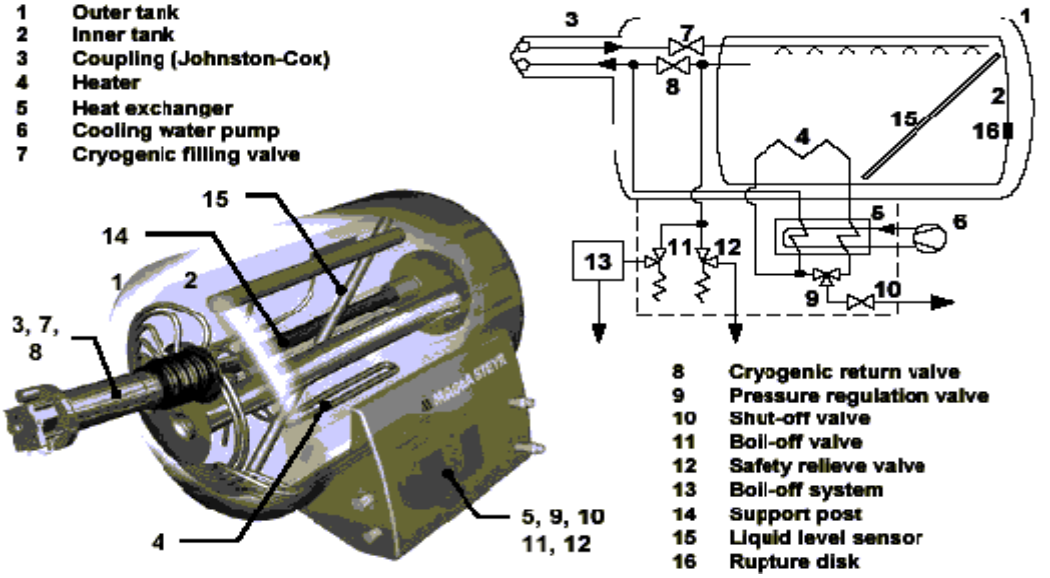


شكل

(٤-٦) مقارنة بين كثافة الطاقة لكل من للهيدروجين المسال و الحالة الغازية

لأخيرة ثم اكتشاف نوع من التركيب لخزان يمكن أن يخزن الهيدروجين عند ضغط ٣٥٠ بار وهو يلبي متطلبات الأمان حسب المواصفات الحديثة هذا النوع من الخزانات يخزن حتى سعة ١٠-١٢ وزن بنسبة للهيدروجين وفق (D O E 2000) وبذلك لم تعد مشكلة الوزن عائق والتطور شمل أيضاً تصنيع خزان يمكن أن يخزن حتى ضغط ٧٠٠ بار وهذا يخفض حجم الخزان وهذا ضروري لإنجاز قطع المسافة المطلوبة،تركيبة الخزانات خفيفة الوزن التي تستخدم في الفضاء أفضل من خزانات العادية الأسطوانية في الاستخدام ضواغط الهيدروجين الخاصة تستخدم لضغط الهيدروجين إذ لو استخدم ضغط المحلل (Electr0lyzer) للتزود بهيدروجين مضغوط إذن عملية الضغط سوف تنخفض أو تتلاشى معتمدا على ضغط الغاز المطلوب وهو نظام ذو كفاءة وبساطة وأقل الحلول تكلفة[20].

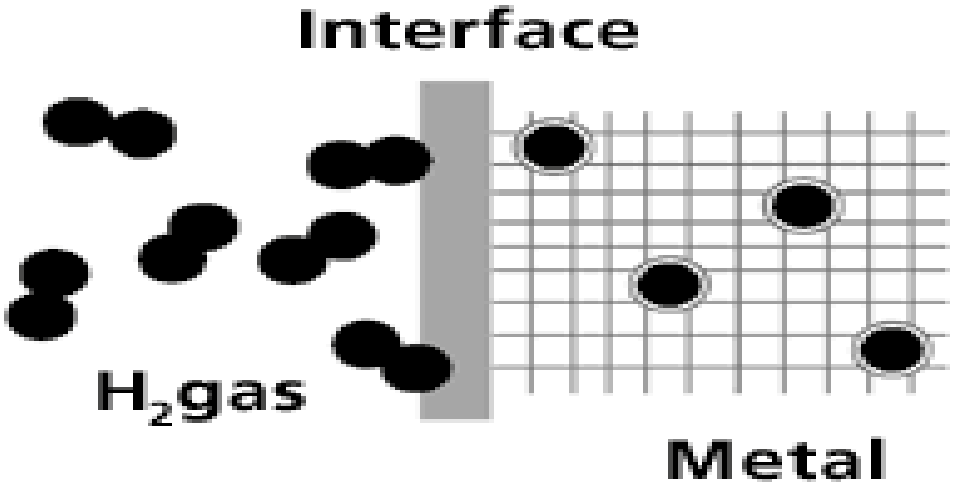
٢-الهيدروجين المسال LH_2 الهيدروجين يمكن أن يسال ويخزن على هيئة سائل عند درجة حرارة –٢٥٣ م° في خزانات محكمة وشديدة العزل .الهيدروجين المسال عمليا مهم للنقل لمسافات بعيدة وهو وقود في الرحلات الفضائية وفي البالونات الهوائية .ومن خلال الخبرة الطويلة عبر السنين والاستخدام الطويل والنقل لغاز الهيدروجين المسال وعند تبريد غاز الهيدروجين لتسيله نجد أن ٣٠-٤٠ %من ذلك الوقود يستهلك كناتج للتبريد .وقد أثمرت الجهود خفض عمليات التبريد إلى النصف والهيدروجين المسال هو أوسع استخداما في الرحلات الفضائية.وقد درست شركة BMW إمكانية استخدام الهيدروجين المسال في محركات الاحتراق في السيارات لمدة ٢٠ سنة وأكدت أن استخدام الهيدروجين المسال في السيارات يعتبر تطوراً هاماً .وقد قامت شركة Linde الألمانية باختراع خزان للهيدروجين[12] .



شكل (٤-٧) خزان للهيدروجين المسال

المسال يستخدم فيه جزء من الهيدروجين المسال لتبريد المحيط العازل للخزان وينفذ بواسطة عناصر التبريد .وهذه الطريقة تحفظ الهيدروجين في حالة السيولة لمدة ١٢ يوماً وهذا الخزان تجرى عليه اختبارات لاستخدامه في سيارات الهيدروجين من نوع BMW[12].

٣-التخزين بواسطة هيدريدات المعادن:التخزين بواسطة هيدريدات المعادن تكون بواسطة الرابطة الكيميائية للهيدروجين مع المعدن أو سبائك مثل (هيدريدات الميثيل) لان بعضها يمكنه امتصاص الهيدروجين عند أو أقل من الضغط الجوي وبعد ذلك ينبعث الهيدروجين عند ضغط عالي عند تعريضه لحرارة مرتفعة ويوجد مجال متسع لمدى تشغيل الهيدريدات من حيث درجة الحرارة والضغط معتمدا على السبيكة المختارة. وكل سبيكة تختلف خواصها السلوكية كدورة الحياة والتفاعل الحراري.إذن بعض المعادن وسبائك المعادن لديها القابلية لامتصاص الهيدروجين تحت درجات حرارة وضغط معتدلة لتكوين الهيدريدات والهيدريدات هي مركبات تتكون من الهيدروجين مع واحد أو اكثر من العناصر جزيئات الهيدروجين تنفصل إلى ذراته التي تمتص بالمعدن



شكل (٤-٨) غاز الهيدروجين يتحرك إلى الأمام خلال التداخل

جزيئات الهيدروجين تنفصل إلى ذراته التي تمتص بالمعدن والهيدروجين

يخزن في مصفوفة معدنية.

تفاعل الهيدروجين مع المعدن يكتب كتفاعل كيميائي:

$$M + X/2H_2 \rightleftharpoons M H_X + Heat$$

ومن هذه المعادلة نجد أن السهم في الاتجاهين يدل على أن التفاعل انعكاسي والنواتج تكون في حالة اتزان بمعنى أخر عند تغير في حالة التفاعل يمكن أن يكون مندفعا أو اتجاه انعكاسي أما عن الحرارة تدل على الحرارة أو الطاقة سحبت عند تكوين هيدريدات المعدن وعليه تضاف الحرارة لفصل الهيدروجين والحرارة في حالة أنتا لبي (حرارة التشكيل) بنسبة التفاعل وهو يدل على شدة ترابط بين الهيدروجين والمعدن.وخزان هيدريدات المعدن يحتوي إضافة إلى المعالج الحراري على حبيبات المعدن التي تمتص الهيدروجين كا لإسفنج الذي يمتص الماء.وعند التخزين تسحب الحرارة بعيدا بواسطة النظام الحراري من الخزان وعندما يستخرج الهيدروجين من الخزان تستخدم الحرارة لا استخلاصه وهذه الحرارة يمكن الحصول عليها مثلاً من الحرارة الزائدة من خلايا الوقود أثناء التشغيل.وخزان هيدريدات المعادن يمكن اعتباره نظام أمن في حالة حوادث الاصطدام لان فقد الضغط نتيجة للثقوب بالخزان سوف يبرد الهيدريدات المعادن مما يسبب توقف خروج الهيدروجين. ويوجد عدد من هيدريدات المعادن متوافرة بالأسواق وهي تمثل افضل المحاليل لتخزين الهيدروجين عندما لا يكون عامل الوزن مشكلة.ومشكلة استخدام الهيدريدات لتخزين الهيدروجين في السيارات هي أن هيدريدات المعادن ذات وزن مرتفع إذا قورنت بكمية الهيدروجين المخزنة ومشكلة الوزن مازالت قائمة رغم الكثير من البحوث الشاملة في هذا المجال .وعليه فإن الباحتين يفكرون في اتجاهات أخرى محاولين تخفيف الوزن عن طريق السبائك وإيجاد طرق لإدخال الهيدروجين في تركيز أعلى .وفي معهد تقنيات الطاقة في جلر في النرويج تعمل على الحصول على تخزين الهيدروجين في سبائك مع كثافة تركيز عالية .بدء هذا العمل بإيجاد سبائك معادن رخيصة الثمن ولها القابلية لامتصاص أكبر كمية من الهيدروجين ويمكنها فقد الهيدروجين مرة أخرى عند درجة حرارة منخفضة .وكالة الطاقة العالمية (International Energy Agency's)(IEA)في برنامج هيدريدات المعدن،

وضعت هدفا وهو يمتص نسبة ٥ %من الوزن الهيدروجين الممتص ويستخرج منه الهيدروجين عند درجة حرارة اقل من ١٠٠م° .وفي البحوث الحديثة، مادة $NaALH_4$ هي مادة واعدة في هيدريدات المعدن بسبب رخص سعره مع ٤ نسبة وزن هيدروجين و١٥٠ م° لخروج الهيدروجين .و($NaALH_4$) يلبي مواصفات(IEA) والتركيز الآن في الولايات المتحدة على نظام هيدريدات المعادن لتخزين الهيدروجين.ومن المهم استخدام فائض الحرارة الناتج من عمليات خلايا الوقود في تخليص الهيدروجين من هيدريدات المعدن[20].

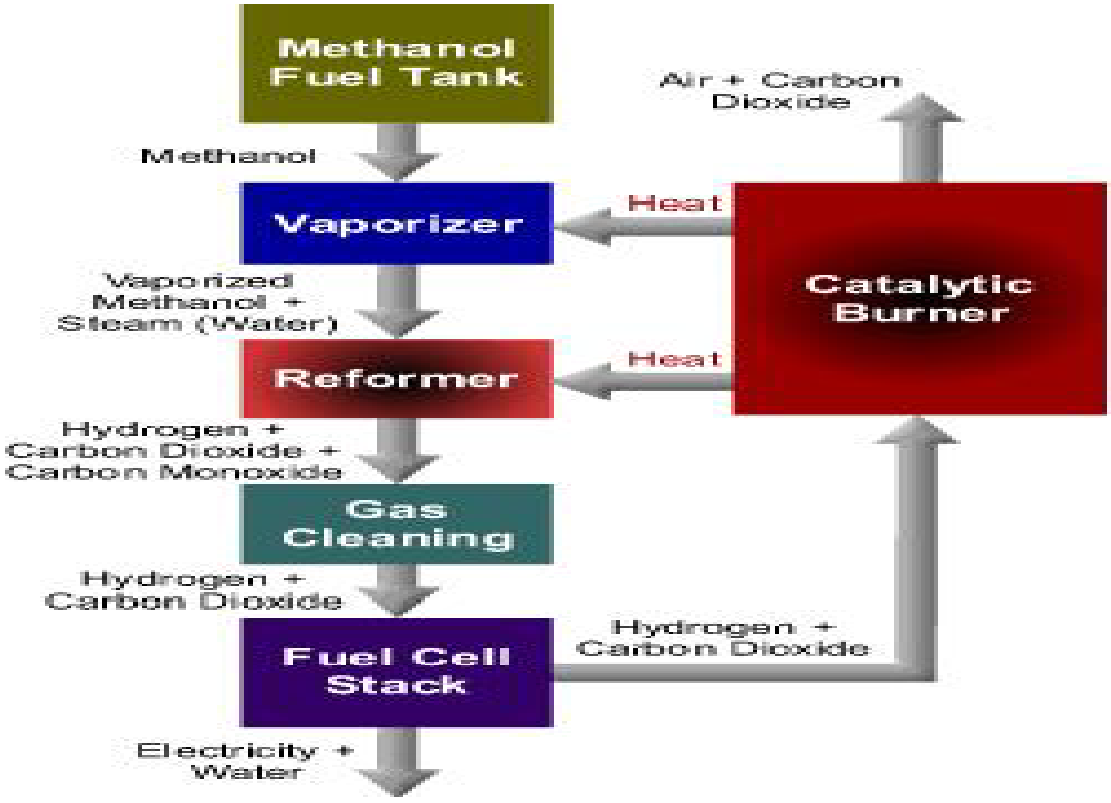
٤-١٠/الهيدروجين في الكربونات:

هناك عدد محدود من الكربونات لها مساحة سطح كبيرة جداً والبحث بدأ في السنوات الأخيرة لمحاولة تخزين الهيدروجين في تلك الكربونات .واعتماداً على مجموعة من البحوث فإن تركيبة الكربون الدقيقة جداً وتركيبة الكربون الخيطية الدقيقة والمسامية الدقيقة وبعض التركيبات الكربونية المتشابهة تقدم قابلية واحدة في امتصاصه للهيدروجين وثم التركيز في هذه البحوث على إنتاج طبقة مفردة من الكربون دقيقة المسامية لإنتاجها اقتصاديا بكميات كبيرة مستخدمين تقنية الليزر للعمل إنتاج أعلى نسبة من كربونات دقيقة المسامية بقطر تابت ونسبة عالية من النقاوة .وقد زاد إنتاج الكربون دقيقة المسامية بسرعة . هذا النوع من الكربون يوجد له عدة أنواع والتي من خلال تأثيرها الجيد يمكن أن تستخدم في تقنية الهيدروجين فمثلاً يمكن استخدامه في خلايا الوقود وفي بعض أنواع تكثيفات في أغراض الطاقة وفي تخزين الهيدروجين. وقد وصلت مجموعات البحوث الأمريكية إلى إنجاز تخزين ٧.٥ نسبة لوزن الهيدروجين في نظام اللوح المفرد من كربون دقيقة المسامية عند درجة حرارة الغرفة .وفي هذه التجارب استخدام أيضا موجات فوق صوتية بتعريضها للكربون دقيقة المسامية لجعلها اكثر سعة وقابلية للتخزين وهناك جدل واسع وتعارض في الآراء عند الباحثين حول سعة التخزين للكربونات فمثلاً قام فريق بحث بتطبيق نفس المعطيات على التجارب السابقة ولكن كانت نتيجة البحث أن نسبة التخزين كانت ضعيفة

٥-التخزين بواسطة الميثانول:ميثانول (CH_3OH) يحتوي على كمية كبيرة من الهيدروجين في تركيبه ويمكن بسهولة نسبيا استخلاصه بواسطة التصفية (Reforming) ويعتقد الكثير أن الميثانول هو حل الانتقالي الجيد للسيارات الصغيرة ميزة الميثانول أنه يبقى في حالة السيولة عند ضغط ودرجات حرارة عادية وذو محتوى عالي من الهيدروجين مقارنة بأنواع الوقود الاحفوري الأخرى.والميثانول ينتج من الغاز الطبيعي بواسطة الفصل لبخار التصفية (steam reforming) إلى غاز اصطناعي التركيب بواسطة التوحيد الكيماوي وفي سيارات الميثانول تستخدم مصفاة الميثانول كما في الشكل رقم (٤-١٤) حيث يصفى الميثانول إلى هيدروجين والذي يستخدم بدوره في خلايا الوقود لتوليد الكهرباء ولكن نتيجة لهذه العمليات فإن الفاقد في الطاقة كبير وعليه فإن كفاءة النظام تكون منخفضة[12].

شكل (٤-٩) مصفاة للميثانول

الميثانول (روح الخشب) سائل سام جداً يتشابه في دلك كثيراً مع الايثانول وهو من مسببات الأمراض السرطانية ومسبب للتآكل وملوث للمياه السطحية والكثير من الشركات النفطية تتعامل معه بحذر وتؤكد عدم استخدامه في البني التحتية لها وتأخذ في حسبانها احتياطات أمنية كبيرة.وكثير من منظمات البيئة تنشط لمحاربة استخدام الميثانول في البني التحتية فتأثيراته المدمرة سوف تستمر طويلاً فإذا استخدم في السيارات مثلاً فإن تسربه إلى الأرض ينتقل مباشرة إلى ا بشكل اعتيادي بواسطة الاستخدام المباشر لخلايا وقود الميثانول Direct Methanol Fuel Cells)لأرض ويسبب تلوثا بيئيا كبير.والعامل السلبي الذي يواجه استخدام الميثانول في سيارات خلايا الوقود هو استخدام مصفاة مرتفعة السعر لاستخلاص الهيدروجين من الميثانول ويستغرق استخدام الميثانول في السيارات [12]



شكل (٤-١٠) دورة استخلاص الهيدروجين من الميثانول واستخدامه في خلايا الوقود

(DMFC) عشرات السنين نظراً للتكلفة العالية لهذا الاستخدام .وهناك وجهة نظر في استخدام الميثانول انه سهل النقل والمناولة ولكن دلك ليس مطلقا لان الميثانول شديد التآكل وانفصاله يسبب تدميرا شديدا للبيئة إذا اختلط بالماء فيستحيل إعادة فصله، وسيارات خلايا وقود الميثانول ذات مستوى عالي من انبعاث ثاني أكسيد الكربون CO_2 إذ تصل إلى ٦٠%-٧٠% بالمقارنة مع محرك احتراق الداخلي بنزين وينبعث أيضا أول أكسيد الكربون وهيدروكربونات وانتشار استخدام الميثانول يطرح تساؤلات عن تسمم الإنسان والحيوانات . ونظراً لتدني كفاءة النظام والانبعاثات العالية مقارنة بالهيدروجين والكهرباء لا يمكن اعتبار الميثانول ذو مستقبل في مجال خلايا الوقود بالنسبة للسيارات

٦- التخزين بواسطة البنزين والهيدروكروبونات الأخرى:تحويل البنزين (عمل مزيج مع النفاثة) لتكوين مخلوط غني بغاز الهيدروجين في السيارات وهو موضوع العديد من البحوث والاختراعات شركات النفط تستثمر مبالغ طائلة في البنية التحتية لتلبية منافعها في هذا الخيار باستخدام الهيدروجين ولكن قلة كفاءة نظام الوقود عن استخدام الهيدروجين النقي وأيضا تحويل البنزين إلي هيدروجين يحتاج إلي مصفاة معقدة جدا يجعل منه مرتفع التكلفة وثقيل الوزن وغير مناسب وأيضا لا يمكن القضاء على تأثير الهيدروكربونات و أول وثاني أكسيد الكربون التي تسبب تلف الألواح في خلايا الوقود وهذه المصفاة تشغيلها يتم عند درجات حرارة عالية وهذا يسبب انبعاث الأكسيد الضارة كما في الميثانول وهذا النظام لا يؤدي إلي زيادة تكلفة السيارة فقط بل إلى تعقد التركيب لنظام السيارة.وفي السيارات المتوفرة التي تستخدم الهيدروكربونات لا تختلف نسبة انبعاث ثاني أكسيد الكربون فيها عن السيارات العادية التي تسير بواسطة الاحتراق الداخلي للبنزين [20]

١١.٤ التخزين الثابت

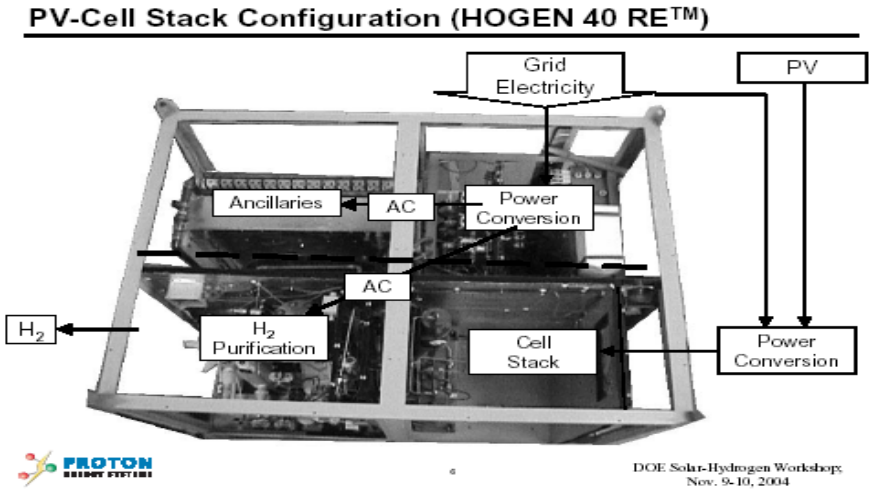
الهيدروجين يمكن أن يخزن في خزانات شديدة الغزل . وهذه هي طرق التخزين الرئيسية لتخزين كمية كبيرة من الهيدروجين أفضل طريقة اقتصاديا هي التخزين تحت الأرض تحت ضغط مرتفع وتكلفة التخزين تحت الأرض تختلف باختلاف معلومات جيولوجية الأرض والخيار الأرخص فعلى سبيل المثال قرية" كيل" الألمانية يفترض أنها مدينة التخزين الهيدروجين بمحتوى هيدروجين ٦٠%-٦٥% في تجويف التخزين بحجم ٣٢٠٠٠ م^3 تحت ضغط ٨٠-١٠٠ بار منذ ١٩٧١ م وأماكن التخزين الممكنة تحت الأرض هي التجاويف والأحواض الفارغة والتجاويف مناطق الصخور الملحية ونقل الهيدروجين المسال أساسا مشابه لنقل الغاز الطبيعي المسال وصناعة النقل البحري النرويجي لها سبق في مجال النقل في هذه الحالات وتكلفة الهيدروجين المسال في حدود ٢دولارلكل كيلوجرام ومع زيادة التنقية في ألمانية واليابان والولايات وعامل التنقية قد يصل ٩٩.٩٩٩٩٩% وعند تكلفة ٥٠-٧٠ دولار لكل كيلوجرام وهذه النقاوة العالية للهيدروجين تستخدم في إلكترونات والكمبيوتر والفائض من دلك يستخدم في الخلايا الشمسية والزيادة المطردة في تصنيع الخلايا الشمسية (٤٠% سنة ١٩٩٧م) امتص هذه الزيادة وتقلص السعر إلى ما يقرب من ٢٠ دولاراً لكل كيلوجرام هيدروجين، ومن المعلوم أن ٧٠% من سطح الأرض هو مغطى بالمياه وأن نسبة الهيدروجين مقاسه بنسبة للوزن ١١.٢% وهذا يدل على الكمية الوفيرة من الهيدروجين والمميزات التي تنتج عند استخدام الهيدروجين هي أنه عند إحراق الهيدروجين يمتزج بنفسه مع الأكسجين مكونا الماء، إذاً الهيدروجين قابل للتجدد كلياً، وينفصل الماء مرة أخرى إلى الهيدروجين والأكسجين في عملية تحتاج إلى طاقة حرارية أو كهربائية أو ضوئية أو كيميائية لتنجز هذا الغرض ولو استخدمت الطاقة المتجددة كمصدر للطاقة لإنتاج الهيدروجين فإنه تطبيق نظيف وحاملا جيدا للطاقة

المتجددة كما يمكن استخدام الكتلة الحيوية كمادة خام وفيما يلي نستعرض بعض العمليات التي يمكن إنجازها[21] .

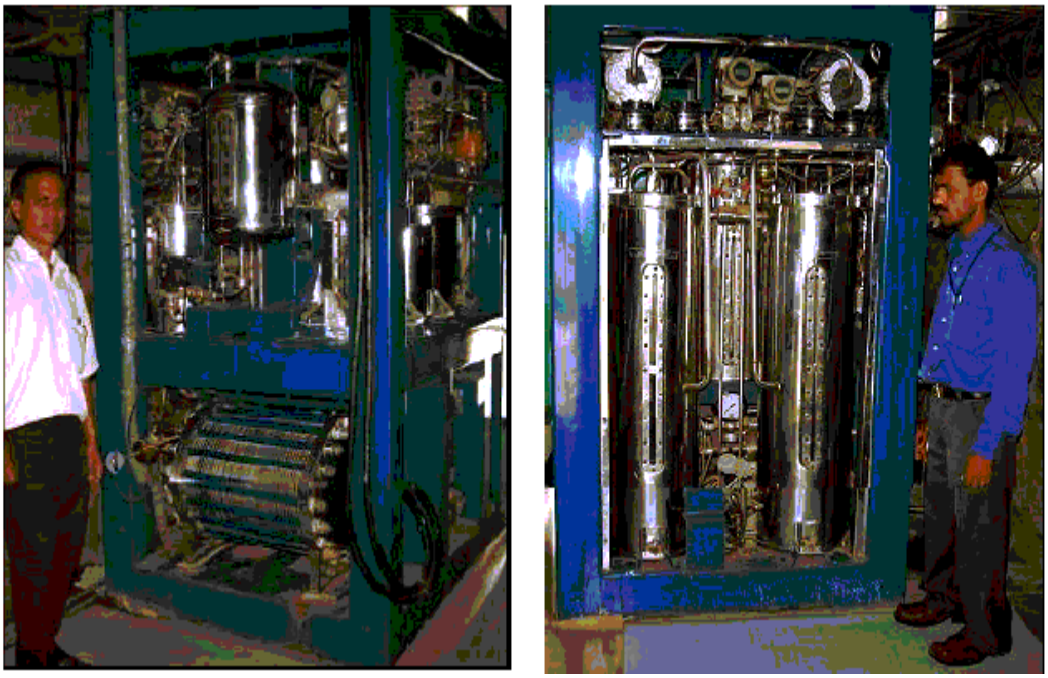
١- التحليل الكهربائي للمياه ويتم بواسطته استخدم الكهرباء لتحليل الماء ينتج عن دلك تصاعد غازي الهيدروجين والأكسجين .المحلل (ELECTRLYZER) وهو جهاز التحليل الكهربائي والماء يتعرض للتيار الكهربائي وينتج عن دلك الهيدروجين والأكسجين

$2H_2O + ENERGY \longrightarrow 2H_2 + O_2$ وهذا التفاعل هو تفاعل معاكس لما يحصل في خلايا الوقود كما سنرى في الفصول المقبلة وهي تصنف حسب نوع المحلول المستخدم وعدد الخلايا المستخدمة توصل مع بعضها لإيجاد السعة المناسبة كما في خلايا الوقود وفيما يلي بعض أنواع المحللات

١-محللات الكالين (Alkaline Electrolyzers) وهي تستخدم محلول سائل بمكون ٢٥% محلول هيدروكسيد البوتاسيوم .بدأ إنتاج الهيدروجين باستخدام محللات الكالين من أمد بعيد في النرويج بواسطة(NORSK) HYDRO للصناعة حيت تقوم بتحليل الماء للحصول على الهيدروجين لإنتاج الامونيا من ١٩٢٨ - ١٩٨٨م.وقد أدى استخدام وتطور محللات نورسك للهيدريدات((Norsk Hydro Electrolyzers (NHE)) إلى إنتاج محللات الكالين ومحللات (N H E) تصل كفاءتها ٨٠% عند (H H (High Heating Value) والكفاءة عامل مهم جداً لأن استخدام طاقة ($4.5\ KWh/Nm^3H_2$) يرفع التكلفة معمل التحليل وقد أنجزت (V) ٢/٣ من نفقة التشغيل ويجب أن تكون المحللات فعالة عند التشغيل حتى عند معدلات منخفضة أي يتم التشغيل عند مستوى إنتاج منخفض نتيجة لضعف كثافة التيار.والتشغيل الأمثل للمحلل يعتمد على كثافة التيار وتكلفة مواد الإنتاج والكمية المطلوبة من الهيدروجين وقد قامت شركتي (NHE and Gesellschaft Fur Hochleistungwasser Electrolyzers (G H W)) باختراع نظام تحليل محكم يمكنه إنتاج هيدروجين يكفئ في الطاقة ما يستهلكه محطة جازولين مكفئ تعمل هذه المحللات تحت ضغط وتنتج هيدروجين تحت ضغط في حدود (30 bar) وقد دخلت في هذا المجال العديد من المصانع من بينها (Stuart Energy) والتي قامت بصناعة محلل استخدام منزلي قابل للنقل وبداخله ضاغط موضوعة مع باقي المعدات في داخل صندوق رمادي



شكل (٤-١٢) مجموعة الأجهزة للحصول على الهيدروجين من الطاقة الشمسية



شكل (٤-١٣) صور لمجموعة من المحللات المتراصة

٢- محللات ذات الغشاء البوليمر(Polymer electrolyte membrane (**PEM)** ELECTROLYSER)) وهو نوع أخر من المحللات يستخدم متبلمر والتقنيات الكثيرة التي تستخدم هذه الطريقة في خلايا الوقود انتقلت إلى الاستخدام في مجال المحللات نظرا للإنتاج الكبير لخلايا الوقود **(PEM)** ويوجد عدة أنواع منها .ومع هذا فهذه التقنية تعتبر جديدة إذا قورنت بمحللات الكالين وعامل الكفاءة يمكن أن يرتفع إلى ٩٤% نظرياً في الوقت الحاضر أما عن كفاءة محللات(PEM) فهي أقل من أفضل أنواع المحللات الكالين ومحللات PEM تعتبر ملائمة مع أنظمة الطاقة المتجددة عندما يكون التغير في معدل الكهرباء كبيرا وعموماً محللات PEM تعتبر أفضل خيار لمعامل الصغيرة خاصة التي يكون الناتج منها متغير بينما يكون استخدام محللات الكالين مميزة في الأنظمة الكبيرة التي تتصل بالشبكة الرئيسية .

٣-المحللات الكهروضوئية في المحلل الكهروضوئي بدلا من تحويل ضوء الشمس إلى كهرباء ثم استخدام المحلل (الكتروليز) لإنتاج الهيدروجين من الماء وفي هذه الطريقة يجمع كلا المرحلتين الخلايا الضوئية (Photovoltaic cells) تجمع مع محفز الذي يعمل كمحلل لفصل الماء إلى هيدروجين وأكسجين من سطح الخلية مباشرة وهذا لإنتاج الهيدروجين بشكل تجاري وميزة هذا النظام أنه يزيل المحلل ويزيد الكفاءة . والاختبارات في الهواء الخارجي بخلايا ذات قواعد السيليكون أعطت كفاءة مبدئية ٧.٨% في ضوء النهار الطبيعي والبحث في سياق زيادة عامل الكفاءة وزيادة متانة أجزاء الربط .

٤- الفصل الحراري للماء (Thermal decomposition of water) في معمل القدرة الشمسي الحراري مع مركز للأشعة لتسخين الماء أكثر من ٣٠٠٠ C^0 وهذا يكسر الماء إلى هيدروجين وأكسجين كما في المعمل الحراري في كاليفورنيا بقدرة ١٠MW وهذا الاعتبار طريقة مهمة ورخيصة لإنتاج هيدروجين مباشرة من طاقة الشمس والبحث قائم على استخدام محفز لينخفض التحلل.المشكلة المركزية هي فصل الغازات عند درجات حرارة عالية لمنع إعادة التوحد بين الغازات .أما كفاءة المنظومة فهي مترددة.

١٢.٤ طرق نقل الهيدروجين

١-**خطوط الأنابيب** يوجد في الولايات المتحدة الأمريكية خط أنابيب بطول ٧٢٠ كيلومتر يعمل كشبكة هيدروجين أما في أوربا فخط الأنابيب يبلغ طوله ١٥٠٠ كيلومتر وللنقل لمسافات بعيدة يعتبر النقل بهذه الطريقة فعّالاً ومن المعروف أن الفاقد في النقل بالشبكة الكهربائية يمكن أن يصل ٥.٧-٨% من الطاقة المنقولة وهو ضعف الفاقد في الطاقة عند النقل بواسطة طريقة الأنابيب لنفس المسافة. أنابيب نقل الهيدروجين التي تستخدم في الوقت الحاضر تتركب من أنابيب صلب منتظم وتعمل تحت ضغط يتراوح بين ١٠-٢٠ بار مع قطر ٢٥-٣٠ سم النظام القديم للأنابيب ظهر في إقليم (Ruhr) وهو بطول ٢١٠ KM يوزع الهيدروجين بين ١٨ منتج ومستهلك.وقد عملت هذه الشبكة لمدة خمسين عاما بدون أي حوادث وأطول خط أنابيب لنقل الهيدروجين بطول ٤٠٠ كيلومتر بين فرنسا وبلجيكا .وبتغير قليل أو بدون تغير مطلقا .أغلب خطوط الصلب لنقل الغاز الطبيعي يمكن استخدامها لنقل مخلوط من الغاز الطبيعي والهيدروجين ويمكن استخدام تعديلات محدودة على خطوط نقل الغاز الطبيعي لتنقل الهيدروجين النقي وهذا يعتمد على مستويات الكربون في معدن الأنابيب وفي الوقت الحاضر خطوط أنابيب نقل الغاز كالتي في بحر الشمال تحتوي على أقل مستوى من الكربون في تركيبية يجعله مناسبا لنقل الغاز ولو أن السرعة زادت بعامل ٢.٨ لتكثيف الهيدروجين تخفض كثافة الطاقة بنسبة للحجم مقارنة بالغاز الطبيعي لنفس كمية الطاقة المنقولة وفي الحقيقة فإن استخدام تقنية مكثفة للهيدروجين كخلايا الوقود يعطي نتائج افضل من عمليات النقل لنفس الكمية من الهيدروجين وفي شبكات توزيع الغاز الطبيعي الضغط يكون منخفضاً حوالي ٤ bar وأنابيب البلاستيك الرخيصة يمكن استخدامها من (Poly vinyl chloride (PVC) عديد فينول الكلور أيد وحديثاً((High Density Poly Ethylene (HDPE)) وهو مسامي جداً ولا يمكن استخدامه لنقل الهيدروجين إضافة إلى دور خطوط الأنابيب في النقل يمكن استخدامها لتخزين كمية كبيرة من الهيدروجين عن طريق التحكم في الضغط ومن الممكن استخدام أنابيب نقل ذات حجم كبير في حالات نقص أو زيادة طلب .وينقل الغاز الطبيعي من حوض النرويج إلى القارة في خطوط أنابيب يمكنها أن تقل أيضاً إضافة إلى دلك ١٥% من الهيدروجين والمخلوط من الهيدروجين والميتان يستخدم في مجال الغاز الطبيعي ويمكن أن ينتج عامل احتراق لاحتوائه على كمية طاقة عالية

٢- النقل بواسطة الهيدروجين المسال، للحصول على الهيدروجين مسال يجب تبريده أقل من ٢٥٣م وهذه العملية تحتاج إلى طاقة كبيرة وتستخدم هذه الطريقة للنقل لمسافة بعيدة وكوقود في بعض التطبيقات كما في الرحلات الفضائية والهوائية لتفضيله عن باقي أنواع الوقود

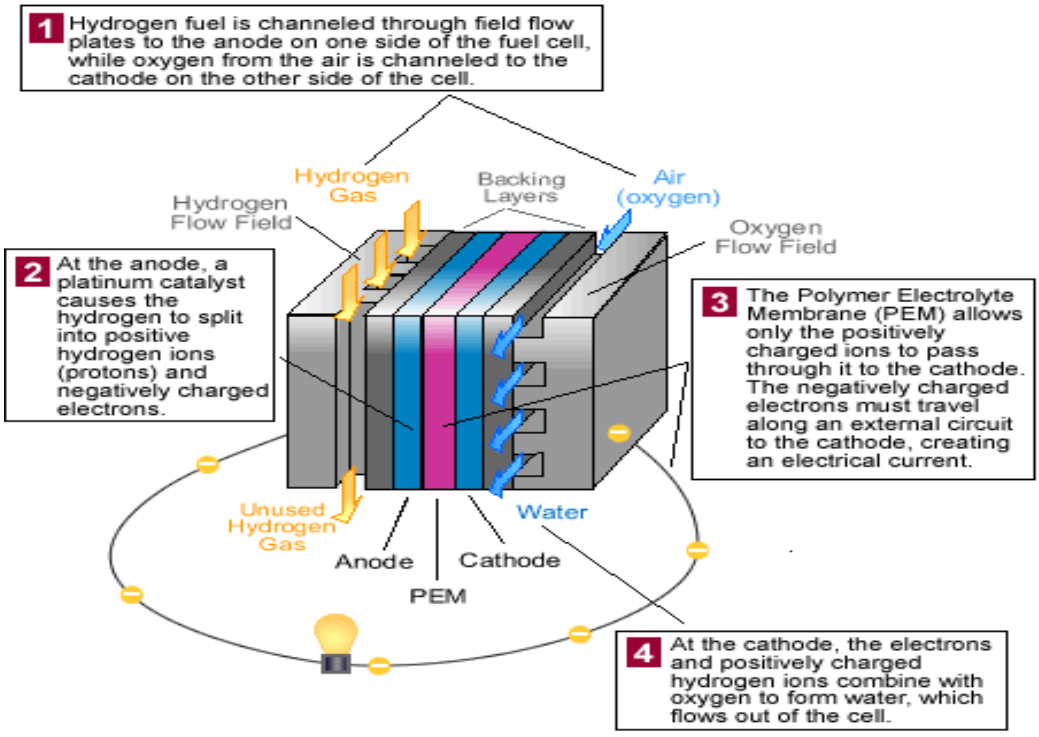
٣- النقل بواسطة الطرق الهيدروجين يمكن أن يشحن في خزانات شاحنات في كلا الحالتين أي كسائل أو كغاز مضغوط، بعض الشركات تستخدم هذه الطريقة في المناولة.

٤-النقل في المحيطات الهيدروجين يمكن أن ينقل في خزانات السفن ولا يوجد فرق كبير عن ناقلات الغاز الطبيعي المسال وبجانب دلك نحتاج إلى عزل جيد لجعل الهيدروجين مبرد على طول مسافات بعيدة ومبخر من نوع الهيدروجيني يمكن استخدامه في هذه الطريقة.وفي سنة ١٩٩٠م أكد المعهد الألماني لبحوث المواد أن احتياطات الأمان بنسبة لنقل الهيدروجين تؤخذ نفس احتياطات الغاز الطبيعي والنقل في الموانئ الألمانية اثبت دلك .

٥-النقل الجوى للهيدروجين يوجد عدة مميزات للنقل الجوي للهيدروجين المسال عن النقل بواسطة السفن فالهيدروجين المسال أخف وزناً وزمن تسليمه أقصر وعليه سوف تنقص مشكلة التبخر وقد أنجزت عدة دراسات في مراكز بحوث كندا ودول أخرى لهذا الغرض . الهيدروجين ينتج ويستخدم لأغراض صناعية منذ أكثر من مائة عام وإنتاج العالم ما يقرب من ٤٥ مليون طن، أكثر من ٩٠% منها ينتج من مواد خام إحفورية أكبر منتجي الهيدروجين هي مصانع السماد الصناعي والمعمل النفطية .وفي الخمس سنوات الماضية زادت نسبة بيع الهيدروجين بنسبة ٦% سنوياً وهذا ناتج من زيادة استخدامه في مصافي النفط وتلك الاحتياجات تستخدم للضبط

التام لنوعية لتركيبة أنواع الوقود المختلفة وهذه التطورات متوقع زيادتها والهيدروجين يستخدم في عدة عمليات أخرى صناعية ومعملية أما الهيدروجين المضغوط يمكن شراءه من عدة موزعين والهيدروجين يشتق من مجموعة مختلفة من الهيدروكربونات من خلال تقنيات مختلفة ولكن إذا أنتج من الفحم والنفط والغاز الطبيعي فإن إنتاجه يواجه نتيجة بيئية سلبية لو أخذت من ناحية المسئولية البيئية وإزالة الأجزاء الضارة بالبيئة من الوقود عند المصانع المركزية سوف يساعد في حماية البيئة ومن المعروف أن إزالة ثاني أكسيد الكربون من خلال المعامل المركزية اسهل من أزالتها مفرقة من ملايين السيارات ذلك بواسطة استخدام الهيدروجين الذي لا ينتج عن استعماله أي مخلفات ضارة وهذه الطريقة هي الأمثل لاستخدام الهيدروجين كعامل للطاقة.الكثير من مصادر الطاقة المتجددة ذات تغيير يومي أو فصلي في مصادرها ويجب أن تكون قابلة للتخزين لعمل موازنة مع هذا التغير ومع اعتبارات المسافات الكبيرة لنقل الطاقة لهذين السببين نظام الطاقة المتجددة يجب أن يشمل تكاليف نظام نقل لهذه الطاقة نظراً لان النقل يستهلك ثلث الطاقة المحتاجة إليها الدول الصناعية .ومن الواضح أن هيدروجين الطاقة المتجددة يعتبر وقود مهم جداً في المستقبل .والهيدروجين المنتج من الكتلة الحيوية ينافس بشدة الهيدروجين المنتج من الغاز الطبيعي في مناطق محددة.(PYNE 8/1999) وفي دراستين مستقلتين لكل من (Ford 1998&NHE 1997) أظهرت أن الهيدروجين المنتج في محطة الوقود بواسطة محلل المياه معتمداً على الكهرباء من القدرة المائية النروجية أرخص من الجازولين من ناحية التكاليف المدفوعة.وتوجد طرق كثيرة لإنتاج الهيدروجين وسنشرح بعض التقنيات المعروفة لإنتاج الهيدروجين من الهيدروكربونات وسنتطرق إلى بعض الطرق الجديدة ذات الأهمية وكذلك سندرس بعض الطرق المهمة لإنتاج الهيدروجين بواسطة الطاقة المتجددة والبعض من تلك الطرق أثبث استخداماً اقتصادياً ولأخرى تقنيات تحت التجربة كطريقة الحصول على الهيدروجين من الضوءبيولجية. سيكون من الواضح أن أغلبية العمليات الحصول على الهيدروجين بهذه الطرق أساسا على تسخين الهيدروكربونات وتبخير وفي بعض الأحيان إضافة الهواء أو الأكسجين وبعد دلك تتحد في المفاعل وتنفصل تحت هذه العملية جزيئات الماء والمواد الخام والنتيجة H_2 CO_2 CO وبمعنى أخر غاز الهيدروجين ينتج من كلا البخار ومركبات الهيدروكربونات والطريقة الأخرى للحصول على الهيدروجين هي تسخين الهيدروكربونات بمغزل عن الهواء حتى تنفصل إلى كربون وهيدروجين . **إن** تحويل الفحم إلى غاز من أقدم الطرق لإنتاج الهيدروجين في المصانع القديمة للغاز بضخ الغاز الأصلي عبر الأنابيب إلى المدن وهذا الغاز يتكون من ٦٠% هيدروجين ولكن كمية كبيرة من أول أكسيد الكربون وهذه الطريقة عادة ما يسخن الفحم إلى C^{*}٩٠٠ ليتحول صيغة الغاز ويخلط مع البخار بعد ذلك ليمرر خلال مادة محفزة عادة النيكل .يوجد أيضاً طرق أخرى أكثر تعقيداً لتحويل الفحم إلى غاز والعامل المشترك في هذه الطرق هو تحويل الفحم والمعالجة بواسطة البخار والأكسجين عند درجات حرارة عالية للحصول على H_2، CO، CO_2 إضافة إلى ذلك يفصل الكبريت من مواد الخام ويعالج الكبريت ومركبات النيتروجين وهي مع أول وثاني أكسيد الكربون ويجب أن تعالج بطريقة مسالمة للبيئة . وفي الوقت الحاضر يوجد مصانع ضخمة لتحويل الفحم إلى غاز في أوربا وجنوب أفريقيا والولايات المتحدة الأمريكية بتقنيات عالية لاستخدام الفحم واتخاذ الإجراء الآمن للبيئة.

١٣.٤ إستخدام الهيدروجين: الهيدروجين صناعيا يستخدم في العديد من العمليات الصناعية كالسماد الصناعي والصناعات النفطية هي أكبر استخدامات الهيدروجين في هذا العصر .تقنيات مختلفة لاستخدام الهيدروجين في الطاقة والنقل سنتطرق إليها فيما بعد ومن أهم التطبيقات هي خلايا الوقود (Fuel Cell) وسندرس استخدام



شكل (٤-١٤) تركيب ونظرية عمل خلية الوقود

١٤.٤ خلايا الوقود : عندما يحترق الهيدروجين يحدث تفاعل مع الأكسجين وينتج الماء والطاقة تتحول إلى حرارة .أما في خلايا الوقود فالعملية هي فصل أثنين تتم عند جانبي المحفز (سائل التحليل) التي تجعل الغازات تنفصل الإلكترونات ذات الشحنة السالبة تتحرك إلى خارج الدائرة الكهربائية وبواسطة هذه المعدات تتحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية مباشرة ونظريا ٨٣% من الطاقة يمكن تحويلها إلى كهرباء مع أن الكفاءة الحقيقية أقل ولكن مقارنة بالتقنيات التقليدية تعتبر خلايا الوقود فعالة.

١٥.٤ فائدة خلايا الوقود بالنسبة للبيئة

١- كفاءة وقود عالية وذلك عن طريق تحويل الوقود مباشرة إلى طاقة وذلك عن طريق التفاعل الكهروكيميـاوي، فإن خلايا الوقود تستخلص قدرة أعلى لنفس كمية الوقود بالمقارنة بالاحتراق التقليدي. وتقلل الطريقة المباشرة تلك من ٣٠-٩٠% من كمية الوقود المستخدم وهي تعتمد على نوع نظام خلايا الوقود المستخدم ومدى الاستفادة من الحرارة المنبعثة.

- إنبعاثات أقل عند استخدام الهيدروجين كوقود فإن ناتج التفاعل الإليكتروكميائي هو ماء وحرارة وكهرباء، بدلاً من أول وثاني أكسيد الكربون، أكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت وذرات الكربون ناتج عملية الاحتراق الداخلي. عند استخدام تعديل الوقود بالسيارة لاستخلاص الهيدروجين ينتج أول وثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت بنسبة قليلة جداً من خرج) عادم) محرك الاحتراق الداخلي.
- تقليل مخاطر تدمير البيئة عن طريق صناعة ونقل البترول تقلل خلايا الوقود تدمير البيئة المصاحب لاستخراج البترول وتصنيعه وذلك في حالة استخراج الهيدروجين من مصادر الطاقة المتجددة. وفي حالة تسرب

الهيدروجين سوف يتبخر في الحال حيث أن الهيدروجين أخف من الهواء ويترك خلفه ماء فقط. وذلك بالمقارنة بعمليات التنقيب ونقل وتكرير البترول والمخلفات الصناعية والأخطار الناجمة عن ذلك.

١٦.٤ صفات خلايا الوقود

إمرونة الوقود

خلايا الوقود عندها القدرة على العمل على الهيدروجين أو الهيدروجين المعدل من أي وقود بترولي مستخدم حالياً.

كثافة عالية للطاقة

مقدار الطاقة المتولدة من حجم معين معطاة بالكيلووات لكل لتر. وتزداد تلك القيمة مع زيادة الأبحاث وتطورها.

حرارة وضغط تشغيل منخفض

تعمل خلايا الوقود في درجة حرارة ما بين ٨٠-١٠٠٠ درجة مئوية اعتماداً على نوع الخلية. وهو مقدار منخفض بالنسبة لدرجة الحرارة لمحرك الاحتراق الداخلي التي تصل إلى ٢٣٠٠ درجة مئوية.

تعدد الاستخدام

خلايا الوقود بالنسبة لتشغيلها بدون الضوضاء و التلوث جعلها صالحة للاستخدام في مناطق عدة مثل المناطق السكنية والتجارية داخل وخارج المباني.

القدرة لإضافية

عند الاحتفاظ بالحرارة الناتجة من خلايا الوقود فيمكن استخدامها في تسخين وتبريد الماء، حيث تبلغ الكفاءة لخلايا الوقود إلى حوالي 90%.

سرعة الاستجابة لتغير الحمل

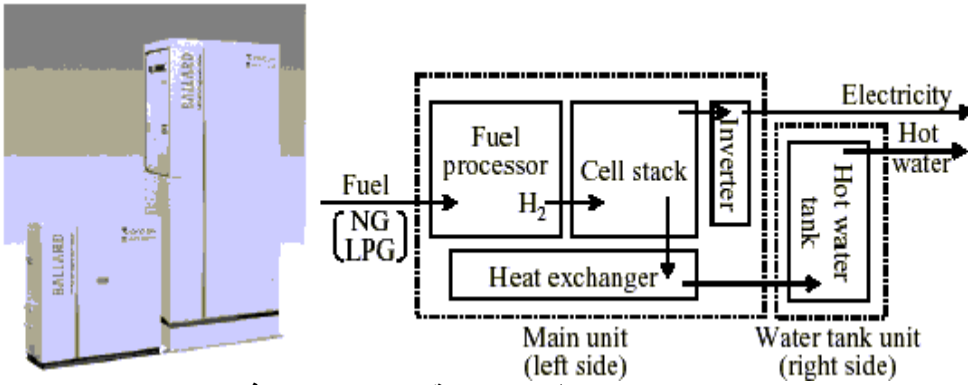
للحصول على طاقة إضافية من خلايا الوقود يضاف وقود إضافي للنظام. استجابة النظام لخلايا الوقود تمثل الضغط على البدال في السيارة التقليدية زيادة الوقود يؤدي إلى زيادة القدرة.

التصميم الهندسي

لا تضمن خلايا الوقود أي أجزاء متحركة. عدم وجود حركة يساعد على بساطة التصميم، واعتما دية عالية، تشغيل بدون ضوضاء، ونظام ليس معرض للتلف.

ضمان محلي للطاقة

يمكن إنتاج وقود الهيدروجين محلياً عن طريق استخدام الفحم، أو من الغازات الطبيعية، أو من الماء أو من مصادر الطاقة المتجددة. استخدام المصادر المحلية يقلل من الاعتماد على البلاد الأجنبية الممدة للوقود.

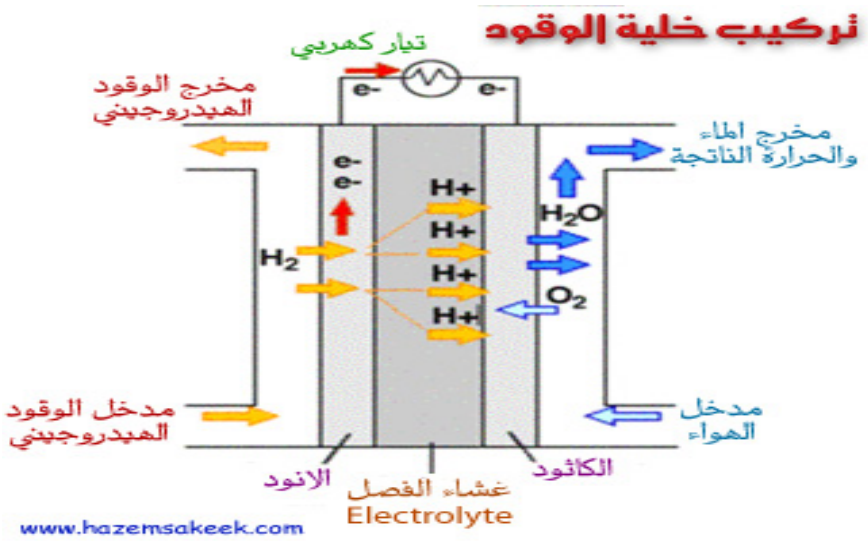


شكل (٤-١٥) تركيب نظام خلايا الوقود يستخدم حاليا في اليابان

ويرتفع عدد سيارات خلايا الوقود التي يتم اختبارها سنويا حتى يتم تقيمها وتطويرها. فإن عدد سيارات خلايا الوقود التي تسير في الطرق خلال سنة ٢٠٠٤ تقدر بحوالي ٦٠٠- ٨٠٠ سيارة. وتقوم شركة ديملر كريزلر وهولندا باختبار سيارات خلايا الوقود تحت التجارب في مناطق عدة وخاصة المناطق التي تتعرض لدرجات منخفضة أثناء الشتاء. يقول الخبراء أن سعر سيارة خلايا الوقود يجب أن تقلل تكليفها بمقدار العشر لكي يمكنها أن تنافس في سوق السيارات. وغالبية تكلفة السيارة تأتي من سعر الغشاء (٣٠-٣٥%) ومادة محلول التوصيل الكهربائي (٤٠%). وقد بدأت العديد من الشركات بتطوير معدن بديل للبلاتين(الذي يعتبر معدن نفيس مرتفع الثمن والمستخدم في تصنيع خلايا الوقود). وتقوم بعض الشركات باختبار مادة جديدة قد تكون البديل بدلاً من البلاتين وهذه المادة تسمى بمادة نانو نيكل والتي تكلف حوالي ربع تكلفة البلاتين. وحيث أن البلاتين يكلف ١٠٠٠٠ دولار للرطل (٢٥٠٠٠ريال للكيلوجرام). ويتوقع إنه خلال عشر سنوات يمكن لمادة النانو نيكل أن تسوق تجارياً (حيث إنها مازالت في طور التطوير الأبحاث).غشاء خلية الوقود ليس جاهز للمستخدم في الوقت الحالي حيث إنه غالي الثمن وهناك مشكلة في تشغيله عند درجات الحرارة المتطرفة. فحيث أن بعض الشركات قامت بتطوير الغشاء ليتمكن من العمل حتى ٩٥ درجة مئوية فإن بعض الخلايا تكون عندها مشكلة عند تشغيلها أعلى من ٨٠ درجة مئوية وعند درجات تحت التجمد.ويتوقع لسيارات خلايا الوقود أن تصبح جاهزة للأسواق تجارياً خلال الخمس إلى العشر سنوات القادمة.

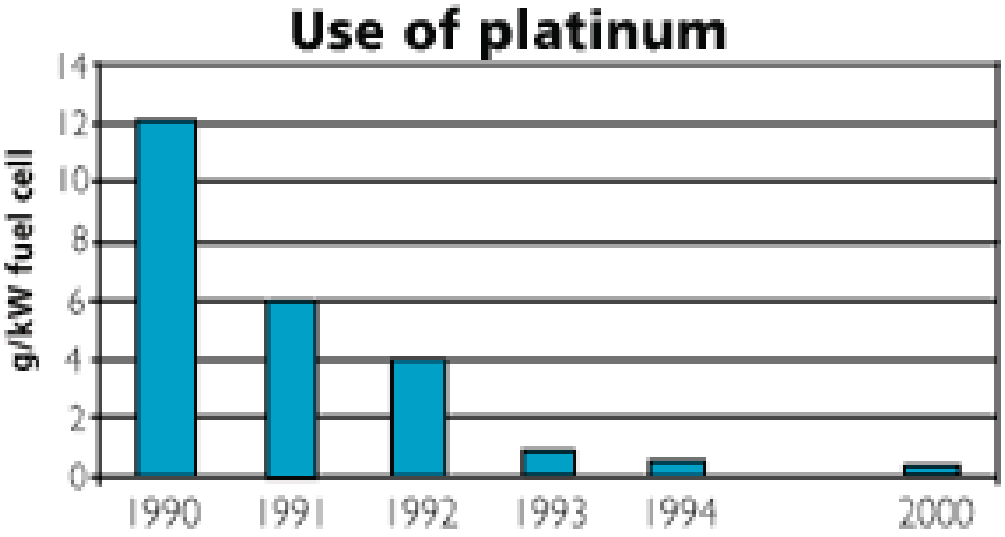
١٧.٤ مشاكل خلايا الوقود

حيث أن الهيدروجين صعب التخزين والتوزيع فإنه من الأفضل لو أن خلايا الوقود تستخدم وقود متواجد حالياً بالأسواق. ولكن يمكن التغلب على ذلك باستخدام جهاز يسمي معدل الوقود (reformer), ويقوم المعدل تحويل الهيدروكربون أو وقود الكحول إلى هيدروجين، والذي بعد ذلك يغذي خلايا الوقود. ولكن المعدل ليس مثالياً، فإنه يولد غازات ضارة بجانب توليد الهيدروجين. ويستخدم معه عدة أجهزة لتنقية الهيدروجين ولكن الهيدروجين المولد بهذه الطريقة يكون غير نقي مما يؤدي إلى تقليل كفاءة خلية الوقود.



شكل (٤-١٦) نظرية عمل خلية الوقود

١-خلايا الوقود ذات غشاء التبادل البروتون(Proton Exchange Membrane) (P E M) وهي تتركب من أربع عناصر رئيسية .الانود هو قطب الشحنة السالبة في خلايا الوقود ففي الانود الإلكترونات تنفصل من جزيئات الهيدروجين لتخرج عبر الدائرة الخارجية لتعطي الكهرباء أما الكاثود فهو قطب موجب الشحنة.في الكاثود تعود الإلكترونات من الدائرة الخارجية لتتفاعل مع أيونات الأكسجين والهيدروجين لتتحد وتكون الماء كما هو واضح في الشكل رقم ( ) أما (الالكتروليت) فهو(P E M) (Proton Exchange Membrane) أي غشاء مبادل البروتيني والذي يتكون من نوع البلاستيك المعالج على شكل (متبلور) قابل التوصيل يسمح للأيونات الشحنات الموجبة فقط بالمرور ويوقف الإلكترونات ويمنع سريانها أما المحفز (Catalyst) فهو تركيبة من المواد تجعل التفاعلات عند الأقطاب أكثر سرعة وفاعلية ولكنها لا تدخل في التفاعل والأكثر استخداماً وشيوعاً هي البلتينوم (Platinum) وهو عبارة عن مسحوق ويوزع حول جزيئات الكربون ودلك لاستخدام أقل كمية ممكنة من البلتنيوم ولتعطي أكبر سطح لينجز أكبر مساحة سطح ممكنة .إضافة إلى هذه المكونات الأربع



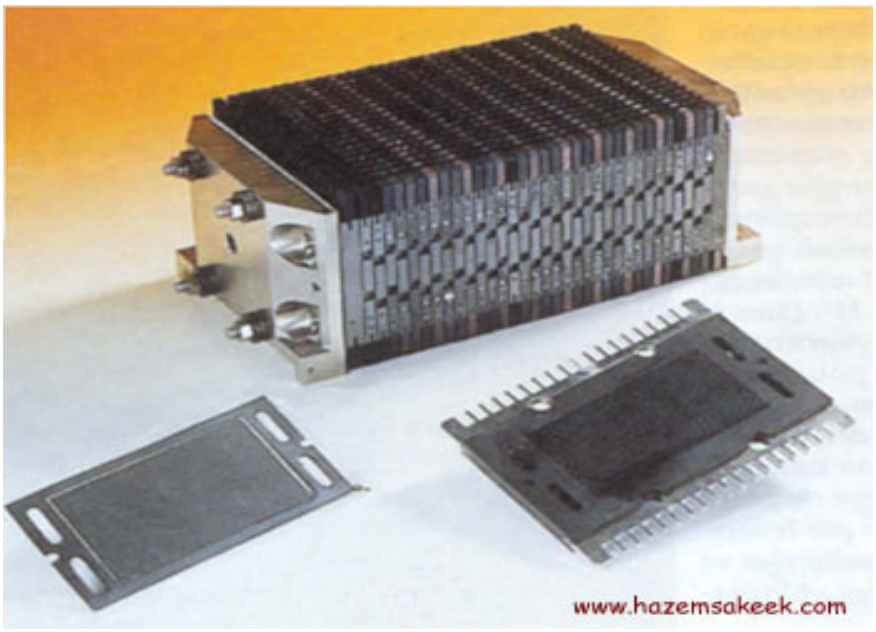
شكل (٤-١٧) استخدام البلوتنيوم في خلايا الوقود(تناقص في استخدام هذا المعدن الثمين لإنقاص التكلفة.

توصل لوح أسلاك لعمل وصلة بين الأقطاب وتعمل (P E M) بواسطة وضع جزيئات الهيدروجين في حالة التماس مباشر مع محفز البلوتنيوم عندها ينفصل الهيدروجين إلى ٢ أيونات موجبة (بروتونات) و٢ أيونات سالبة (إلكترونات) .الإلكترونات توصل بواسطة القطب إلى الدائرة الخارجية التي توصل بالجهاز المراد تشغيله ثم تعود إلى الكاثود حيث الأكسجين من الهواء ينفصل إلى ذرتيه عندما تكون في تلامس مع محفز (Catalyst) وتتحد ٢أيونات من ذرة الهيدروجين مع ذرة أكسجين و٢ إلكترون من الموصل لتنتج جزيئات الماء والتفاعل في خلية الوقود الواحدة ينتج فقط حوالي ٠.٧ فولت عليه فإن مجموعة من خلايا الوقود توصل مع بعضها في وصلة لتحقيق القدرة الخارجة المطلوبة وتوصل مجموعة من خلايا الوقود مع بعضها وتسمى (Stack)

٤-١٨/نظام خلايا الوقود Fuel Cell System

الأنظمة الصغيرة التي تولد اقل من ١٠٠ watts لا تحتاج إلى تبريد أو مضخة هواء ولكن في الأنظمة الأكبر من دلك تحتاج إلى معدات إضافية جيدة للتبريد وكلمة نظام تطلق عادة على هذا النوع من التطبيق فمثلاً فعند

تركيب محرك السيارة فإننا نحتاج إلى نظام تبريد ونظام تغذية بالوقود ونظام تهوية كذلك عند تركيب خلايا الوقود على السيارة المخصصة لها فإننا نحتاج إلى نظام تغذية بالوقود ونظام تبريد وأنظمة أخرى،



شكل (٤-٢٤)مجموعة من خلايا الوقود تركب في نموذج يسمى (STACK)

وبعض أنواع خلايا الوقود تستخدم أيضاً ضاغطاً حراري وكل دلك للحصول ومبادل القدرة المطلوبة .وتوجد عدة أنواع من خلايا الوقود بتطبيقات مختلفة واستخدامات متنوعة وتصنف خلايا الوقود بنفس تصنيف المحللات(Electrolyzer) وعادة تصنف على أساس المحفز المستخدم.

١-خلايا الوقود من نوع الكالين((Alkaline Fuel Cell (AFC)

خلايا الوقود الكالين استخدمت لتزويد رحلات أبو لو الفضائية بالكهرباء وتستخدمها ناسا في مركباتها الفضائية أما أهم من قام بتطوير خلايا الوقود الكالين (F.T .Bacon conversion, Pratt Whitney and Elenc)، Energy أما براءة الاختراع فقد سجلت باسم (Zetek) خلايا الوقود الكالين حساسة جداً لثاني أكسيد الكربون واستخدم الهواء بدلا من الأكسجين النقي في خلايا الوقود يجب أن ينقى من ثاني أكسيد الكربون والعيب الآخر لهذه الخلايا هو استخدامها لمحفز سائل وهو عامل شديد التآكل.تصميم خلية الوقود الكالين يشبه تصميم خلية PEM ولكن يستخدم محلول سائل أو نسيج من هيدروكسيد البوتاسيوم كمحفز وهي ارخص نوع من خلايا الوقود للصناعة والتفاعل عند الانود والكاتود كما يأتي:

$$2\ H_2+4\ OH^- \longrightarrow H_2O+4\ e^- \qquad (1)$$

$$O_2+2\ H_2O \longrightarrow 4\ e^-+4\ O\ H^- \qquad (2)$$

٢-خلايا الوقود حمض الكبريتيك ((Phosphoric acid fuel cells(PAFC)

خلايا الوقود من هذا النوع تحت التطوير منذ ١٩٦٠م وتستخدم بشكل موسع في جميع أنحاء العالم حيث يستخدم حمض الكبريتيك كمحفز وله القدرة على احتمال تأثير ثاني أكسيد الكربون .الكفاءة الكهربائية لهذا النوع (PAFC) منخفضة نوعا ما حوالي ٣٥-٤٥% إضافة إلى إنتاج كمية من الحرارة يمكن استخدامها للتدفئة وشركة (International Fuel Cells)(I F C) تقوم ببيع (P A F C) تجاريا وقد قامت ببيع أنظمة خلايا الوقود حمض الكبريتيك بقدرة تزيد عن ٢٠٠ KW ومجموعة هذه الأنظمة أنجز اكثر من ٤ مليون ساعة (I F C 2001) وقد استبدلت استخدام هذا النوع من الأنظمة بنظام (PEM) ١٥٠ كيلووات من خلايا الوقود سنة ٢٠٠٣م.وهي من اسمها تستخدم حمض الكبريتيك في حالة السيولة عادة في صفوف من كبرتيد السيليكون وهي من أوائل ابتكارات فكرة خلايا الوقود والتفاعلات تتم بالطريقة آلاتية:

$$H_2 \longrightarrow 2H^+ + 2e^- \qquad (3)$$

$$\tfrac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2O \qquad (4)$$

٣-خلايا الوقود ذات الأكسيد الصلب:Solid Oxide Fuel Cells (S O F C):

هذا النوع من الخلايا تعمل عند درجات حرارة عالية ٨٠٠-١٠٠٠ C وتستخدم محفز من الأكسجين عادة أكسيد زيركنيوم مثبتا بأكسيد يتيبريوم وهذا الأكسيد يوجه أيونات الأكسجين عند درجات حرارة عالية . أكبر كفاءة كهربائية لخلايا الوقود الأكسيد الصلب تعمل بواسطة الهيدروجين ينجز ٦٠% أي بمعنى أخر خلايا الوقود تحول ٦٠% من الطاقة الموجودة في الهيدروجين إلى قدرة كهربائية ولكن يبقى عدد من المشاكل تواجه خلايا الوقود ذات الأكسيد الصلب لإنجاز موصلية جيدة من الضروري التشغيل عند درجة حرارة عند حدود ١٠٠٠ C وتأثير هذه الحرارة على مواد التشغيل شديد ويسبب في مشاكل والبحوث تعمل على اكتشاف جديد وأكثر ثباتي للمواد عند هذه الدرجات وتقليل درجات حرارة التشغيل وفي مقدمة الشركات المطورة لخلايا الوقود ذات الأكسيد الصلب للإنتاج الثابت للقدرة (Siemens Westinghouse(SW) وفي سنة ١٩٩٧م ركبت خلايا في (Arnhem) في (Netherlands) وكانت تعمل بواسطة الغاز الطبيعي وقد عملت لمدة ١٦٦١٢ ساعة ومن خلال الاختبارات والفحوصات تبت أنها تعمل بكفاءة وبدون تأكل أو فساد في المعدات كلما فحصت ثم انتقلت هذه الطريقة إلى ألمانيا حيث عملت ٢٠٠٠٠ ساعة وهذا المنظومة تعطي ١١٠ كيلووات من الكهرباء والكفاءة الكلية ٤٦% وهي تعطي أيضاً ٦٤ كيلووات حرارة تمر عبر شبكة التدفئة .وتبيع هذه الشركات أنظمة توليد قدرة٢٥٠-٥٠٠٠ كيلوات. توجد شركات مركزية تعمل في مجال تطوير خلايا الوقود الأكسيد الصلب منها (Rolls Royce)

(Sulzer) وقد عملت مشاريع ضخمة في النرويج والدانمارك لهذا النوع من الخلايا ومن أكبر مزودي معدات السيارات (Delfi) و(BMW) بدأت تستبدل البطاريات بخلايا الوقود ذات الأكسيد الصلب في الموديلات الحديثة لسيارات BMW . في هذه الخلايا تولد الطاقة بواسطة هجرة أيونات الأكسجين من الكاثود إلى الانود لتقوم بأكسدة غاز الوقود الذي هو مخلوط من الهيدروجين وأول أكسيد الكربون والتفاعلات عند الانود والكاثود كما يأتي:

$$H_2 + O_2^- \longrightarrow H_2O + 2e^- \quad (3)$$

$$CO + O^-_2 \longrightarrow CO_2 + 2e^- \quad (4)$$

$$O_2 + 4e^- \longrightarrow 2O^-_2 \quad (5)$$

٤-**خلايا الوقود الكربونات المذابة : Molten Carbonate Fuel Cells (M CFC)** وهي تستخدم الكالين كربونات كأملاح كربونات ليتيوم البوتاسيوم أو ليتيوم الصوديوم المنصهرة كمحفز(Electrolyte) . تم تصميم هذا النوع من خلايا الوقود في ١٩٤٠م وانتشرت في عام ١٩٥٠م وقد تطورت ببطيء.وقد استخدمت عدة أنواع منها ولكن توجد مشاكل في المواد المستخدمة فيها وأكثر استخدام لها في الولايات المتحدة الأمريكية وظهرت في الأسواق مؤخرا والنظام يعمل عند درجة حرارة٦٠٠-٦٥٠ C وهذه الحرارة منخفضة نسبيا وهذا يقلل من الشد على المواد المستخدمة وكفاءة النظام في حدود ٥٠% وإضافة إلى ذلك المنظومة تضخ بخار برجة حرارة ٤٠٠ C أم فترة الصلاحية فتمتد إلى ٢٠٠٠٠ ساعة .(MTV 2001) .نظرية عمل هذه الخلايا أنه عندما ترتفع درجة الحرارة إلى ٦٥٠ C تذوب الأملاح وتولد أيونات الكربونات التي تمر من الكاتود إلى الانود وعندما تجتمع مع الهيدروجين يتولد الماء وثاني أكسيد الكربون والإلكترونات وهذا التفاعل يتم وفق المعادلات الآتية:

$$CO_3^{--} + H_2 \longrightarrow H_2O + CO_2 + 2e^- \quad (6)$$

$$CO_2 + 1/2\ O_2 + 2e^- \longrightarrow CO_3^{--} \quad (7)$$

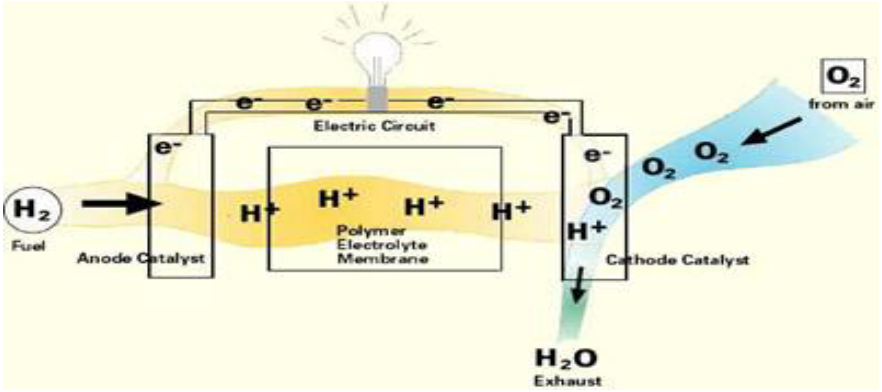
٥-**خلايا الوقود التي تستخدم الميثانول مباشرة (Direct Methanol Fuel Cells (DMFC)**ومن خلال اسمها تستخدم الميثانول بدون معالجة ابتدائية وهي منخفضة الكفاءة والمشكلة الكبرى في استخدام هذه الخلايا هي انبعاث CO_2 إضافة إلى سمية الميثانول.ونظرية عمل هذه الخلايا هي أن الميثانول يتحول إلى ثاني أكسيد الكربون وهيدروجين عند الانود والهيدروجين بعد دلك يتفاعل مع الأكسجين كما في PEM العادية .وعند الانود والكاثود تحدث التفاعلات الآتية:

$$CH_3OH + H_2O \longrightarrow CO_2 + 6H^+ + 6e^- \quad (8)$$

$$3/2O_2 + 6H^+ + 6e^- \longrightarrow 3H_2O \quad (9)$$

٦:-**خلايا الوقود الكربون المباشر**: وهي الأحدث في مجال تقنية خلايا الوقود وتعتمد عملية تسمى التحويل المباشر للكربون التي ترتبط فيها جزيئات الكربون في عملية كهر وكيميائية مع جزيئات الأكسجين لإنتاج ثاني أكسيد الكربون والكهرباء

٧- **خلايا الوقود ذات الغشاء المتبلور البروتوني Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cells**:وتسمى أيضاً خلايا الوقود ذات البلورات الصلبة **Solid Polymer Fuel Cells(SPFC)** :



شكل (٤-١٩) نظرية عمل خلايا الوقود من نوع (PEM)

. في General Electric) بشكل رئيسي من جنرال الكريك(PEM)هي الأخف والأمتن طورت خلايا الوقود بتطوير خلايا الوقود من هذا النوع منذ سنة (Ballard)الفترة من ١٩٥٩-١٩٨٢م .أما في كندا فقد قامت بأقل كمية (membranes) مشاريعها لخلايا الوقود فطورت أغشيةGE١٩٨٣م وقد استمرت بقوة بعد إغلاق في مقدمة خلايا الوقود (PEM) وأكثر معالجة للمياه الخارجة جعلت (Catalyst)ممكنة من البلتنيوم كمحفز يتركب من غشاء من البلورات الصلبة التي تسمح بمرور (PEM) في خلايا الوقود(electrolyte).المحلل تعمل عند درجة حرارة (PEM) التي تنتقل من جهة إلى أخرى .خلايا الوقود (Protons)أيونات موجبة الشحنة التي تجعلها مناسبة لتزويد المنازل بالكهرباء والمياه الساخنة وهي أكثر كفاءة في الاستخدام من البطاريات ٨٠C والحقيقة كون المحلل (PEM)في أغراض النقل في تزويد المركبات بالقدرة الكهربائية وعليه فأن خلايا الوقود صلبا يجعلها أكثر أماناً وكذلك تعتبر هذه الخلايا أكثر استجابة لتغيير الحمل وهذه الميزة تجعلها تحسن تسارع مناسبة للاستخدامات الكبيرة وأما من ناحية عيوبها استخدامها للبلوتنيوم كمحفز (PEM)المركبة . وخلايا الوقود ولكن كمية البلتنيوم المستخدمة في تناقص مستمر خاصة في السنوات الأخيرة نتيجة للبحوث التي (Catalyst) ولكن تكون حساسة جداً CO_2 يمكنها احتمال تأثير (PEM)أجريت لهذا الغرض كما في الشكل . وخلايا الوقود وينتج عن ذلك نقص الكفاءة وهذه المشكلة تعوق استخدام الهيدروكربونات المعالجة كوقود ولكن COلتأثير فهي (PEM)تختفي المشكلة عند استخدام الهيدروجين النقي.أما أهم الشركات العاملة في تطوير خلايا الوقود [General Motor, Daimler Chrysler, Ford, International Fuel Cells ،Panasonic, H power, Toyota, DeNora, NovArs]

والاحتمال الأكبر هو زيادة الكفاءة لهذه الخلايا والقدرة بنسبة للوزن output/weight والقدرة بنسبة للحجم output/volume باستخدام مواد جديدة وهذا النوع من الخلايا ذو منافسة كبيرة في جميع المناطق وإنتاج هذه الخلايا بكميات كبيرة يجعل منها منافسة في السعر.ولشرح طريقة عمل هذه الخلايا فهي تتركب أساساً من غشاء نفاذ (تقريباً ٥٠Mm)، وطبقات محفز الكترود تلامس كل جانب من الغشاء النفاذ(تقريبا 15Mm) والغاز يتوزع بين طبقات القطبين (تقريباً ٢٠٠Mm) حيث مسار توزيع الغازات المتفاعلة في كل الخلية مصنوعة عند تشكيل الخلية،مسافة لوح القطبين تنضغط خلال غطاء الكترودات لتشغيل نصف مساحة الكترودات .عند أحد الكترودات (الانود) المحفز يحول ذرتين من الهيدروجين إلى أيونات هيدروجين (بروتونات) وإلكترونات، إلكترونات لا تستطيع المرور خلال المحفز تمر بدلاً من ذلك إلى توصيل الدائرة الخارجية إلى الاكترود والأخر

(الكاتود) وعلى الجهة الأخرى البروتونات تنتقل حرة خلال المحفز إلى الكاتود،عند الكاتود الأكسجين على شكل هواء تتحد مع الإلكترونات والبروتونات الحرة لتكوين الماء النقي والتفاعلات تحدث كما يأتي :

$$2H_2 \longrightarrow 4H^+ + 4e^- \qquad (10)$$

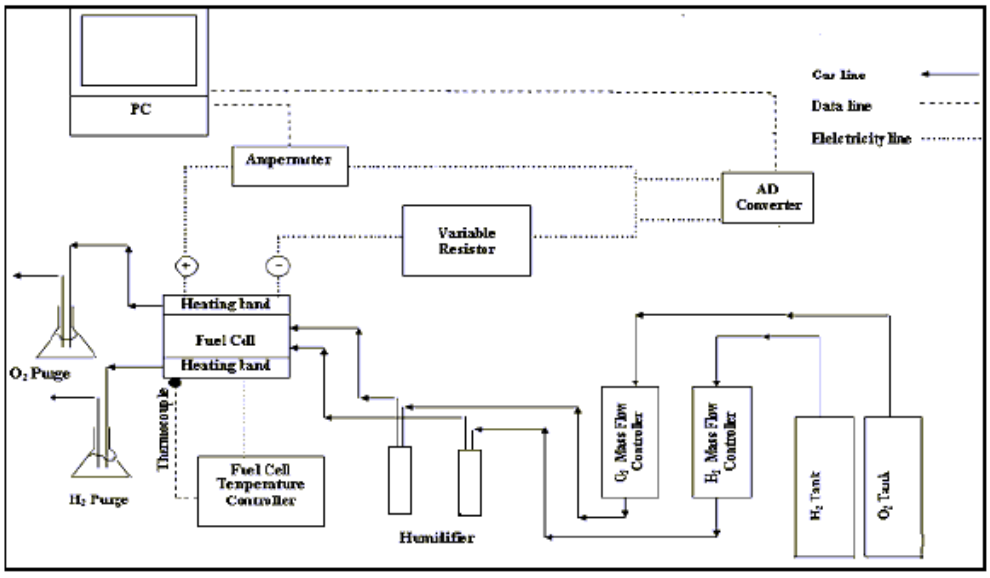
$$O_2+4H^++4e^- \longrightarrow 2H_2O \qquad (11)$$

$$2H_2+O_2 \longrightarrow 2H_2O \qquad (12)$$

في نظام هذه الخلايا المحفز هو طبقة بلورات (غشاء بلوري) (كأحماض بولو بيرفلوروالكبرتيك) الذي يسمح للبرتونات فقط بالمرور بيتما يمنع إلكترونات .أما الكترود فيصنع بمادة من الكربون وتطلى الأقطاب بطبقة رقيقة من البلتينيوم لزيادة التفاعل.

١.١٨.٤ إختيار المحفز

خلايا الوقود ذات محفز الغشاء المتبلور اكتشفت مبكرا لتطبيقات السيارات فهي تولد قدرا كبيراً من القدرة وكفاءة عالية وهي مبسطة لنتيجة صلابة غشاء المتبلور وهي تعمل عند درجة منخفضة نسبياً حوالي ٦٠-٨٠ C وتشغيلها عند درجات حرارة منخفضة له عدة مميزات لان محفزة هو بلورات جاهزة تسمح للبروتونات فقط دون إلكترونات بالعبور خلالها انخفاض درجة حرارة تشغيله لا تحتاج إلى درجة التدفئة أو التسخين (تحتاج زمن تسخين صغير) وناتج ذلك اقل فقد بالا جزاء والمنظومة وهو يعطي أطول عمراً للأجزاء وعليه اقل استهلاك في المعادن الغالية خصوصاً البلوتنيوم (غالي الثمن) الذي يفصل إلكترونات والبروتونات ذرات الهيدروجين وبعض الأحيان يستخدم متحداً مع ريتنيوم، وقد انخفض كمية البلتنيوم إلى $0.1\ mg/cm^2$ للمحفز (Hacker,et,al 2002) فالمخترعين يقدمون بلوتونيوم /ريتنيوم على أنه أكثر مقاومة للحساسية CO .



شكل (٤-٢٠) محطة اختبار لخلايا الوقود من نوعPEM

٨- خلايا الوقود ذات إعادة التوليد Regenerative Fuel Cell

ببساطة هذه خلايا الوقود التي تنتج كهرباء وحرارة يمكن أن تعكس العملية عندما نزودها بالكهرباء يمكن تستخدم لتحليل الماء لتنتج هيدروجين وأكسجين أي بمعني أخر نفس الوحدة يمكن أن تستخدم لإنجاز الوظيفتين وهذا من الممكن أن يؤمن الوزن والتكلفة مقارنة للنظام الذي تكون فيه خلايا الوقود منفصلة مع المحلل ومعدل الكفاءة لإحدى الوظيفتين ليس من الضروري أن يكون أقل كفاءة لخلايا الوقود أو للمحلل ولكن المشكلة في المحفز (Catalyst) لا يمكن جعله مثالياً للعمليتين أي أن كفاءة النظامين المنفصلين أكثر من كفاءة النظامين معاً إي أن النظام يمكن أن يكون في إحدى النظامين جيدة عنه في الأخرى وخلايا الوقود ذات إعادة التوليد في الغالب تعتمد أساسا تقنية (PEM) .

٩- الحرق المباشر للهيدروجين Burning Hydrogen الهيدروجين يمكن أن يحرق بطريقة عادية باستخدام الأكسجين أو الهواء والحرارة الناتجة من الاحتراق يمكن استخدامها في التدفئة أو توربينات أو الغلايات أوفي محركات الاحتراق.

.تقنيات احتراق الهيدروجين Combustion Technology نتيجة لان الهيدروجين ذو حرارة احتراق عالية وكمية كبيرة من النتراتNO_X تنفصل في حالات الاحتراق العادية ولدلك من الأفضل استخدام طرق أفضل التي تسبب اقل إنبعات للنترات NO_X والمواقد ذات المحفز التي تعمل على تخفيض درجة حرارة الاحتراق والتي تعمل على تقليل NO_X لدلك توجد عدة أنواع من المواقد تعمل على أساس الدمج كموقد الطهي الصغيرة المنخفضة انبعاثNO_X عند استخدام الهيدروجين (Nytek 2000) ويضاف ١٥% من الهيدروجين إلى الغاز الطبيعي بدون أي تغيير في ضبط أدوات الإشعال (Hart 1997)

١٠- محركات الهيدروجين Hydrogen engine قام (Rudo IF Erren) بدراسة استخدام الهيدروجين في محرك الاحتراق في سنه ١٩٢٠م وتطورت الطريقة التي تنسب إليه باسم محرك أرن(Erren engine) وقد جرت العديد من التجارب والتطبيقات في الولايات المتحدة الأمريكية لاستخدام الهيدروجين في محرك الاحتراق وبعض هذه المحركات وصلت الكفاءة إلى ٤٢% .أما شركة BMW فتقوم بتطوير محركات احتراق الهيدروجين .ومحركات الإنتاج الثابتة لإنتاج الكهرباء والحرارة التي تستخدم الغاز الطبيعي يمكن أن تحول استخدام الهيدروجين .

١١- التوربينات Turbines :يوجد في الوقت الحاضر عدد من المحطات الغازية التي تعمل بواسطة الفحم ودلك بتحويل الفحم إلى غاز**(IGCC)** والتي تستخدم كمية معتبرة من الهيدروجين.غرفة الاحتراق باعتبارات التطوير باستخدام (Syngas) من تدخين الفحم يعتبر وقودا مرتفع المحتويات بالهيدروجين (Syngas)=(Synthesisgas)=مخلوط من أول أكسيد الكربون والهيدروجين .وصلاحية التوربينات لاستخدام الهيدروجين تحققت بواسطة عدد من المصانع التوربينات وبشكل ملحوظ GE وحاليا أرخص من خلايا الوقود. والتوربينات يمكن اعتبارها تقنية تحويلية وشركة نورسك (Norsk Hydro) للبحوث هو أن مفهوم إنتاج القدرة الكهربائية بالتوربينات والهيدروجين وهو مفهوم للتخلص من CO_2 .

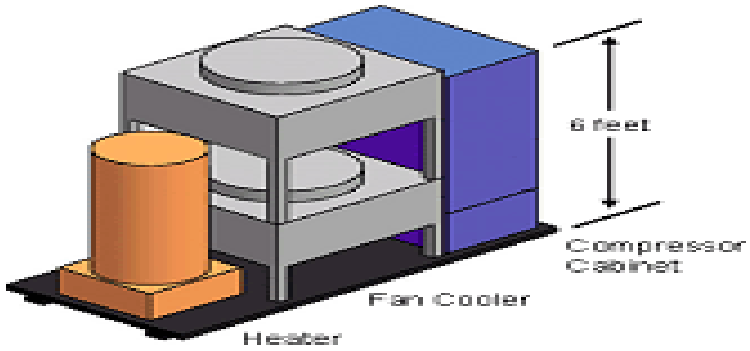
١٢- الموحدات أو المدمجات (Hybrids):بواسطة جمع بين تقنية ذات الأكسيد الصلب مع التوربينات والكفاءة الكهربائية لمحطة القدرة الغازية يمكن أن تصل إلى ٨٠% تحت أفضل الظروف .خلايا الوقود بنفسها تصل عند الاستخدام إلى ٦٠% من طاقة الوقود والباقي يفقد في صيغة حرارة منخفضة النوعية ولكن خلايا الوقود لا يمكن أن تعمل بجميع أنواع الوقود.وعليه فإن الباقي من الوقود والإضافي في الغازات العادمة يمكن استخدامه كمساعد للتوربينات الغازية ومثل هذه المحطات سوف تنتجNO_X إلا إذا استخدم الأكسجين النقي بعد الاحتراق وهذا يجعلها في درجة أقل من محطات القدرة العادية .شركة (Siemens Westinghouse) أنتجت نظام KW٢٢٠ (SOFC)مع Micro turbine (هجين) Hybrid وذلك في جامعة كاليفورنيا (Irvine) وهذا أول إنتاج من هذا النوع والكفاءة وصلت إلى ٥٢-٥٣% وهي تقوم بتطوير منظومة KW٥٥٠.

١٩.٤ ضواغط الهيدروجين:Hydrogen Compressors:ضغط الهيدروجين عنصر مهم في إنتاج، ونقل وتخزين واستعمال الهيدروجين .إنتاج الهيدروجين سواء كان من فصل الميتان أو من تحليل المياه في العموم عند ضغط منخفض وعليه فإن استخدام أو تخزين الهيدروجين يعتبر أساسياً في كل التطبيقات التي تحتاج إلى ضغوط عالية .في نقل الهيدروجين،ارتفاع الضغط مهم في تخفيض حجم الاسطوانات التي تستخدم في عربات النقل ووسائل النقل الأخرى وتخزين الهيدروجين عند نقطة الاستخدام والكثير من أسواق الغاز الصناعية والتجارية وتشمل أيضا إنتاج الهيدروجين وشركات الغاز والكثير من المستخدمين في أشباه المواصلات والتغذية والصناعات الأخرى .والتطبيقات المتعلقة باقتصاد الهيدروجين تشمل محطات إعادة التزود بالهيدروجين والتطبيقات تتعلق بنقل الهيدروجين إلى نقطة الاستعمال والضغط الأقصى للتخزين في حدود (6500- 13000PSI) بينما التطبيقات الصناعية تعمل عند ضغط منخفض في حدود أقل من ٥٠٠ PSI.

١- ضواغط الهيدروجين من نوع "هير":Hera s Hydrogen Compressors:في هذا النوع من الضغط تستخدم الحالة الصلبة مع أنظمة قدرة حرارية التي تستخدم هيدريدات والحرارة لضغط الهيدروجين بعكس الضاغط الميكانيكي الكهربائي الذي يتكون من عدد من الأجزاء المتحركة في ضغط الهيدريدات يمتص خلال عملية انعكاسية(REVERSIBLE PROCESS) بواسطة هيدريدات المعدن عند ضغط منخفض في نماذج هيدريدات أو "الغرز" وعندما يمتلئ هيدريدات المعدن بالهيدروجين تسخن النماذج أو الغرز ينفصل الهيدروجين من هيدريدات المعدن عند ضغط مرتفع وعندما ينفصل جميع الهيدروجين من الهيدريدات المعدن وعندما تبرد السبائك في النماذج أو الغرز تبدأ بامتصاص الهيدروجين عند ضغط منخفض.وقد حققت ضواغط HERA في عدة نماذج لها تطورا وتحسينا مهم في تقنياتها يشمل استخدام مبادل حراري صغير وفعال واستخدام هيدريدات لمواد يمكن تشغيلها عند درجات حرارة عالية التي تزيد من كفاءة الانضغاط والتي يمكن أن تخفض عدد مراحل الانضغاط الأزمة للحصول على الضغط المطلوب والضغط الخارج يصل إلى(8000PSI=550bar) بسعة معدل سريان $12m^3/hr$ ويجري التطوير للحصول أكبر معدل سريان وأعلى ضغوط خارجة ممكنة وتقنيات HERA في الوقت الحاضر في مرحلة الإنتاج التجاري الكامل مشتملة تصميماً مثالياً وموحداً للاستخدامات الصناعية والإنتاج التجاري الأول (HERA) كان منتج جزئي -Micro) (Hydrogen Compressor كما في الشكل رقم (٤-٢١)

شكل (٤-٢١) ضاغط صغير من نوعHERA

وهذه الوحدة يمكنها أن تستخدم الكهرباء لتوليد الانضغاط الحراري ونسبة الانضغاط للوحدة أكثر من (٢٠) في المرحلة الواحدة والشركة في الوقت الحاضر تقوم بتطوير بنظام ذو سعة كبيرة وضغط مرتفع سوف تكون ١٥-٦٠ m^3/hr. والضغط الخارج يكفي لمليء خزان الهيدروجين ذو سعه (5000psi (345bar وهذه الأنظمة الضخمة من المتوقع أن تستخدم التسخين الحراري بواسطة الغاز أو بواسطة الحرارة المفقودة



شكل (٤-٢٢) نموذج للضاغط يستخدم مسخن حراري كهربائي أو بواسطة الغاز الطبيعي

والتجارب العلمية كانت في سنة ٢٠٠٥-٢٠٠٦ وأما الاستخدام الفعلي فكان ٢٠٠٦-٢٠٠٧م.

٢٠.٤ مميزات الهيدريدات المعتمدة على ضواغط الهيدروجين:

معتمداً على تقنيات انضغاط الغاز عموما تنجز مستخدماً الطرق الميكانيكية : مكابس، غشاء انضغاط والعمليات الميكانيكية الأخرى التي تدار بواسطة الكهرباء وهذه التقنية تعتمد على أجزاء متحركة كثيرة وعليه تحتاج إلى صيانة منتظمة التي ينتج عنها توقف الإنتاج .مقارنة الضواغط الميكانيكية بالحرارية تعتبر ضواغط الهيدروجين الحرارية ذات مميزات مهمة منها:

١- أقل تكاليف في الأجزاء الرئيسية .

٢- أقل تكاليف للصيانة .

٣- أقل ضوضاء واهتزاز .

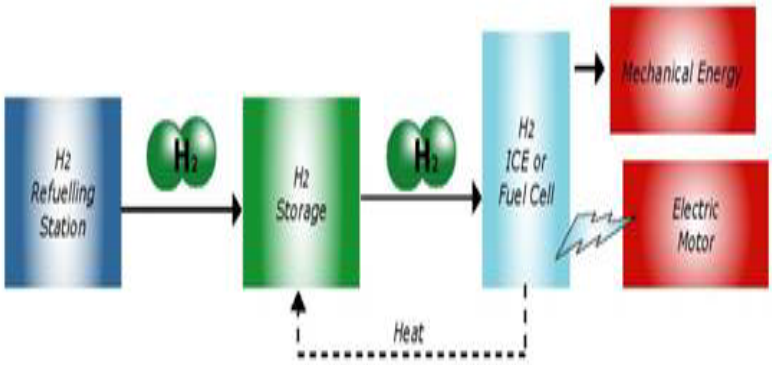
٤- أقل تكاليف للطاقة.

ضواغط الهيدريدات تعمل بواسطة التفاعل الكيميائي ولا تحتاج لموانع التسرب وأغشية الضغط لدلك فهي تحتاج إلى صيانة الأجزاء غير الهيدروجين كدائرة التسخين أو دائرة مياه التبريد.وعندما تغذي هذه الأنظمة بواسطة الغاز الطبيعي فإن تكاليف الطاقة تنخفض إلى الثلث تلك المستخدمة في الضاغط الميكانيكي وعندما يركب نظام الضاغط بالقرب من محطة إنتاج تقنيات HERA يمكن أن يكسب ميزة عدم فقد أي حرارة.

٢١.٤ التقنيات

إحدى التحديات لاقتصاد الهيدروجين هو تخزين الهيدروجين بدون تكاليف مؤثرة الحل العملي والمتين لتخزين الهيدروجين في طريق المركبات الواعد بالطاقة النظيفة والبديلة تتجسد في قطاع النقل أو في تطبيقات الاقتصاد الجديد للهيدروجين ويعتقد أن تقنيات HERA تقدم إجابة لتخزين الهيدروجين على طول طرق المركبات وذلك باستخدام التخزين الحالة الصلبة للهيدروجين بواسطة الهيدريدات عالية ويعتقد أن تقنيات HERA لها فرصة الاستخدام في محطات التزود بالوقود ومصدر قدرة قابل للنقل.

١.تخزين الهيدروجين بواسطة الهيدريدات داخل السيارة:مصانع السيارات تبحث في حالة الحالة الصلبة لمواجهة مشكلة التخزين داخل السيارات بحيث يمكن توزيع غاز الهيدروجين للجميع عند محطات التزود بالوقود للسيارات أي تزويد الخزان بالوقود كما في سيارات البنزين في الوقت الحاضر لتزويد سيارات الدفع بالقدرة بالكهرباء التي تتولد بواسطة خلايا الوقود كما هو موضح في الرسم التخطيطي لشكل رقم (٤-٢٣).

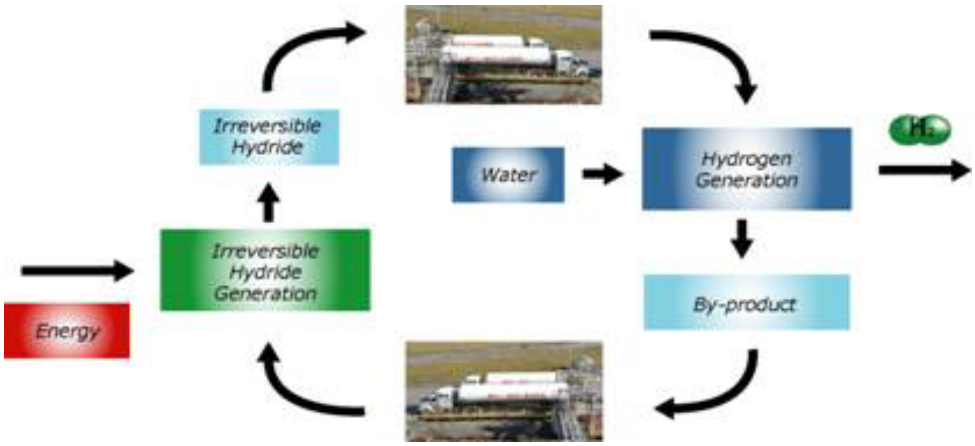


شكل (٤-٢٣) محطة توزيع هيدروجين

التخزين بالحالة الصلبة للهيدروجين يعتمد أساسا على عملية انعكاسية للهيدريدات(REVERSIBLE) أي التخزين الهيدريدات الصلبة) وهو يقدم نظره واعدة للتخزين ذات أنظمة تخزين ضغط منخفضة وهو يوافق الحيز أو الفراغ الموجود على المركبة.

٢.توزيع الهيدروجين التخزين الكيميائي : التخزين الكيميائي يمكن بقوة أن يخزن الهيدروجين عند مستويات كثافة طاقة عالية والتي تولد نتيجة لفصل الهيدروجين الموجود فيه.ومن المرجح إزالة أو التخلص من العقبات للاستخدام داخل المركبة وعلية فمن المكن اعتباره منافساً في توزيع الهيدروجين.مفهوم طلب توزيع الهيدروجين توصيل دائم للهيدريدات المواد إلى نقطة توليد الهيدروجين ويؤثر بوجود المياه محليا ويعود بالمنتج إلى خدمة مركزية في إعادة الدورة لنشاط الجاذبية للهيدريدات لهذا التقارب في(reversible) تخزين الهيدريدات

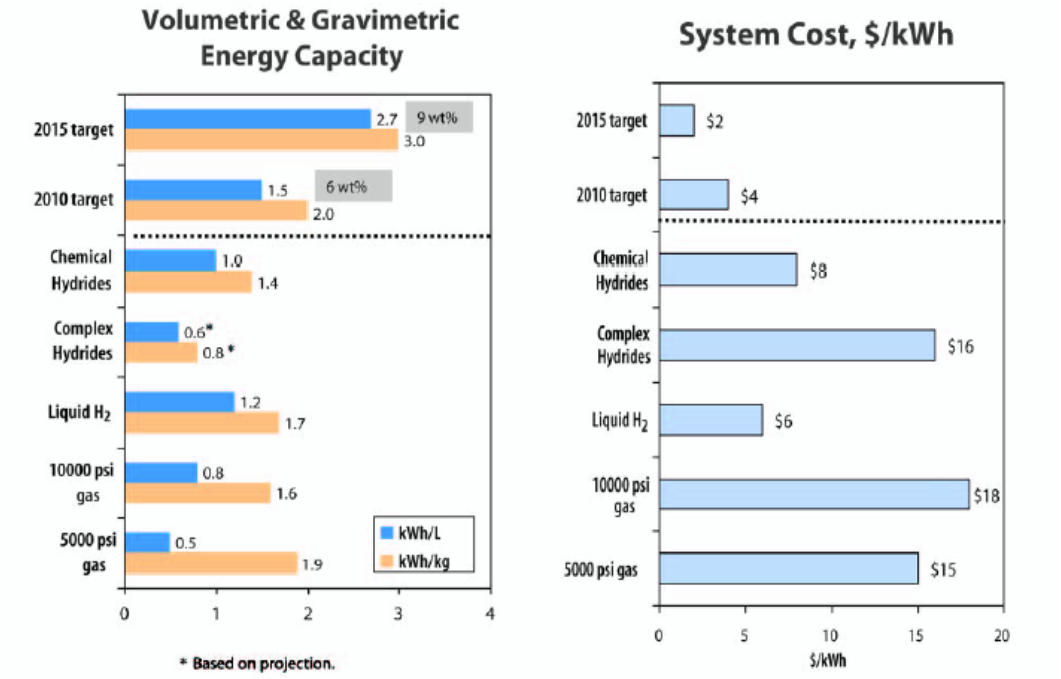
للهيدروجين وتوزيع كمية كبيرة من الهيدروجين المخزن في ضد الانعكاسية(Irreversible) لمواد هيدريدات والدائرة المغلقة لهذه العملية كما في الشكل رقم (٤-٢٤)



شكل (٤-٢٤) الدائرة المغلقة لاستخدام وتخزين الهيدروجين

الآمر الآخر المهم في مثل هذه الأنظمة وهي ميزة اقتصادية إذ لو أن هذه الأنظمة فعال في الطاقة فيجب وضع في الحسبان أن الهيدريدات يمكن على الحرارة من أي مصدر حراري (أي ليس من الضروري تعدد مراحل التحويل باستخدام الكهرباء .ولو استخدمت هذه الطريقة بكميات جيدة ستكون صديقة للبيئة.

٣-هياكل خزانات المحتوية على الهيدروجين: ينقل الهيدروجين عادة في أوعية (أوعية ضغط) إلى مكان التطبيقات والتي تحتاج إلى كمية كبيرة من الهيدروجين، والهيدروجين يخزن عند ضغوط التي في الاسطوانات أكثر من (140bar(2000psi) والأوعية تعاد شحنها أو تبدل عند مزود الغاز. وقد استخدمت الهيدريدات



شكل (٤-٢٥) مقارنة بين طرق تخزين الهيدروجين المختلف

في السنوات القليلة الأخيرة لتجهيز محكم وخيار الضغط المنخفض والذي يعتبر قيماً في حالة النقل لكميات صغيرة أو وضع احتياطات لتطبيقات القدرة

Figure 12- Hydrogen Dispenser (Adame, 2004).

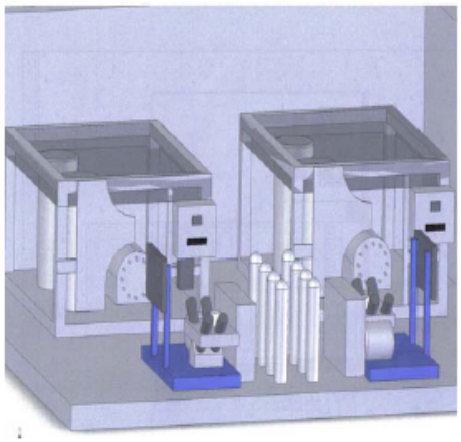


Figure 13- Electrolyzers, Compressors and Ballast Tanks (Adame, 2004).

شكل (٤-٢٦) رسم تخيلي لمحلل وضاغط ومزود شحن

٤-محطات إعادة التزود بالوقود:

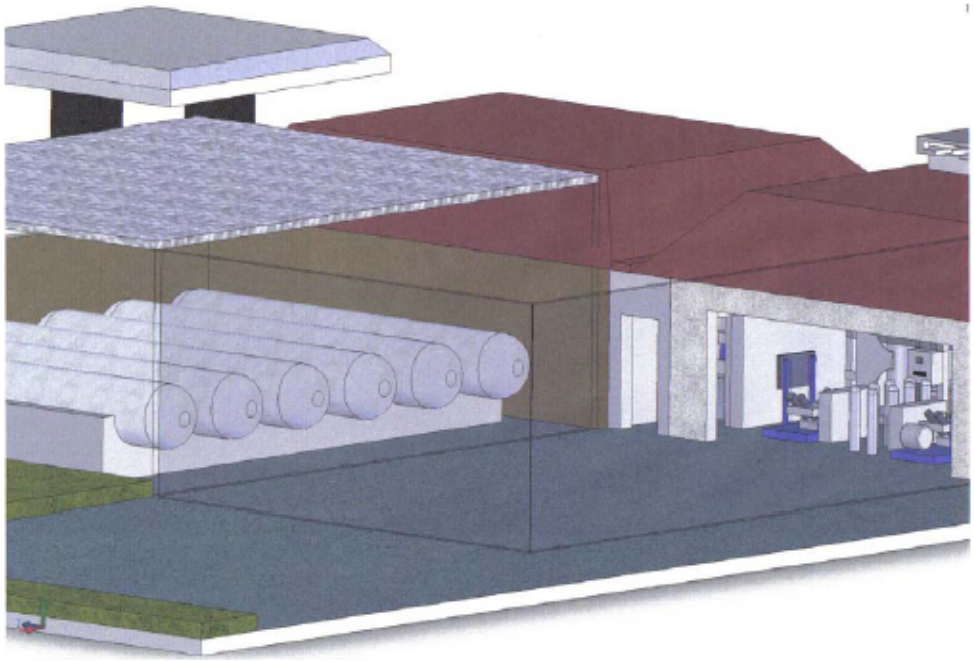


Figure 11- Rear right view of the fueling station (Adame, 2004).

شكل (٤-٢٧) رسم لمحطة تزود بوقود الهيدروجين

إضافة إلى ضغط الهيدروجين محطات إعادة التزود بالوقود مهمة جداً لخزن وتوزيع الهيدروجين وأنظمة توزيع الهيدروجين داخل خزان الحالة الصلبة للهيدروجين وتوجد عدة عوامل يجب أن تأخذ في الحسبان كأزمنة إعادة التعبئة، التحكم بالحرارة والتحكم بالضغط .والاعتقاد أن هذه العوامل تحتاج إلى خزانات منفصلة سواء كان الاستخدام في المولدات الثابتة أو في داخل خزان السيارة.

٥-مولدات القدرة القابلة للحمل:(Portable Power):

معدات القدرة القابلة للحمل هو تطبيق كبير للتخزين الكيميائية لإحلال خلايا الوقود الهيدروجين محل بطاريات الشحن الكهربائي وهذا الغرض هو حل جيد يحل محل البطاريات وهو ذو كثافة طاقة عالية وينجز المطلوب منه.والتخزين الكيميائي بواسطة تقنية Hera يمكن استخدامه لهذا الغرض.

٦-منتجات تخزين الهيدروجين بواسطة تقنية Hera:

١-المنتجات الحالية لهذه التقنية تطورت في مجال تخزين هيدريدات الحالة الصلبة يجعل تركيزه على احتياجات التطبيقات داخل المركبة فقد قدمت عدة أنواع من خزانات الهيدروجين وعلب تخزين صغيرة للسيارات الصغيرة المولدات المتنقلة ذات الأحجام الصغيرة.تعتمد الكثير من عمليات التخزين على الهيدريدات التقليدية ولكن عند جعلها متراصة وذات فعلية كبيرة سوف تكون ثقيلة ومكلفة لدلك تستخدم الأوعية التقليدية حتى في التقنيات المتقدمة

٢- خزانات المستخدمة في المركبات:وقد ركزت تقنيات الحديثة كا (HERA) على خزانات التخزين في السيارات والمركبات الأخرى وحاليا تستخدم هذه الخزانات في التعدين تحت سطح الأرض في عربات خلايا الوقود للتعدين

٣-أوعية تخزين الهيدروجين :Hydrogen Storage Canisters

شكل (٤-٢٨) أوعية تخزين الهيدروجين

طورت خزانات حفظ الهيدروجين كما في الشكل رقم(٤-٢٨) لتطبيقات القدرة المنخفضة وفق معايير الجودة الأمريكية وسوف توضع معايير لخزانات حفظ الهيدروجين حسب الظروف المختلفة بشكل تجاري وفق مفاهيم ومعايير وضوابط مفهوم العمليات وموحدة لكل المستخدمين .

٤-التقنيات المستقبلية لتطوير تخزين الهيدروجين :

مستقبل الهيدريدات المتقدمة Advanced Hydride معتمد على تخزين الهيدروجين والتركيز في مجال الهيدريدات المتقدمة على تطوير هيدريدات الحالة الصلبة للتخزين لتكون أخف في الوزن وأقل تكلفة من الهيدريدات التقليدية المستخدمة .الهيدريدات الانعكاسية Reversible المتقدمة يمكن تطويره عمليا لتخزن حتى ٨% من وزنها هيدروجين حيت كان يقابلها ٥% فقط وهذا يشد من انتباه صانعي السيارات.والهيدريدات المتقدمة تتركب من معادن منخفضة التكلفة كالصوديوم والمغنيسيوم والألومنيوم .والنظام الفعلي يعمل عند درجات حرارة أكبر من ١٠٠م˚ وعليه تحتاج إلى إزالة هذه الحرارة لتحرير الهيدروجين المخزون .ومحركات الاحتراق الداخلي تنتج حرارة كافية لحرارة التشغيل والتوليد الآخر للحرارة هو مشروع خلايا PEM التي تدار بحرارة أكثر من ١٠٠م يمكن استعمالها لتحسين الكفاءة وتقليل التكاليف .والاستعمال التجاري لهذه الخزانات متوقع في الفترة القريبة القادمة لمراعاة ظروف التشغيل للسيارات وذلك مع التوسع المتوقع في استخدام سيارات الوقود خلال العقود المقبلة .

٤-٢٢.مميزات هيدريدات الحالة الصلبة لتخزين الهيدروجين:

١-ضغط منخفض.

٢-مترا صف (مرتفع حجم كثافة الطاقة).

٣-يمكن إعادة الشحن عند ضغط منخفض من المحلل Electrolyzer_أو الهيدروجين الغازي ولا تحتاج إلى ضاغط مرتفع الضغط.

٤-خزن فعال بالكامل ويمكن تشكيلة حسب الطلب .

٥-نظام تخزين جيد في التصميم خاصة في أنظمة الدفع أو توليد القدرة.

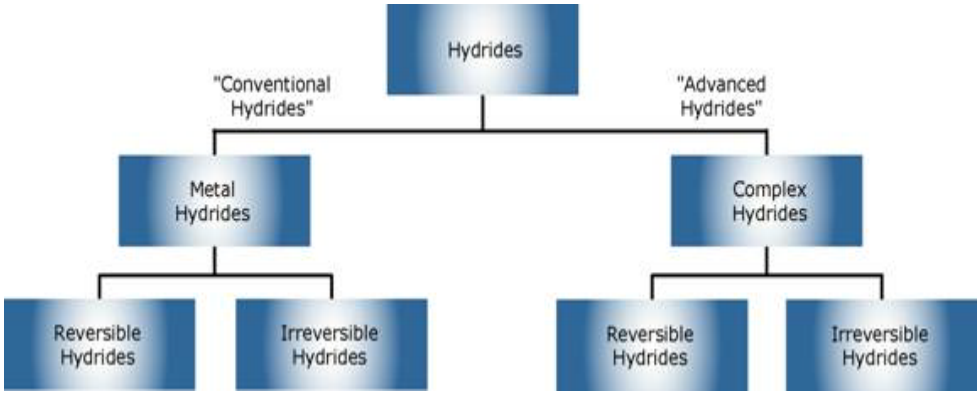
٦-استخدام فاقد الحرارة من خلايا الوقود ومحركات الهيدروجين يمكن تقليص أنظمة التبريد.التخزين بواسطة الحالة الصلبة للهيدريدات يعتمد أساساً على انعكاسية Reversible الهيدريدات المتقدمة والتي لها مميزات عديدة عن الطرق الأخرى فهذه الهيدريدات الانعكاسية تدار عند ضغوط منخفضة مقاربة بالهيدروجين المضغوط ولا تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة للغاية كالهيدروجين السائل وهي تحتاج إلى طاقة أقل في الأساس وهي متراصة ومتكيفة مع الاستخدام في الفضاء أو في عربات النقل في داخل المركبة والمتانة التي تمثل أولوية في تصميم المركبات وللأسباب السابقة الذكر يمكن اعتبار تقنية التخزين هذه هي الأفضل في التخزين داخل السيارة.

مجمل أنواع الهيدريدات:

جدارة شركات التخزين هي في تطوير مواد الهيدريدات ومحفز الهيدروجين Catalysts وأساسيات إنتاج الهيدروجين بالهيدريدات باختصار هي مواد تتركب من عناصر المعادن التي تمتص وينفصل الهيدروجين وهي تقسم إلى قسمين رئيسين :

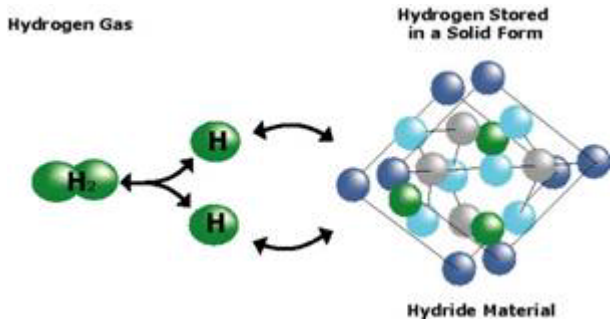
١-هيدريدات المعدن والتي يشار إليها كا "الهيدريدات التقليدية" Conventional ydrides

٢- الهيدريدات المعقدة Complex Hydrides وتعرف بالهيدريدات المتقدمة Advanced Hydridesوكلا النوعين يشمل هيدريدات لها قابلية على امتصاص وإعادة إنبعات الهيدروجين على أساس الإعادة عند ضغط ودرجات حرارة عملية وتعرف بالهيدريدات الانعكاسية Reversible Hydrides أما الهيدريدات التي لا تتبع القواعد السابقة فيطلق عليها اسم Irreversible hydrides



شكل (٤-٢٩) تصنيف الهيدريدات

١-الهيدريدات التقليدية Conventional Hydrides :الهيدريدات التقليدية بحثت وظهرت واشتركت في تطبيقات مختلفة منذ أكثر من ٣٠ سنة مضت ووجد لها اختصاص تطبيقات تخزين الهيدروجين وفي الآونة الأخيرة استخدمت كميات تجارية هائلة لا نتاج بطاريات هيدريدات معدن النيكل . وهذه البطاريات هي البطاريات الحديثة المستخدمة في استهلاك التطبيقات الإلكترونية كما في السيارات الكهربائية الهيدريدات التقليدية هي معادن أو سبائك معادن تنتج في كثير من الأحيان بنفس الطريقة كباقي المعادن أو سبائك المعادن مستخدما فرن مناسب وتقنيات الانصهار ولكن يوجد اختلاف واحد وهو أنه إذا تعرضت للهيدروجين عند ضغط ودرجة حرارة معينة فإنها تمتص كمية كبيرة من غاز الهيدروجين الامتصاص يحدث بواسطة جزيئات غاز الهيدروجين متصلة بسطح المعدن أو سبيكة المعدن منفصلا خلال الهيدروجين الذري وموزعا ذرات الهيدروجين بالكامل خلال التركيب المعدنيLattice الشبكي كما في الشكل رقم(٤-٣٠)



شكل (٤-٣٠) تداخل بين ذرات الهيدروجين وهيدريدات المعدن

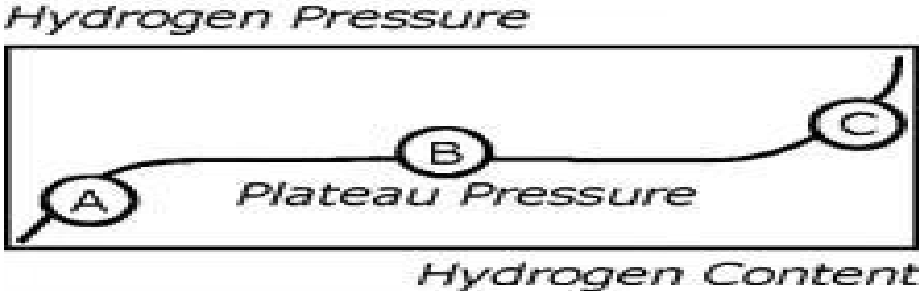
وهذه الرابطة الجزئية التي تتميز بها كل الهيدريدات التقليدية هي واحدة عندما يأخذ الفراغ بين ذرات المعدن أي في معنى أخر الهيدروجين يكون صدع"interstitially" يتوزع خلال المعدن أو سبائك المعدن.

سبائك المعدن :وهي مواد تتكون من أكثر من عنصر واحد معدني مثلا ستا لينس ستيل Steel Stainless هو سبيكة من الحديد والنيكل والكروم وليس كالمعدن النقي الذي يضم عنصر واحد فقط (كالنحاس في خطوط الكهرباء) .هيدريدات المعدن أو سبائك المعدن تكون في حالة أقل طاقة منه في حالة صيغة النقاوة، فأن الحرارة وبشكل متزامن تفصل عندما يمتص الهيدروجين وبعكسه عندما ينفصل الهيدروجين Desorbed عندما تطبق الحرارة أي يتعرض للحرارة أي أن المادة تكون في حالة الاختزال الكيميائي .التفاعل النوعي للهيدريدات التقليدية يمكن أن توضح كما يأتي

$$M+H_2 \longrightarrow MH+ \text{Heat Out} \qquad (13)$$

$$M+ H_2 \longleftarrow MH+ \text{Heat In} \qquad (14)$$

حيث **M** يمثل المعدن أو سبيكة المعدن وH_2 هو غاز الهيدروجين و**MH** هو هيدريد المعدن وهذا التفاعل هو انعكاسي Reversible واتجاه التفاعل يحسب بواسطة ضغط الهيدروجين المضغوط .إذ لو كان الضغط أعلى من مستوى ضغط الاتزان أو هضبة الضغط Equilibrium Pressure, Plateau Pressure والتفاعل يعود إلى اليمين ليكون هيدريدات المعدن أما إذا كان الضغط أقل من ضغط الاتزان فالهيدروجين ينفصل أي ينبعث ومركب المعدن يعود إلى حالته الأصلية. الشكل رقم (٤-٣٠) يبين أن امتصاص الهيدروجين هو Isotherm للهيدريدات المعدن وهو يوضح العلاقة بين كمية

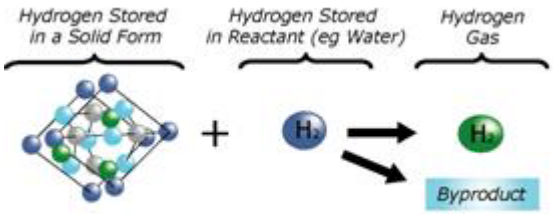


شكل (٤-٣١) عملية تخزين الهيدروجين في الهيدريدات التقليدية

الهيدروجين في هيدريدات المعدن عند محور **x** (x-axis) أما ضغط الهيدروجين حول هيدريدات المعدن فيمثل محور **Y** (Y-axis) .عندما يحفظ الهيدروجين عند درجة حرارة ثابتة بداية كغاز الهيدروجين ويتعرض للهيدريدات عند ضغط منخفض، السبيكة تبدأ في امتصاص كمية صغيرة من الهيدروجين عند المنطقة **(A)** ومع ارتفاع ضغط الهيدروجين، الهيدروجين يستمر في الامتصاص ببطيء يصل إلى نقطة التي عندها هيدريد المعدن يمتص الهيدروجين عند ضغط ثابت تقريباً أي عند النقطة **(B)** وتسمى هضبة الضغط Plateau Pressure عندما يصل امتصاص هيدريدات المعدن إلى أقصى سعة،ضغط الهيدروجين يبدأ في الارتفاع مرة أخرى عند**(C)** إضافة إلى دلك لو أن درجة الحرارة مع انخفاضها تغيرت بدون امتصاص أو فقد للهيدروجين، هضبة الضغط سوف تزيد مع ارتفاع الحرارة وتنخفض مع انخفاضها.

2-الهيدريدات المتقدمةAdvanced Hydrides الهيدريدات المتقدمة هي نسبيا تصنيف جديد للهيدريدات والتي تتركب من عناصر المعادن مشابه للهيدريدات التقليدية وتشابه هذه الهيدريدات مع الهيدريدات التقليدية في كثير من الصفات ولكن الامتصاص الذري للهيدروجين يتضمن رابطة غير انشقاقية Non-Interstitial Bonding وهذه الرابطة هي أكثر تعقيداً وعليه فإنه من الناحية العلمية يطلق عليها الهيدريدات المعقدة Complex Hydrides .بينما نوع الرابطة الجزئية قد تكون معقدة للهيدريدات المتقدمة ولكن هذه الهيدريدات لها مستقبل واعد كانخفاض التكلفة وخفة الوزن إلى حد معين للتخزين في الحالة الصلبة داخل العربات والهيدريدات المتقدمة هي الأكثر بحثاً وتطويراً عالمياً خاصة في نشاطات الطاقة الجديدة والمتجددة (R&D) Renewable and Durable Energy لغرض تطوير كثافة تخزين الهيدروجين وذلك لأنها بؤرة التركيز للبرامج الطاقة الجديدة والمتجددة في هيدريدات المواد .

٢٣.٤ الهيدريدات الانعكاسية والغير انعكاسية Reversible and Irreversible Hydrides :شكل رقم (٤-٣٠) يبين امتصاص وفقد للهيدروجين من الهيدريدات للنوعين التقليدية والمتقدمة وعليه فإن الهيدريدات في حالة انعكاسيةReversible وذلك بإعادة الشحن بالهيدروجين عند درجة حرارة وضغط عملية .الأنواع الأخرى من الهيدريدات تعرف بأنها غير انعكاسيةIrreversible التي تنتج الهيدروجين عندما تتعرض للحرارة أو مؤثر كالماء كما في الشكل رقم (٤-٣١) وعليه فإن تفاعل توليد الهيدروجين لا يكون انعكاسياً عند نقطة الاستخدام تحت تغيرات العادية للدرجة الحرارة والضغط .ومن أجل إعادة



شكل (٤-٣٢) الهيدريدات غير الانعكاسية

شحن الهيدريدات بالهيدروجين يجب أن يتم توليد كيميائي تحت ظروف خاصة وفي الغالب عند محطات مركزية .من أهم مميزات استخدام الهيدريدات غير الانعكاسية IRREVERSIBLE أنها تزيد كمية الهيدروجين حتى ١٠% من وزن الهيدريدات غير الانعكاسية التي يمكن فصلها كمؤثر أو فصل الهيدروجين .

٢٤.٤ إختبارات والتحليلات للطاقة الجديدة والمتجددة R&D:

نشاطات اختبارات تخزين الهيدروجين بواسطة D O E تركز على إقامة اختبار وتقديم خدمات تؤدي المطلوب اللامان والمتانة والحالات الطارئة عند استخدام حالة المواد الصلبة الانعكاسية .التطوير الموحد للبروتوكولات الاختبار والنظام يسمح ل" DOE" بالمقارنة بين معدل الأداء لشكل واسع صفوف المواد والأنظمة وتركز R&D المجهودات لا فضل نتائج واعدة.وتحليل نشاطات تخزين الهيدروجين بواسطة DOE تركز على تطوير ثابت ومقارنة كاملة لخيارات تقنيات تخزين الهيدروجين كغاز الهيدروجين المضغوط هيدريدات المعادن

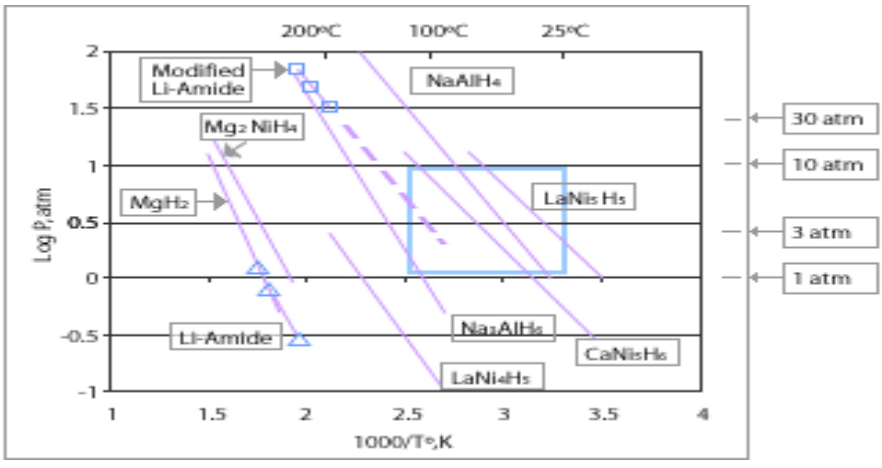
والتخزين الكيميائي للهيدروجين وتخزين على أساس الكربون لتطبيقات التخزين بداخل المركبات ونتائج هذا التحليل سوف يدعم الفعالية والتكلفة وتخمين دورة الحياة لهذه التقنيات ويعطي دعما لإنجاز المشاريع والقرارات التجارية وابسط هيدريدات المعدن كا $LaNi_5H_6$ والذي يدمج الهيدروجين في خلال تركيبه البلوري ويمكنه أن يؤدي وظيفته في حدود(١-١٠)ضغط جوي:"atm" و٢٥-١٢٠ م ولكن بنسبة لسعة التخزين بنسبة للوزن فهي ضعيفة جداً تقريباً(~١.٣وزن%) وتكلفة مرتفعة جداً لتطبيقات السيارات.هيدريدات المعدن المعقدة كا مواد Alanate ($AL H_4$) لها سعة تخزين للهيدروجين قياسياً عالية في التطبيقات مقارنة بالهيدريدات البسيطة .ال Alanates يمكن أن تخزن وتفقد الهيدروجين بشكل انعكاسي عندما تحفز باستخدام مركب التيتينيوم(Titanium) اعتماداً على مرحليتين بتفاعل الإحلال ل(Sodium Alanate)

والمعادلات كما يأتي:

$$NaALH_4 \longrightarrow 1/3Na_3ALH_4 + 2/3AL + H_2 \quad (15)$$

$$Na_3ALH_6 \longrightarrow 3NaH + AL + 3/2H_2 \quad (16)$$

عند ضغط1atm، التفاعل الأول يصبح ثرموديناميكينا(Thermodynamically) إيجابيا عند درجة حرارة أكبر من ٣٣م ويمكن أن ينفصل (3.7wt%) من الهيدروجين أما التفاعل الثاني يبدأ عند درجة حرارة أكبر من١١٠م ويمكنه فصل (1.8wt%) من الهيدروجين.كمية الهيدروجين التي يمكن للمادة أن تبعثها أو تخرجها هي نفس الكمية التي تمسكها وهي العامل الرئيسي المستخدم من ناحية نسبة الوزن أو بنسبة الحجم للسعات المختلفة .التزود بالهيدريدات المعدن المعقدة يشمل سعة منخفضة للهيدروجين، بطء في حركة الكسب والفقد وعلو التكلفة .القيمة القصوى للمواد (ليس للنظام) من ناحية السعة الوزنية ٥.٥وزن % من الهيدروجين بنسبة (Sodium Alanate) وهو أقل من النظام المستهدف ل هو 6wt%، وعليه فإن 4wt% من الوزن انعكاسية محتويات الهيدروجين تبث بالتجارب تنجز بواسطة مواد(Alanate)



شكل (٤-٣٣) بعض صفات هيدريدات المعدن

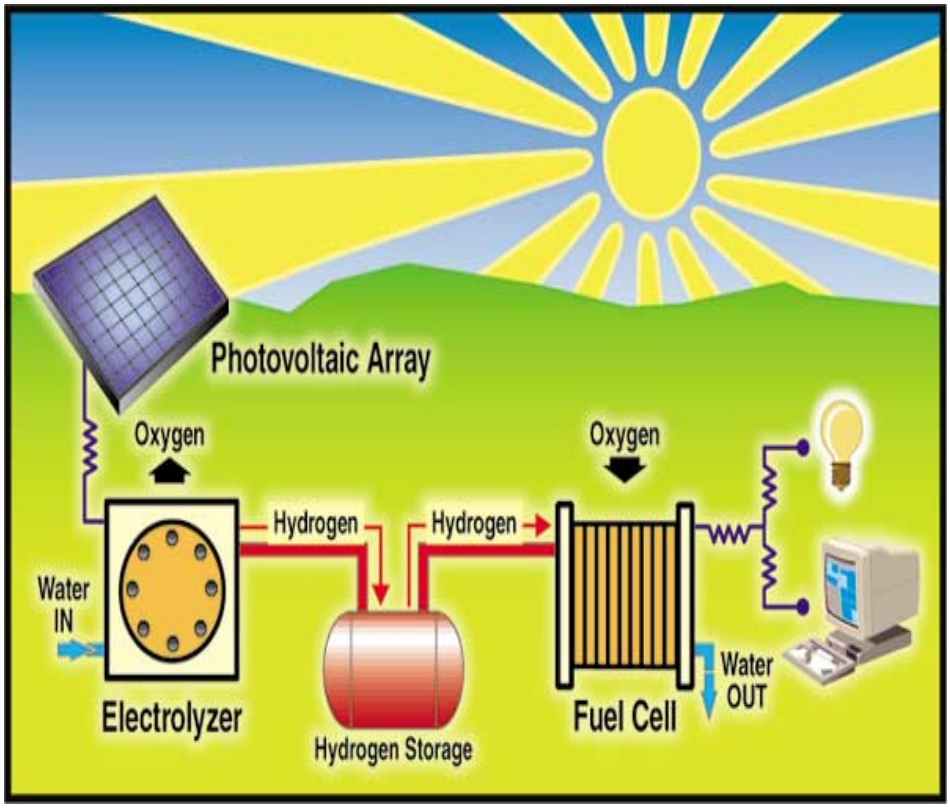
٤.٢٥ متطلبات الأمان في التعامل مع الهيدروجين:

يعتبر الهيدروجين عنصراً خطيراً جداً منذ الحادث الشهير الذي حدث في العام ١٩٣٧ في ولاية نيوجرسي

الأمريكية و هو احتراق المنطاد Hindenburg و الذي كان يعتمد على الهيدروجين كعنصر ملء نظراً لخفة وزنه و أدى الحادث إلى مقتل ٣٥ شخصاً في مشهد حريق هائل . و لكن أثبتت التحقيقات لاحقاً أن الهيدروجين لم يكن المسبب الرئيس للوفاة بل إن ٢٧ شخصاً من القتلى مات بسبب القفز من المنطاد ، و ٨ بسبب الدخان و الباقون و عدهم ٦٢ شخص بقوا في المنطاد و نجوا ، علماً أن الهيدروجين حينها لم يكن المسبب في الحادث بل كان طلاء المنطاد الذي اشتعل. و تعتبر تعليمات الأمان التي تعطيها وكالة NASA و هي أكثر هيئة تستخدم الهيدروجين في العالم أساساً في الوقاية من أخطاره : ١. إن الهيدروجين يشتعل بلهب غير مرئي ذو درجة حرارة عالية لذلك يجب الحذر الشديد من أن يمس الجلد ، و أبسط طرق الكشف عنه عند الشك بوجوده هو استخدام مكنسة من القش ذات ذراع طويلة لنتفحص بها مكان التسرب . ٢. إن الهيدروجين السائل و بسبب الحرارة المنخفضة جداً له يؤدي إلى حدوث ما يسمى بالحرق البارد و هو أشد تأثيراً من الحرق المعروف و يؤدي إلى حدوث وذمة تتضخم بشكل كبير و سريع ، و علاجها سهل من الطبيب و لكن شريطة أن لا يمسها المصاب بتاتاً . ٣. إن الهيدروجين من أكثر العناصر نفوذاً على الإطلاق لذلك يجب ارتدا الملابس الواقية و القفازات و واقيات الوجه عند عمليات التعبئة و التفريغ أو عند صيانة الشبكة و الصمامات و عند فك كل ما يمر به الهيدروجين . ٤. تنشق الهيدروجين خطير و يسبب حروقاً في الجهاز التنفسي . و بالتالي نجد ضرورة الحذر عند التعامل مع الهيدروجين مع العلم أن الالتزام التام بتعليمات الأمان يضمن بشكل كامل سلامة الشخص فالهيدروجين عنصر أمين بمدى إدراكنا لكيفية التعامل معه.

الفصل الخامس
معادلات وافتراضات الإشعاع الشمسي

يتكون الجزء التطبيقي من منظومة وهو تصميم مكونات المنظومة وهي كما في الشكل (٥-١)



شكل (٥-١) دورة كاملة لمحطة توليد كهرباء بواسطة الطاقة الشمسية واستخدام الهيدروجين كوسيط تخزين

١. الخلايا الشمسية Photo-voltaic Cells :وفي هذا الجزء يتم الحصول على الطاقة الكهربائية من الإشعاع الشمسي المباشر عن طريق الخلايا الشمسية حيث توصل مجموعة منها لتعطي الحمل المطلوب.
٢.المحلل Electrolyzer : ويتم فيه فصل الماء إلى أكسجين وهيدروجين بواسطة الكهرباء عن طريق الانود والكاثود .
٣.خلايا الوقود Fuel cell : ويتم في هذه الخلايا الاتحاد بين الهيدروجين والأكسجين لينتج الكهرباء وحرارة ويتكون الماء.

٥.١ نظام الخلايا الشمسية:
لحساب الطاقة الكهربائية المطلوبة بواسطة الخلايا الشمسية في منطقة مصراتة التي تقع عند الساحل الجنوبي للبحر الأبيض المتوسط عند خط عرض ٣٢.٢٥ وخط طول ١٥.٠٣ شمالاً[28] .الجدول رقم (٥-١) يبين متوسط معدل الإشعاع الشمسي الساقط (عدد ساعات السطوع الشمسي اليومي) على منطقة مصراتة للشهور سنة ٢٠٠٥م .ونلاحظ من الجدول ارتفاع معدل السطوع
ملاحظة: مرفق بالملاحق جداول تحتوي على معدل السطوع الشمسي لأيام سنة ٢٠٠٥ م كاملة وكذلك درجات الحرارة طيلة أيام السنة[28].

جدول (٥-١) معدل الإشعاع الشمسي بمصراتة (عدد ساعات السطوع الشمسي الفعلي) لسنة ٢٠٠٥ م[28]

أشهر السنة	متوسط ساعات السطوع الشمسي(ساعة)
١	٠٥.٤٢
٢	٠٧.٥٩
٣	٠٧.٢٩
٤	٨.٨٧
٥	١٠.٩٥
٦	١٠.٥٣
٧	١١.٩٧
٨	١٠.٧٣
٩	٨.٩٨
١٠	٠٨.٦٥
١١	٠٧.٥٠
١٢	٠٤.٥٩
	المتوسط=٨.٥٩ ساعة/يوم

١- معدات وأدوات البحث.

١ .جهاز قياس معدل السطوع الشمسي ***F 4121 card Sun shine :*** [28]

جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي يتكون من بلورة زجاجية تعمل كعدسة لتركيز **الإ**شعاع الشمسي في نقطة معينة على سطح ورق خاص مدرج وفق تدريج معين بمسافات يقوم الإشعاع الشمسي المركز بواسطة البلورة بإحراق مسافة من هذا الورق مساوية لساعات السطوع الشمسي بعد قياسها بواسطة مسطرة مرقمة وتحول الأبعاد إلى عدد ساعات بواسطة ضربها بعامل تحويل ويكون الناتج هو عدد ساعات السطوع الشمسي

<u>أوراق التسجيل:</u>

توجد ثلاث أنواع من أوراق التسجيل حسب طول اليوم:

النوع الأول:أوراق تستخدم في النهار القصير:

وهي تستخدم في الفترة من ١٥ أكتوبر إلى ٢٨-٢٩ فبراير

النوع الثاني:أوراق تستخدم في النهار المتوسط:

ويستخدم على فترتين زمنيتين:

أ-الفترة من ١مارس إلى ١١ أبريل .

ب-الفترة من ٣ سبتمبر إلى ١٤ أكتوبر .

٣-النوع الثالث : أوراق تستخدم في النهار الطويل:

وهي تستخدم في الفترة ١٢أبريل إلي ٢ سبتمبر .

جدول (٥-٢) إحصائية السكان لمنطقة مصراتة من سنة ٢٠٠٠ حتى نهاية ٣١.٩.٢٠٠٦[29]

السنة	الجنسية	أسر	ذكور	إناث	المجموع	الزيـــــادة السنوية
	ليبيون	٤٩١٧٨	١٣٧٦٦٥	١٣٤١٠١	٢٧١٧٦٦	
٢٠٠٠	أجانب	٢١٢	٢٧٤٥	٢٨٠٩	٥٥٥٤	
٢٠٠١	ليبيون	٥٠٥٦٥	١٤٠٦٠٨	١٣٧٠٠٧	٢٧٧٦١٥	٥٨٤٩
	أجانب	٢١٢	٢٨٩٢	٢٩٧٣	٥٨٦٥	٣١١
٢٠٠٢	ليبيون	٥٢٠٩٥	١٤٣٩١٩	١٤٠٣٣٩	٢٨٤٢٥٨	٦٦٤٢
	أجانب	٢١٢	٣٠٠٦	٣٠٨٤	٦٠٩٠	٢٢٥
٢٠٠٣	ليبيون	٥٤٠٤٥	١٤٧٣٢٠	١٤٣٢٨٤	٢٩٠٦٠٤	٦٣٤٦
	أجانب	٢١٨	٣١٥٨	٣٢١٣	٦٣٧١	٢٨١
٢٠٠٤	ليبيون	٥٥٥٨٥	١٥٠٥١٢	١٤٦٢٢٣	٢٩٦٧٣٥	٦١٣١
	أجانب	٢١٨	٣١٩٧	٣٢٥٢	٦٤٤٩	٧٨
٢٠٠٥	ليبيون	٥٧٤٣٢	١٥٤٣٨٤	١٤٩٣٩١	٣٠٣٧٧٥	٧٠٤٠
	أجانب	٢٢٣	٣٣١٢	٣٤٠٢	٦٧١٤	٢٦٥
٢٠٠٦	ليبيون	٥٨٦٣٧	١٥٦٩٧٠	١٥١٧٨٤	٣٠٨٧٥٤	٤٩٧٩
٢٠٠٦	أجانب	٢٣٧	٣٤٥٥	٣٥٤٧	٧٠٠٢	٢٨٨

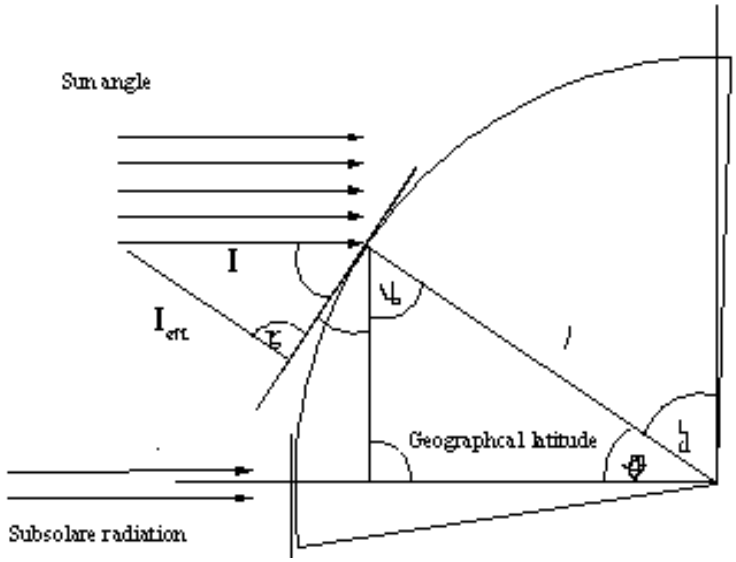
ولحساب كمية الطاقة الكهربائية الأزمة لإقامة محطة توليد كهرباء لتزويد منطقة مصراتة معينة بالكهرباء يحسب متوسط عدد أفراد الأسرة لمنطقة مصراتة. من خلال الجدول يمكن حساب متوسط عدد أفراد الأسرة في منطقة مصراتة. الجدول الأتي يبين متوسط استهلاك السنوي للكهرباء مقاسهKW/h [30] ومعلوم أن هذا المعدل يتغير مع تغير البلاد ومعدل تقدمها

جدول (٥-٣) معدل الاستهلاك السنوي للفرد من الكهرباء من٢٠٠١-٢٠٠٥

السنة	المعدل السنوي استهلاك الفرد من الكهرباء KW/h
٢٠٠١	٢٤٣٨
٢٠٠٢	٢٥٩١
٢٠٠٣	٢٦٩٥
٢٠٠٤	٢٨١٣
٢٠٠٥	٣١١٩

٢- .منظومة DEASL SOLAR :تقوم هذه المنظومة بحساب كمية الطاقة الشمسية الساقطة على المتر المربع الواحد في كل مناطق الكرة الأرضية وذلك استنادا على توزيع الإشعاع الشمسي الساقط طبقاً لخطوط الطول والعرض حيث يتم إدخال خط عرض المنطقة المطلوبة وبعد ذلك تحديد الفترة الزمنية فهي تعطي نتائج على طول ساعات وأيام وأشهر السنة
الحسابات والمعطيات والمعادلات:

٥-٢/ طاقة الإشعاع الشمسي: Solar radiation energy model:مجموع ما يسقط من الإشعاع الشمسي على سطح الأرض يتكون من مكونين رئيسين وهي الإشعاع الشمسي المباشر، والإشعاع المنتشر. فالإشعاع المباشر أو حزم الشعاع الساقط قادم مباشرة من الشمس فيما شعاع الانتشار فهو متساقط من جميع الاتجاهات ويمكن أن يرى في اليوم المشمس كالسماء الزرقاء كما في الشكل رقم (٥-٢)



شكل (٥-٢) حساب الشعاع الشمسي المباشر المؤثر

ويمكن حساب الشعاع الشمسي المؤثر بواسطة:

Peff.direct = P* Sin δ = P * Sin γ =P* Sin(90-Φ)=P*Cos Φ (1)

الإشعاع الشمسي المباشر المؤثر=Peff.direct =Effective direct solar radiation

الشعاع الشمسي المباشر = P=Direct solar radiation

الزوايا كما في الشكل= δ, γ, Φ =Angles

The angular position of the sun is estimated by: الموقع الزاوي للشمس

Є= 23.5 *Sin (d-83) (2)

عامل الإشعاع يصحح للوضع الزاوي للشمس بواسطة:

Sin δ=Sin Є* Sin Φ + Cos Є Cos Φ*Sin(15*(t-6)) (3)

موضع الميل الزاوي للشمس

Є=Declination angular position of the sun

الزمن المحلي= t= Local time

The angular position of sun in a year: الوضع الزاوي للشمس خلال سنة كما يأتي

٥-٣/ معادلة الإشعاع الشمسي

١ .درجة خطوط العرضn للمنطقة،اليوم d، الزمن t .

٢.الموقع الزاوي للشمس Є :

Є=23.5*Sin(d-83) (4)

٣.زاوية ارتفاع الشعاع الشمسي δ، معامل الانتشار Sin δ :

Sinδ=SinЄ *SinΦ +Cos Є CosΦ Sin(15 *(t-6)) (5)

٤.المتوسط الرئيسي لكثافة الإشعاع I عند زمن t :

I=1.35(Kwh)*Sinδ (6)

الغلاف الجوي في مناطق المصانع يكون ملوث والإشعاع الشمسي الواصل إلى الأرض يتأثر بها وهذا التأثير يحسب بواسطة العامل هاس(F) Haze factor وهو يتراوح بين ٠.٢ للسماء الصافية (Clear sky) إلى مالا نهاية .

The transmission factor T [٣٢]

T=e-1/SinЄ *F (7)

T=Transmission factor, F=Haze factor

١- الإشعاع المباشر على السطح الأفقي: The direct radiation on a horizontal area

Ieff.direct.horiz.=1350{w/m2}*e((-/SinЄ)*F)*(SinЄ*SinΦ +CosЄ*CosΦ*Sin(15*(t-6)) **(8)**

نماذج الخلايا الشمسية عموماً توضع بزاوية ميل n وتأثير هذا الميل يحسب كما يأتي:

Ieff.direct.inclenation=I* e((-I/SinЄ) *F) *(SinЄ* Sin(Φ-n) +CosЄ*Cos(Φ-n)* Sin(15*(t-6)) **(9)**

حيث: n= angle of inclination

الإشعاع المنتشر أو الإشعاع غير المباشر يحسب بواسطة ضرب الإشعاع المباشر بالعامل(1.4) .[35].

النسبة بين الإشعاع المباشر على السطح المائل والإشعاع الساقط على السطح الأفقي:(R)

R=(SinЄ*Sin(Φ-n)+CosЄ*Cos(Φ-n)*Sin(15*(t-6))/(SinЄ*SinΦ+CosЄ*CosΦ*Sin(15*(t-6) **(10)**

ومن خلال ذلك، الإشعاع الكوني المباشر على السطح المائل يحسب بواسطة:

Ieff.direct.inclenation=R* Ieff .global .horz (11)

٢- نموذج نظام الخلايا الشمسية: Photovoltaic (pv) system model : إنجاز الخلايا الشمسية عملياً يقاس ب $1000w/m^2$ وعند درجة حرارة للخلايا $25C^o$ وكتلة هواء 1.5(تركيب خفيف بعد مروره 1.5مره بالغلاف الجوي) والإنجاز تحت هذه الظروف السعي القصوى للخلية (PEAK CAPACITY)ووحداته هي الوات القصوى{W_P} (Watt peak). [34]

الجدول رقم (5-5) يعطي بعض مواصفات المقاييس التجارية لبعض النماذج الكبيرة للخلايا الشمسية[34].

جدول (٥-٤) بعض مواصفات أنواع الخلايا الشمسية

Producer	Type	Nominal power [W]	No. of cells	Height [mm]	Width [mm]	Spec. Costs [$/Wpeak]
Siemens	Pro4JF/75S	75	36	1200	527	6.45
BP Solar	BP275	75	36	1188	530	6.45
Shell	RSM 100	100	72	1328	710	6.45

القدرة {Kwh/day}وتقاس:power(P)

1- نموذج حساب الإشعاع الشمسي رقم (١): PV.System model المكافئ I` للإشعاع المباشر I عند 24 ساعة{W/m^2}

Equivalent I` of direct radiation I based on 24 h {w/m^2}:

I` = (**I***1000) /(30*24) (12)

Average Cell temperature, $T_{Cell}\{C^o\}$ متوسط درجة حرارة الخلية.

$T_{Cell}=T_u+(0.1*I)$ (13)

القيمة القصوى المنجزة P` اعتمادا على درجة الحرارة {Watt peak}{@1000w/m^2}

$$P`=p_{MODUL}*(1-0.004*(T_{cell}-25)$$

القيمة القصوى للإنجاز P`` مغطياً درجة حرارة الخلية{W}{١ @}{

Maximum module performance P`` regarding temperature

$$P^{``}=(P^{`}*\Gamma)/1000 \quad (14)$$

الطاقة القصوى المنفصلة P``` للنموذج أو للوح خلال ٢٤ ساعة{Kwh/day}

$$P^{```}=(P^{``}*24)/1000$$

النماذج أو الألواح المطلوبة للتثبيت N

$$N= P/ P^{```} \quad (15)$$

ولإيجاد الحسابات الخاصة بكمية الطاقة الشمسية الساقطة على المتر المربع
بمنطقة مصراتة باستخدام المنظومة 1. DESAL SOLAR VERSION [37]
تقع مدينة مصراتة خط عرض ٣٢.٣٧٨٣ وخط طول ١٥.٠٩٠٦ [30]
ويمكن التعويض بخط العرض Degree of latitudeللحصول على النتائج اللاحقة وإجراء المقارنات للحصول على أفضل قدرة ممكنة.

٢-نموذج حساب الإشعاع الشمسي رقم (٢) : [36]

الشعاع الشمسي الواصل بواسطة السطح الأفقي **G** يحسب بواسطة نموذج **ASHRAE(1981)** كما يأتي:

$$G =G_{bn}Cos\theta_z +G_d \quad (16)$$

حيث G_{bn} ، G_d **:** الحزم العمودي المباشر، والإشعاع المنتشر:على الترتيب. ولحساب قيم G_{bn} ، G_d يمكن استخدام الصيغ الآتية:

$$G_{bn} =A \exp(-B/Cos\theta_z) \quad (17)$$

$$G_d=C\ G_{bn} \quad (18)$$

حيث**A** =الشعاع الشمسي الظاهر عند كتلة هواء=0
The apparent solar irradiance at air mass = 0
وB=معامل الاندثار الجوي: The atmosphere extinction coefficient
وC =عامل انتشار الإشعاع: The diffuse radiation factor
وقيم A,B,C تتغير بتغير الفصول والحالة الجوية والجدول رقم(٨) يعطي قيماً لهذه لمتغيرات عند حالة السماء الصافية لكل ٢١ يوماً من كل شهر

جدول (٥-5) قيم الثوابت A,B,C للسماء الصافية حسب (ASHRAE 1981) [38]

Date	A (W/m^2)	B	C
Jan 21	1230	0.142	0.058
Feb 21	1214	0.144	0.060
Mar 21	1185	0.156	0.071
Apr 21	1135	0.180	0.097
May 21	1103	0.196	0.121
21 Jun	1088	0.205	0.134
Jul 21	1085	0.207	0.136
21 Aug	1107	0.201	0.122
Sep 21	1151	0.177	0.092
Oct 21	1192	0.160	0.073
Nov 21	1220	0.149	0.063
Dec 21	1233	0.142	0.057

ومن خلال التعويض بهذه القيم يمكن حساب الشعاع الشمسي لأي منطقة
وذلك بتغير في زاوية السمت **θ**

٣-نموذج رقم (٣) تقدير الإشعاع الشمسي على السطح المائل :

الإشعاع الساقط الواصل بواسطة السطح المائل عن طريق زاوية الميل يمكن حسابه عن طريق المعادلات الآتية:

$$G_t=G_{b.t}+G_{d.t}+G_{gr.t} \quad (19)$$

G_t=total irradiance received by a tilted surface مجموع الإشعاع الواصل للسطح المائل

$G_{b.t}$=beam irradiance received by a tilted surface الحزم الساقطة بواسطة السطح المائل
$G_{d.t}$= sky diffuse irradiance received by a tilted surface الشعاع السماوي المنتشر الواصل بواسطة السطح المائل

$G_{gr.t}$=global irradiance reflected the ground and received by a tilted surface

الشعاع الكوني المنعكس إلى الأرض الواصل إلى السطح المائل والإشعاع الكوني، وحزمة الإشعاع، والإشعاع المنتشر على السطح الأفقي يمكن استخدامها للنمزجة كل من $G_{b.t}$، $G_{d.t}$، $G_{gr.t}$ كما يأتي:قيمة $G_{b.t}$ يمكن تقديرها بواسطة العلاقة الآتية:

$$G_{b.t} = G_b * G_{b.t}/G_b = G_b * r_b \quad (20)$$

حيث r_b هي النسبة بين حزم الإشعاع الواصل بواسطة السطح المائل إلى تلك الإشعاع الواصل بواسطة السطح الأفقي ويمكن حساب قيمة r_b كما يأتي :

$$r_b = \cos\theta/\cos\theta_z \text{ ، if } 0^\circ < |\theta| < 90^\circ$$
$$= 0 \text{ ، if } |\theta| > 90^\circ \quad (21)$$

أما الحد $G_{gr.t}$ فيمكن نمزجته كما يلي:

$$G_{gr.t} = \frac{(\rho_{gr} G)(1-\cos S)}{2} = \rho_{gr} G \sin^2(S/2) \quad (22)$$

where, ρ_{gr}= The ground reflectivity الانعكاسية الأرضية
$(1-\cos S)/2$= Shape factor between the tilted Surface and the ground
معامل الشكل بين السطح المائل والأرض وهو بين 0.2- 0.7
حسب اقتراح Liu and Jordan(1960)

وأيضاً الحد $G_{d.t}$ يمكن نمزجته كما في المعادلة الآتية:

$$G_{d.t} = G_d * G_{d.t}/G_d \quad (23)$$

ومن خلال الدراسات السابقة نجد أن $G_{d.t}/G_d$ وهو معامل الشكل بين السطح المائل والسماء أي أن:

$$G_{d.t}/G_d = (1+\cos S)/2 = \cos^2(S/2) \quad (24)$$

ومن خلال معادلة Klucher(1979) نجد أن :

$$G_{d.t}/G_d = (G_d/G)\cos^2(S/2)[1+F\sin^3(s/2)][1+F\cos^2\theta \sin^3\theta_z] \quad (25)$$

حيث :

$$F = 1 - (G_d/G)^2 \quad (26)$$

في الحالات القصوى لحالات الطقس الجوي أي : $(G_d/G)=1, (F=0)$
والمعادلة تصبح:

$$G_t/G = (1-G_d/G)r_b + G_d/G\cos^2(S/2) + \rho_{gr}\sin^2(s/2) \quad (27)$$

نموذج الإشعاع الكوني السماوي يصبح:

$$G_t/G = (1-G_d/G)r_b + G_d/G\cos^2(S/2)[1+F\sin^3(s/2)][1+F\cos^2\theta\sin^3\theta_z] + \rho_{gr}\sin^2(s/2) \quad (28)$$

فمعدل الإشعاع الواصل لكل ساعة بالسطح المائل يمكن الحصول عليه بواسطة تكامل المعادلة رقم (19) لفترة ساعة واحدة بين t_1 و t_2 :

$$\int_{t1} G_t = \int_{t1} G_{b.t}dt + \int_{t1} G_{d.t}dt + \int_{t1} G_{gr.t}dt \quad (29)$$

وبفرض أن التغير يكون بشكل خطي لكل المتغيرات على طول الساعة الواحدة فسوف تكون قيم المتغيرات عند منتصف الساعة تماما هي قيم القيم المتوسطة المستعملة على طول الفترة الزمنية لساعة كاملة
وفي هذه الحالة تصبح المعادلة السابقةكما يلي:

$$I_t/I = (1- I_d/I)R_b + \rho_{gr}\sin^2(s/2) + I_d/I\cos^2(S/2) \quad (30)$$

وأيضا يمكن استخدام نموذج الإشعاع الكوني فتصبح المعادلة رقم(٢٩):

$$I_t/I = (1- I_d/I)R_b + \rho_{gr}\sin^2(s/2) + I_d/I\cos^2(S/2)[1+F_1\sin^3(S/2)][1+F_1\cos^2\theta\sin^3\theta_z] \quad (31)$$

حيث I الإشعاع الساعي و F_1 تعطى كما يلي:

$$F_1 = 1-(I_d/I)^2 \quad (32)$$

النسبة بين حزم الإشعاع الساقط لكل ساعة على السطح المائل إلى دلك الساقط على السطح الأفقيR_b تقدر بآلاتي:

$$R_b=[(\omega_{t2}-\omega_{t1})/(\omega_{h2}-\omega_{h1})][Cos\theta/Cos\theta_z] \quad (33)$$

حيث θ هي زاوية السقوط على السطح المائل عند نقطة المنتصف بين ω_{t1} وω_{t2} أما θ_z فهي زاوية الزنت المحصورة بينω_{h1}وω_{h2}

حيث :

$$\omega_{t1}=\mathbf{max}\ (\omega_1, \omega_{srt})$$
$$\omega_{t2}=\min\ (\omega_2, \omega_{sst}) \quad (34)$$
$$\omega_{h1}=\max\ (\omega_1, \omega_{sr})$$
$$\omega_{h2}=\min\ (\omega_2, \omega_{ss})$$

حيث الرموز (ω_1, ω_2) يشير إلى زوايا الساعة عند بداية ونهاية فترة ساعة واحدة، أماω_{srt} فهو زاوية ساعة ارتفاع الشمس بنسبة للسطح المائل، وω_{sst} فهي زاوية ساعة غروب الشمس بالنسبة للسطح المائل

والمعادلة التي تجمع بين(ω_{srt}، ω_{sst}) هي معادلة Bushnell (1982) وهي كما يأتي

$$\acute{\omega}_{srt}=-\arccos(-a/D)+\arcsin(c/D)$$
$$\acute{\omega}_{sst}=\arccos(-a/D)+\arcsin(c/D) \quad (35)$$

with,

$$\omega_{srt}=\max(\omega_{sr}, \acute{\omega}_{srt})\ ،\ \omega_{sst}=\min(\omega_{ss}\ ،\ \acute{\omega}_{sst})$$

and

$$|a/D|\leq 1 \quad \text{and} \quad |C/D|\leq 1$$

حيث

$$a=Sin\delta(Sin\Phi\ *Cos\ S-Cos\Phi Sin\ S\ *Cos\gamma)$$
$$b=Cos\delta(Cos\Phi*Cos\ S+Sin\Phi*Sin\ S*Cos\gamma) \quad (36)$$
$$C=Cos\delta*Sin\ S*Sin\gamma$$
$$D=(b^2+C^2)^{1/2}$$

إذن لا يوجد شروق أو غروب لو كان $|a/D|$ أو$|C/D| > 1$عندما$S=$ 0،

والمعادلة لكل من (ω_{srt}،ω_{sst}) تصبح مختزلة إلى(ω_{sr}، ω_{ss}`) على التوالي.

الشعاع الشمسي اليومي الواصل بواسطة السطح المائل يعطى كما يلي

$$H_t=t_{sr}\int(\mathbf{G_{b.t}+G_{d.t}+G_{gr.t}})\,dt \quad (37)$$

حيث أن (t_{sr}،t_{ss}) هي أوقات الشروق والغروب بنسبة للسطح الأفقي

معادلة الإشعاع الشمسي الكوني في جميع الاتجاهات السابقة تصبح:

$$\hat{H}_t/\hat{H}=(1-\hat{H}_d/\hat{H})\check{R}_b+\boldsymbol{\rho_{gr}Sin^2(s/2)}+\hat{H}_d/\hat{H}\ \mathbf{Cos^2(S/2)} \quad (38)$$

وحيث أن $\check{R}_b$ هي النسبة بين متوسط الإشعاع اليومي لشهر الواصل بواسطة السطح المائل إلى دلك الواصل بواسطة السطح الأفقي

وهذه المعادلة هي معادلة(Klein 1977)

$$\check{R}_b=R_1/R_2 \quad (39)$$

$$R_1=(Cos\ S*Sin\delta*Sin\ \Phi)(\omega_{sst}-\omega_{srt})(\pi/180)-$$
$$(\ Sin\ \delta\ *Cos\Phi*Sin\ S*\ Cos\ \gamma)(\ \omega_{sst}-\omega_{srt})\ (\pi/180)+$$
$$(\ Cos\Phi Cos\delta Cos\ S)(\ Sin\omega_{sst}-Sin\omega_{srt})+$$
$$(Cos\delta Cos\gamma Sin\Phi Sin\ S)(\ Sin\omega_{sst}-Sin\omega_{srt})-$$
$$(\ Cos\delta Sin\ S\ Sin\gamma)(\ Cos\omega_{sst}-Cos\omega_{srt}) \quad (40)$$

$$R_2=2(Cos\delta Cos\Phi Sin\omega_{ss}+(\pi/180)\ \omega_{ss}\ Sin\Phi Sin\delta) \quad (41)$$

حيث γ هي زاوية السمت للسطح (azimuth angle)[38] .

الفصل السادس

تطبيق الحسابات على منطقة مصراتة

١.٦ حساب معدل الاستهلاك

لحساب كمية الكهرباء المطلوبة لأسرة مكونة من متوسط عدد أفراد الأسر المقيمة بمنطقة مصراتة من واقع السجلات بمنطقة مصراتة (من الجدول رقم (٥-٢)) متوسط عدد أفراد الأسرة لسنة ٢٠٠٦م يساوى ٥.٣

معدل استهلاك الكهرباء للفرد الواحد بمنطقة مصراتة لسنة 2007م هو (3731 kw/h) أي أن: معدل استهلاك سنة كاملة لأسرة واحدة بمنطقة مصراتة عدد أفرادها هو 5.3 شخص هو

معدل الاستهلاك الأسرة بمنطقة مصراتة من الكهرباء للشهر الواحد هو =19774.3/12 = 1647.86 kw/h =5.3*3731=19774.3kw/h

معدل الاستهلاك الأسرة بمنطقة مصراتة من الكهرباء ليوم واحد = 19774.3/365= 55kw/h

من المعلوم أن الطاقة الشمسية لا تتوفر في الليل وتتناقص في حالات تكون السماء فيها ملبدة بالغيوم لدلك يجب القيام بالتخزين بإحدى طرق التخزين للطاقة الكهربائية وهي:

١. التخزين بواسطة البطاريات السائلة ويستخدم في المناطق النائية والمحطات المنفصلة

٢. التخزين بواسطة الشبكة الرئيسية للكهرباء ودلك عن طريق إضافة الفائض من توليد الكهرباء بواسطة الخلايا الشمسية في ساعات الذروة

٣.التخزين بواسطة الهيدروجين ودلك باستخدام الكهرباء الناتجة من الخلايا الشمسية في ساعة الذروة في تحليل المياه النقية لفصل الهيدروجين والأكسجين واستخدام الهيدروجين مرة أخرى في توليد لكهرباء في حالة انعدام الإشعاع الشمسي،وعيوب هذه الطريقة أن العملية تتم عن طريق الكتروليزر Electrolyzer فتفقد % 30-10 من الطاقة في هذه المرحلة أي مرحلة التحليل والباقي يتحول إلى هيدروجين كحامل للهيدروجين، أما خلايا الوقود فكفاءتها % 60 من الطاقة المستخدمة، لدلك فإن الفاقد في الطاقة هو تقريباً النصف بحيث أن تخزين طاقة بقدرة 2kwh، فإن الطاقة الناتجة في نهاية عملية التخزين بواسطة الهيدروجين هي فقط1kwh [37]

.للحصول على الكمية الكافية من الكهرباء سنقوم بتصميم منظومة لحساب الكمية الكافية .من خلال منظومة Desal solar, version 1. فإن القدرة المحسوبة على أساس المتر المربع الواحد .وبما أن خلايا الشمسية ذات كفاءة محدودة 20%-10 من القدرة الساقطة بنسبة لمساحة الألواح لو افترضنا مساحة اللوح الشمسي هي" A" وكفاءة اللوح هي η وهي تتراوح بين25%-10 وهي قيد التطوير والزيادة نتيجة للبحوث الكثيرة والاهتمام العالمي بهذه العلومل القدرة المطلوبةP_{output} من الألواح الشمسية لتغذية منزل لآسرة مكونة من 5.3 = القدرة المستخدمة مباشرة من الخلايا + القدرة الفعلية للبطاريات

- سنقوم بفرض أن (السطوع الشمسي الفعلي% من الطاقة الناتجة تستخدم بشكل مباشر و البقية تخزن في البطاريات لاستخدامها في الليل (انعدام الإشعاع الشمسي)
- إذن القدرة الكلية المحصل عليها من اللوح الشمسي هي P_{output} (42) $P_{output}=\eta_{modoul}*A_{mod.}*P_{o.p/m^2}$

P_{outpu}= القدرة المطلوبة ويمكن فرضها حسب المطلوب

A_{mod}=مساحة اللوح وهو متغير حسب القدرة المطلوبة (تعتمد القدرة الخارجية على المساحة الكلية للألواح وهي متغيرة حسب القدرة المطلوبة)

η_{modoul} =الكفاءة للألواح وهي متغيرة حسب نوع اللوح ومصدر تصنيعه

٢.٧ حساب كمية التخزين

المحلل Electrolyzer: فسنقترحه Alkaline Bipolar Electrolyzer ذو قدرة X kw وبكفاءة ٨٠% ليتم فصل الماء إلى هيدروجين وأكسجين " التفاعل يحتاج إلى 39 kwh من الكهرباء لإنتاج 1Kg من الهيدروجين عند درجة حرارة 25 Cº، و1 ضغط جوي وسنأخذ بالفرض أن الناتج من دورة التخزين بواسطة الهيدروجين هو النصف أي أنة 2 kw من القدرة تعطي فقط 1Kw من القدرة الخارجة [38].

* من خلال الفرضيات السابقة يتضح أن معدل استهلاك الأسرة اليومي هو 55 kwh/day خلال 24 h، ومن خلال الجداول لعدد ساعات الإشعاع الشمسي المرصودة من مركز الأرصاد الجوية مصراتة يمكن معرفة عدد ساعات الإشعاع الشمسي لكل يوم من أيام السنة ومنها يمكن حساب نسبة الساعات المضيئة إلى ساعات باقي اليوم(باعتبار أن الكهرباء المولدة هي تغدي تماما الاحتياج الفعلي اليومي للأسرة وهو ٥٥ Kwh/day فمثلاً في يوم ١.١. ٢٠٠٥م كان عد الساعات سطوع الشمس هو ٣.٦ ساعة فيكون فيها عدد الساعات التي يلزم فيها استخدام التخزين هو ٢٤-٣.٦=٢١.٤ساعة أي أننا نحصل من الكهرباء مباشرة على (٢٤/٣.٦) *٥٥ = ٨.٢٥ Kwh من الإشعاع الشمسي المباشر والباقي هو ٥٥-٨.٢٥=٤٦.٧٥ Kwh/day يجب توفيرها بواسطة التخزين بالهيدروجين وفي يوم ٢١. ٦. ٢٠٠٥م كان عدد ساعات السطوع الشمسي هو ١٣.٤ ساعة ويكون عدد الساعات التي يلزم فيها استخدام التخزين ٢٤-١٣.٤=١٠.٦ ساعة أي أننا نحصل من الكهرباء مباشرة على ٢٤/١٣.٤ *٥٥ =٣٠.٧ Kwh/day وبفرض أن A هو عدد ساعات السطوع الشمسي اليومي أي الاستخدام المباشر والباقي يجب أن يستخدم منظومة الهيدروجين لذلك يجب إضافة الفاقد في الطاقة الكهربية نتيجة الفاقد في الكفاءة القدرة المطلوبة مباشرة من الإشعاع المباشر للشمس لتوفير استهلاك إ سرة =A **À**=٥٥* ٢٤/

القدرة المطلوبة عند انعدام الإشعاع الشمسي =٥٥-**À** =**B** وحيث أن الفاقد في المحلل وخلايا الوقود في الوقت الحاضر هو الضعف أي أن القدرة المطلوبة لتلبية المطلوب عند انعدام الإشعاع الشمسي=2 * **B** أي أن القدرة الكلية المطلوبة

=F * **((B** * 2)+ **À)** (43)

حيث F =الفاقد في الدائرة

إذن القدرة الكلية المحصل عليها من اللوح الشمسي هي P_{output}

$$P_{output}=\eta_{modoul}*A_{mod}*P_{o.p/m^2} \quad (42)$$

P_{outpu}= القدرة المطلوبة ويمكن فرضها حسب المطلوب

A_{mod}=مساحة اللوح وهو متغير حسب القدرة المطلوبة(تعتمد القدرة الخارجية على المساحة الكلية للألواح وهي متغيرة حسب القدرة المطلوبة)

η_{modoul} =الكفاءة للألواح وهي متغيرة حسب نوع اللوح ومصدر تصنيعه

- F **À B** * 2 إذن القدرة الكلية المحصل عليها من اللوح الشمسي هي P_{output}

٣.٦ تطبيق الحسابات :

سنقوم بأخذ عينات لأيام معينة من السنة :

نبدأ بيوم ١.١ :

الكمية المستخدمة مباشرة من خلال ساعات السطوع الشمسي=٨.٢٥ Kwh

الاحتياج الناتج من التخزين من منظومة الهيدروجين=٤٦.٧٥*٢= ٩٣.٥ Kwh

إذن، الاحتياج الكامل من الكهرباء ليوم ١.١من السنة=١٠١.٧٥ Kwh

P_{outpu}= القدرة الكلية المحصل عليها من اللوح الشمسي ليوم ١.١

وتساوي في هذه الحالة= ١٠١.٧٥Kwh

$P_{o.p/m^2}$= المحسوبة بواسطة المنظومة السابقة القدرة الشمسية الساقطة على المتر المربع في يوم١.١ (من المنظومة السابقة)=٢.٩٧ kwh/m^2

η_{modoul}=كفاءة الألواح وهي متغيرة من ١٠-٢٥ %(نبدأ ١٠ %)

A_{mod} =مساحة الألواح الكافية لتوليد الكمية المطلوبة(ويتم حسابها)

$P_{output}=\eta_{modoul} * A_{mod.} * P_{o.p/m^2}$: ومن المعادلة (42)

عند كفاءة ١٠% : $101.75 = 0.1 * A_{mod} * 2.97$ ومنها

$A_{mod} = 101.75 / 0.1*2.97 = 342.6\ m^2$

عند كفاءة ٢٥% : $101.75 = 0.25 * A_{mod} * 2.97$

$A_{mod} = 137\ m^2$

وفي يوم ٢١. ٦. ٢٠٠٥م كان عدد ساعات السطوع الشمسي هو ١٣.٤ ساعة ويكون عدد الساعات التي يلزم فيها استخدام التخزين ٢٤-١٣.٤=١٠.٦ ساعة أي أننا نحصل من الكهرباء مباشرة على

٢٤/١٣.٤ *٥٥= ٣٠.٧ k wh/day

القدرة الأزمة من خلال التخزين باستخدام الهيدروجين=(٥٥-٣٠.٧)*٢=٤٨.٦ k wh

القدرة الكلية المطلوبة = ٣٠.٧+٤٨.٦= ٧٩.٣ k wh

$P_{o.p/m^2}$= المحسوبة بواسطة المنظومة السابقة القدرة الشمسية الساقطة على المتر المربع في يوم٢١-٦ (من المنظومة السابقة)=٥.٣٥ k wh/m

η_{modoul}=كفاءة الألواح وهي متغيرة من ١٠-٢٥ %

A_{mod} =مساحة الألواح الكافية لتوليد الكمية المطلوبة(ويتم حسابها)

$P_{output} = \eta_{modoul} * A_{mod.} * P_{o.p/m^2}$: ومن المعادلة(٤٢)

عند كفاءة ١٠% : ٧٩.٣ومنها = ٠.١ * ٥.٣٥ * A_{mod}

A_{mod} =١٤٨ m^2

عند كفاءة ٢٥%

A_{mod} = ٥٩.٣ M^2

٤.٦ استخدام البطاريات بكفاءة ٨٠% :

نبدأ بيوم ١.١ :

الكمية المستخدمة مباشرة من خلال ساعات السطوع الشمسي=٨.٢٥ Kwh

الاحتياج الناتج من التخزين باستخدام البطاريات=٨.٧٥٠.٤٦/=٥٨.٥ Kwh

إذن، الاحتياج الكامل من الكهرباء ليوم ١.١من السنة=٨.٢٥ + ٥٨.٥=٦٦.٧Kwh

P_{outpu} = القدرة الكلية المحصل عليها من اللوح الشمسي ليوم ١.١ وتساوي في هذه الحالة= ٦٦.٧Kwh

$P_{o.p/m}$²= المحسوبة بواسطة المنظومة السابقة القدرة الشمسية الساقطة على المتر المربع في يوم١.١ (من المنظومة السابقة)=٢.٩٧ Kwh/m

η_{modoul}=كفاءة الألواح وهي متغيرة من ١٠-٢٥ %(نبدأ ١٠ %)

A_{mod} =مساحة الألواح الكافية لتوليد الكمية المطلوبة(ويتم حسابها)

ومن المعادلة(٤٢) : $P_{output} = \eta_{modoul} * A_{mod.} * P_{o.p/m}$²

عند كفاءة ١٠% : A_{mod} *٢.٩٧ = ٠.١ * ٦٦.٧ ومنها

A_{mod} = ٢.٩٧*٠.١/٦٦.٧ = ٢٢٤.٥ m²

عند كفاءة ٢٥% : A_{mod} *٢.٩٧ = ٠.٢٥ * ٦٦.٧

A_{mod} =٨٩.٩ m²

يوم ٢١-٦ :

الكمية المستخدمة مباشرة من خلال ساعات السطوع الشمسي =٢٤/١٣.٤ * ٥٥= ٣٠.٧Kwh

الكمية المستخدمة من التخزين البطاريات =٥٥-٣٠.٧=٠.٨/٢٤.٣= ٣٠.٤ Kwh

الكمية الكلية المطلوبة=٣٠.٧+٣٠.٤=٦١.١ Kwh

P_{outpu} = القدرة الكلية المحصل عليها من اللوح الشمسي ليوم ٢١-٦

وتساوي في هذه الحالة= ٦١.١ Kwh

$P_{o.p/m}$= المحسوبة بواسطة المنظومة السابقة القدرة الشمسية الساقطة على المتر المربع في يوم٢١-٦ (من المنظومة السابقة)=٥.٣٥ Kwh/m

η_{modoul}= كفاءة الألواح وهي متغيرة من ١٠-٢٥ % (نبدأ ١٠ %)

A_{mod} = مساحة الألواح الكافية لتوليد الكمية المطلوبة (ويتم حسابها)

ومن المعادلة(٤٢): $P_{output} = \eta_{modoul} * A_{mod} * P_{o.p/m}2$

عند كفاءة ١٠% : A_{mod}* ٥.٣٥ = ٠.١ * ٦١.١ومنها

A_{mod}=٥.٣٥*٠.١/٦١.١= ١١٤.٢ m²

عند كفاءة ٢٥% :

A_{mod}* ٥.٣٥ * ٠.٢٥ = ٦١.١ومنها :

A_{mod}=٥.٣٥*٠.٢٥/٦١.١= ٤٥.٧ m²

للحصول على القيمة المتوسطة للإشعاع الشمسي خلال السنة سنقوم بحساب أقل ٣٠ يوما من ناحية الإشعاع (أي ساعات السطوع الشمسي)، وأكبر ٣٠ يوما من ناحية الإشعاع الشمسي في السنة ثم حساب المتوسط

ملاحظة:

قيمة الاستهلاك اليومي للأسرة هو ٥٥Kwh وهي شاملة لتسخين المياه والتدفئة والتكييف وهي تستهلك القدر الأكبر من الطاقة وللاستفادة المثلى من الطاقة الشمسية يمكن استخدام التأثير الحراري للإشعاع الشمسي في تسخين المياه عن طريق السخان الشمسي واستخدام التدفئة المركزية عن طريق التسخين المباشر للمياه.

٥.٦ استخدام المنظومة الإضافية:

للحصول على نتائج سريعة يمكن استخدام منظومة EXCEL كما يأتي:المعادلة الرئيسية :

AREA 'A =(POWER)/(Efficiency' η'* POWER/m^2)

$C_5=C_2/(C_3*C_4)$

عند الصف الثاني، العمود C ، D (POWER =)

عند الصف الثالث، العمود C، D (=POWER/m^2)

عند الصف الرابع ، العمود C ، D (=Efficiency' η')

عند الصف الخامس، العمود C ، D (=AREA 'A)

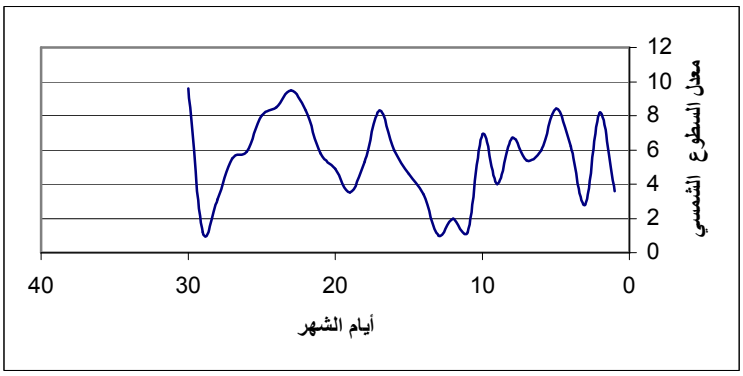
كما هو موضح في المثال الأتي :

power =	**1**
power/m2 =	**5**
Efficiency =	**2**
Area =	**0.100**

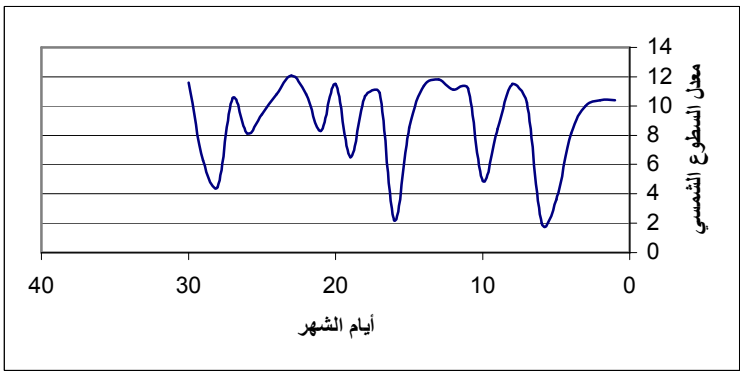
وبواسطة هذه المنظومة يمكن بسرعة كبيرة إيجاد النتائج

الفصل السابع
النتائج والمقارنات

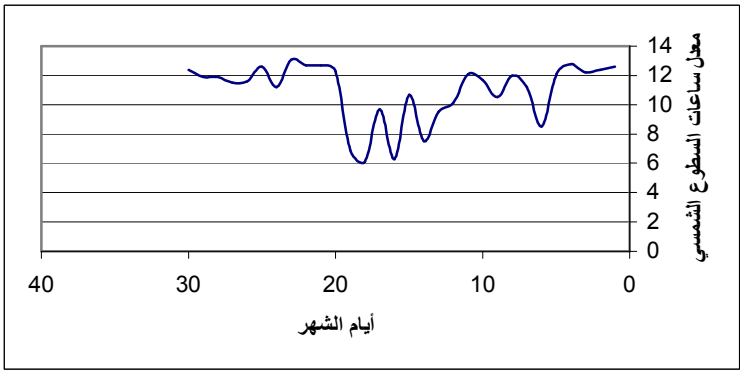
٧-١.مقارنات بين معدل ساعات السطوع الشمسي وأيام أشهر السنة:



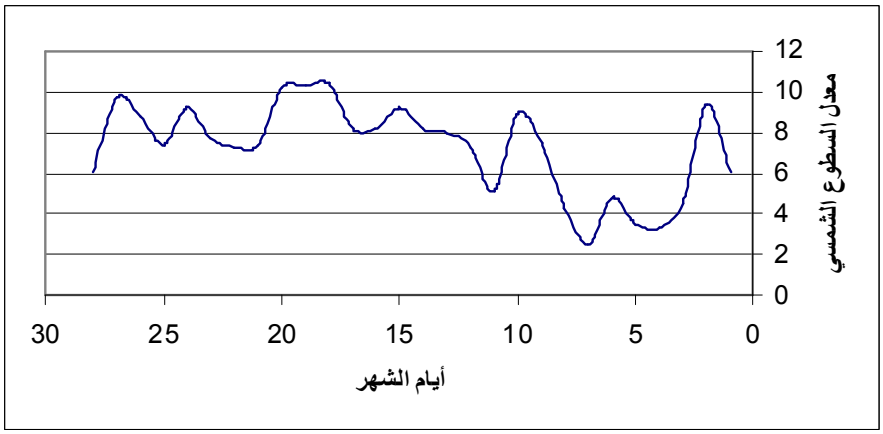
شكل(٧-١) مقارنة معدل ساعات السطوع الشمسي خلال شهر يناير



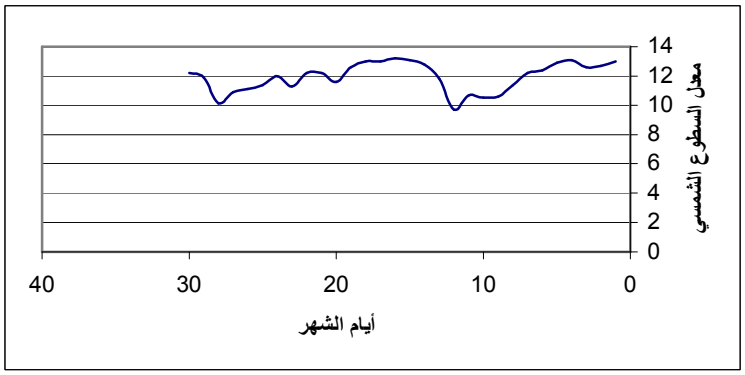
شكل(٧-٢) مقارنة معدل ساعات السطوع الشمسي خلال شهر فبراير



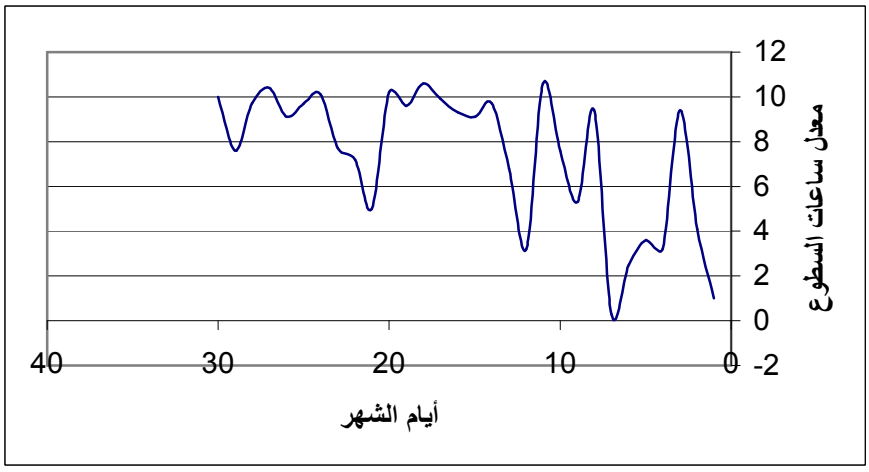
شكل(٧-٣) مقارنة معدل ساعات السطوع الشمسي خلال شهر مارس



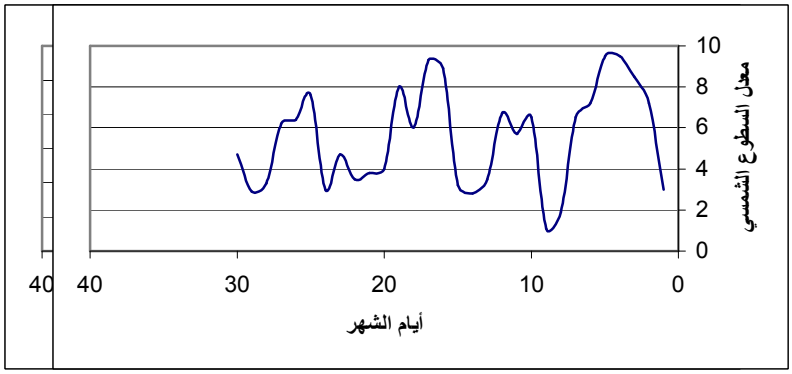
شكل(٧-٤) مقارنة معدل ساعات السطوع الشمسي خلال شهرأبريل



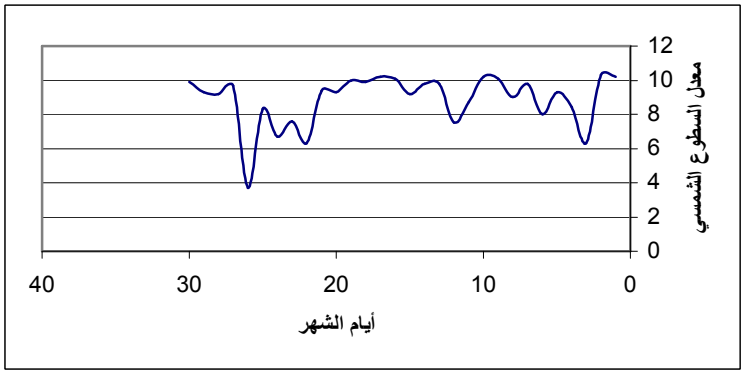
شكل(٧-٥) مقارنة معدل ساعات السطوع الشمسي خلال شهر مايو



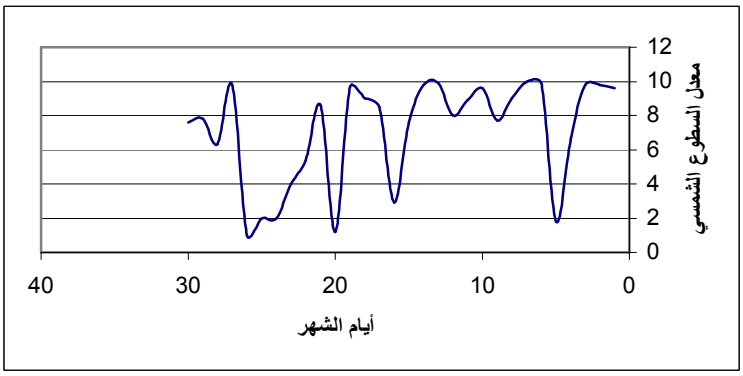
شكل(٧-٦) مقارنة معدل ساعات السطوع الشمسي خلال شهر يونيو



شكل(٧-٧) مقارنة معدل ساعات السطوع الشمسي خلال شهر يوليو

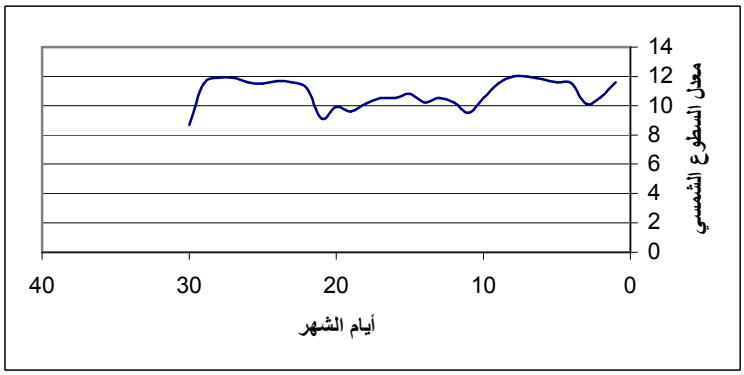


شكل(٧-٨) مقارنة معدل ساعات السطوع الشمسي خلال شهر أغسطس

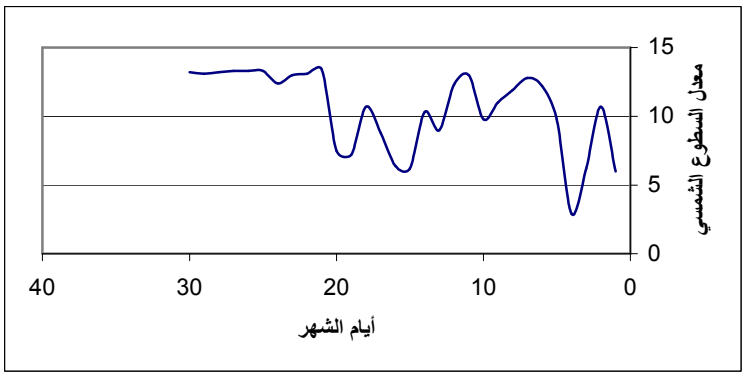


شكل(٧-٩) مقارنة معدل ساعات السطوع الشمسي خلال شهر سبتمبر

شكل(٧-١٠)مقارنة معدل ساعات السطوع الشمسي خلال شهر أكتوبر

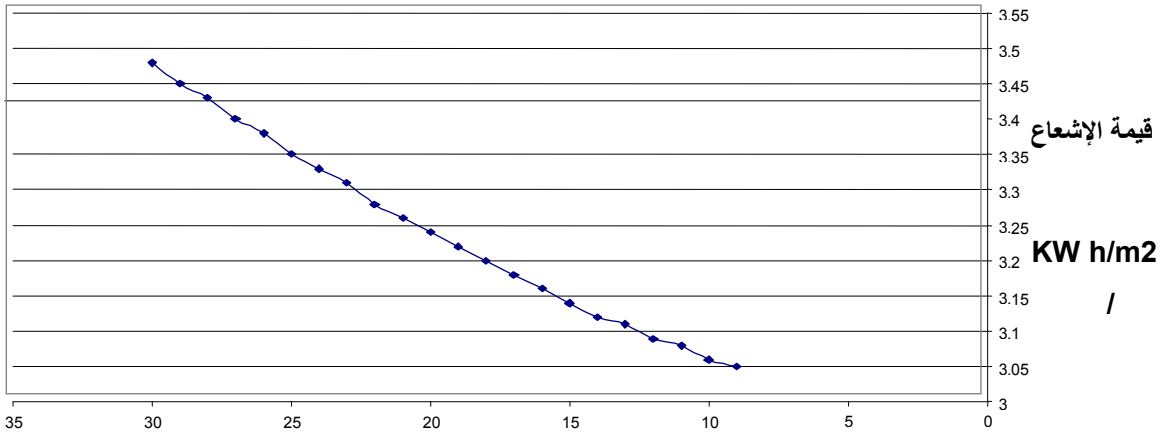


شكل(٧-١١) مقارنة معدل ساعات السطوع الشمسي خلال شهر نوفمبر

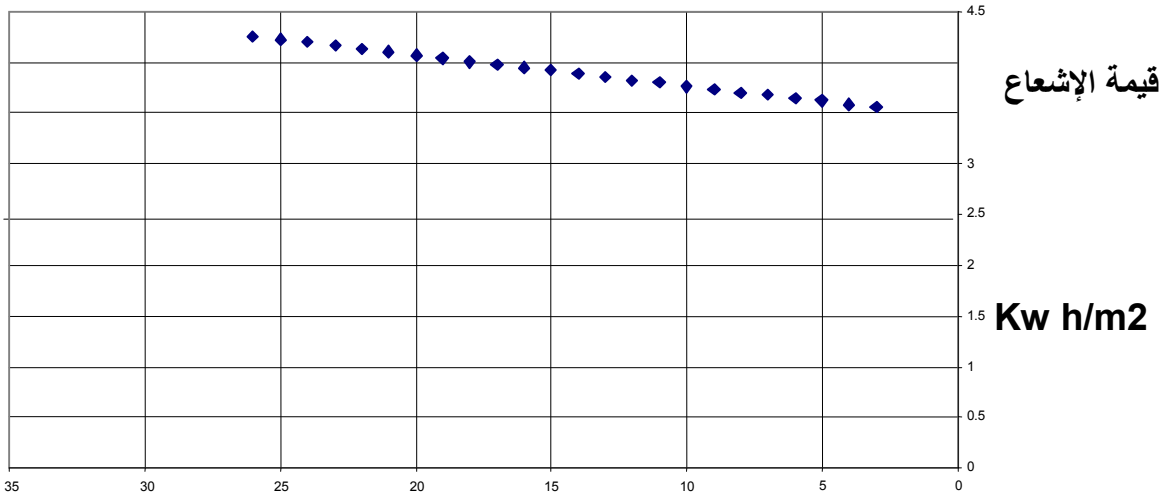


شكل(٧-١٢) مقارنة معدل ساعات السطوع الشمسي خلال شهر ديسمبر

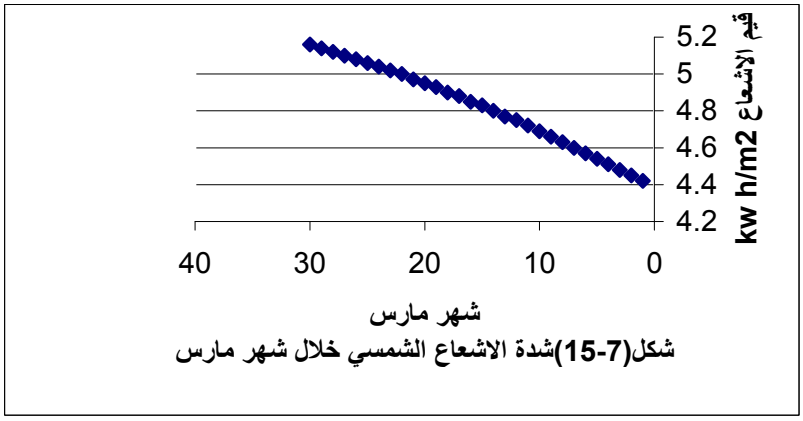
١.٧ مقارنات بين شدة الإشعاعKWH/m2 وأيام أشهر السنة:



شكل (٦-١٣)شدة الإشعاع الشمسي خلال شهر يناير ي

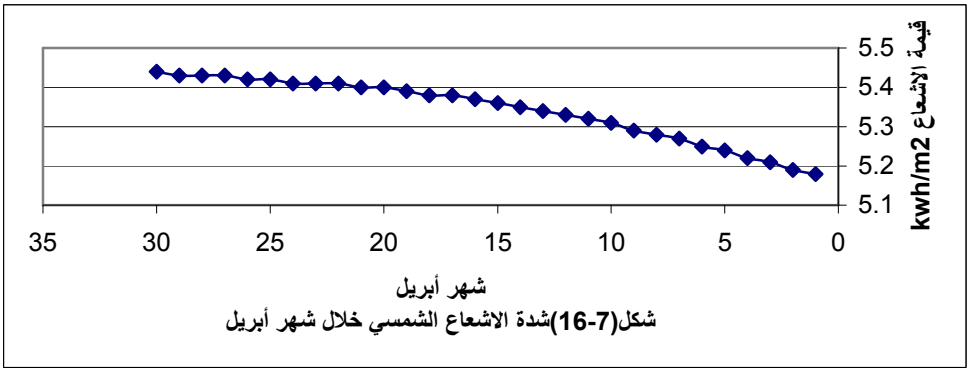


شكل(٧-١٤) شدة الإشعاع خلال شهر فبرا



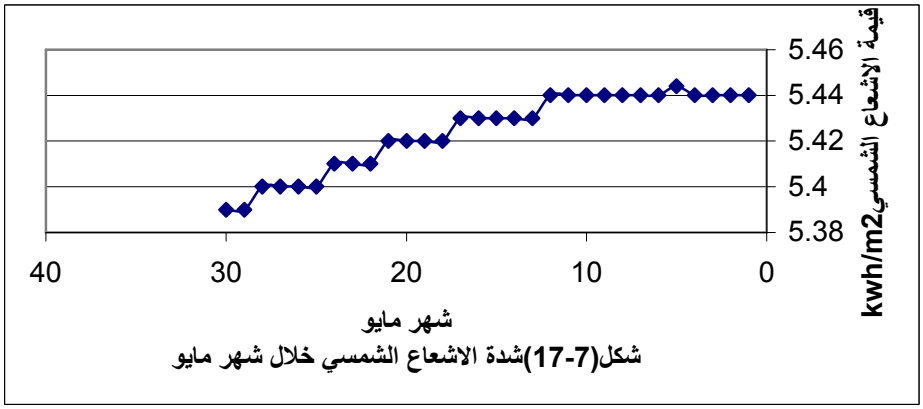
شهر مارس

شكل(7-15)شدة الاشعاع الشمسي خلال شهر مارس



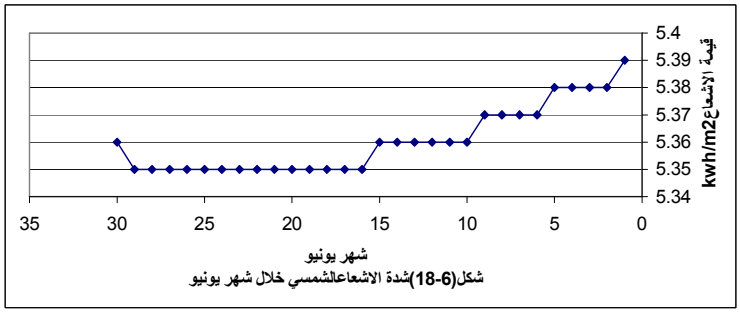
شهر أبريل

شكل(7-16)شدة الاشعاع الشمسي خلال شهر أبريل



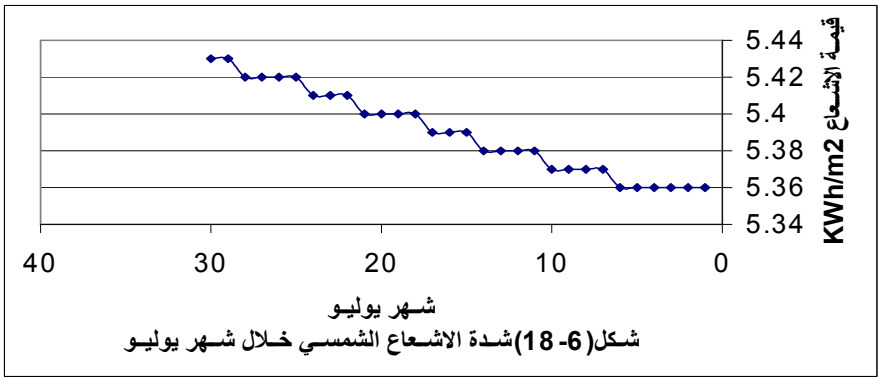
شهر مايو

شكل(7-17)شدة الاشعاع الشمسي خلال شهر مايو

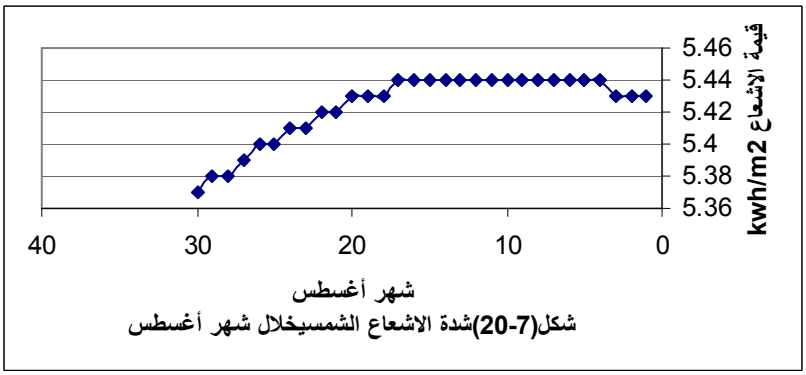


شهر يونيو

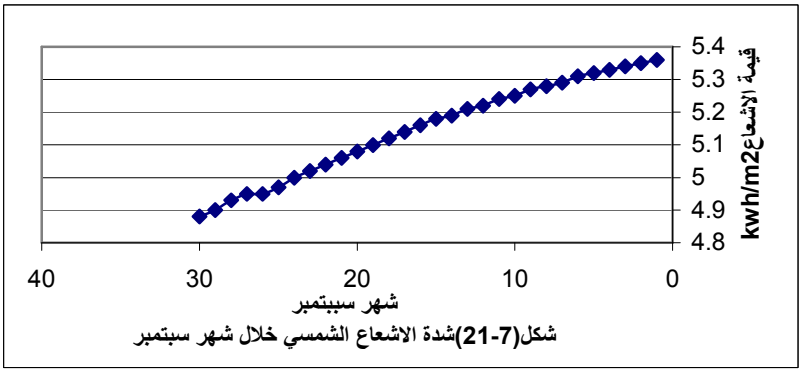
شكل(6-18)شدة الاشعاعالشمسي خلال شهر يونيو



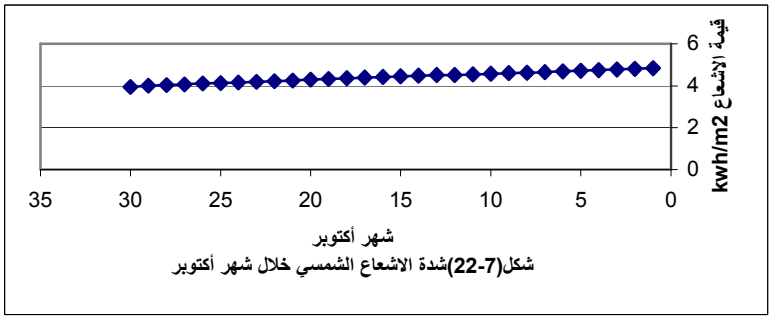
شكل(6-18)شدة الاشعاع الشمسي خلال شهر يوليو



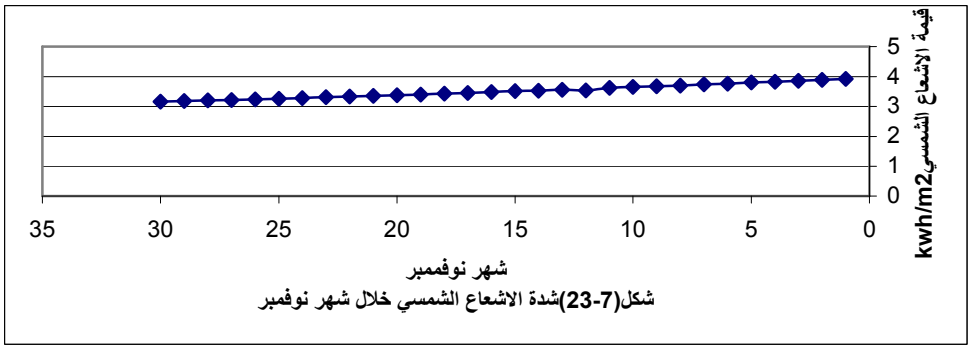
شكل(7-20)شدة الاشعاع الشمسيخلال شهر أغسطس



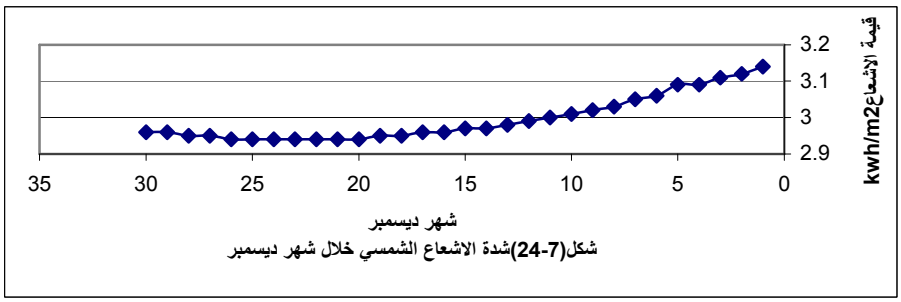
شكل(7-21)شدة الاشعاع الشمسي خلال شهر سبتمبر



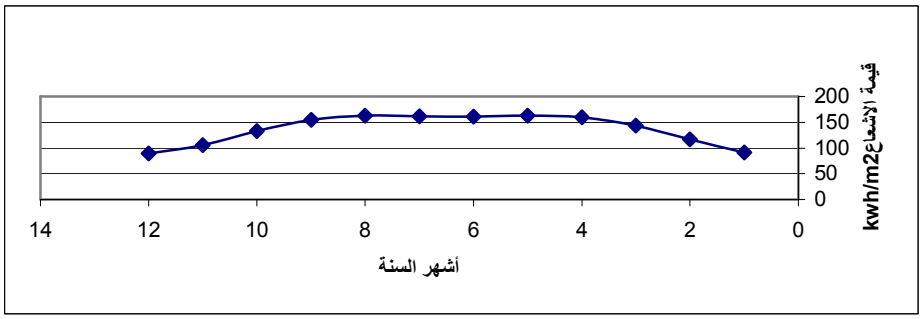
شكل(7-22)شدة الاشعاع الشمسي خلال شهر أكتوبر



شكل(7-23)شدة الاشعاع الشمسي خلال شهر نوفمبر



شكل(7-24)شدة الاشعاع الشمسي خلال شهر ديسمبر



شكل(٧-٢٦) مقارنة لقيمة شدة الإشعاع الشمسي خلال أشهر السنة (السماء زرقاء)

الفصل الثامن

الاستنتاجات والتوصيات

٨-١/ الاستنتاجات

١- إرتفاع معدل ساعات السطوع الشمسي بمنطقة مصراتة مما يشجع على استخدام الطاقة الشمسية.

٢- يمكن استخدام الطاقة الشمسية بشكل مباشر من خلال التطبيقات الحرارية المباشرة كالتدفئة والسخانات المنزلية وبشكل غير مباشر من خلال الخلايا الشمسية معا في منظومة متكاملة.

٣- الطاقة الشمسية مناسبة جدا للاستخدام في المناطق النائية.

٤- تقنية استخدام الهيدروجين لها مستقبل واعد نظرا لمميزاته وللبحوث المستمرة في مجال الطاقة للحصول على أفضل كفاءة وأقل سعرا.

٥- خلايا الوقود تعتبر حلا لمشكلة تخزين الطاقة الشمسية ويمكن استخدامها لفترات طويلة وهي لا تتأثر بكمية الكهرباء المسحوبة منها كما في بطاريات التخزين العادية.

٦- تقنية استخدام الهيدروجين كحامل للطاقة تعتبر نظيفة بيئيا ولا يتخلف عنها مضار لصحة الإنسان وبيئته.

٧- يمكن الحصول على الهيدروجين من مصادر الطاقة المتجددة المختلفة كالرياح والطاقة الشمسية وطاقة المياه.

٨- تقنية خلايا الوقود يمكن استخدامها في توليد الكهرباء مباشرة أو في إدارة المركبات التي تتزود بوقود الهيدروجين .

٩- يمكن تطبيق المنظومة المصممة في مناطق مختلفة بعد إعادة المعطيات.

١٠- يمكن إقامة محطات كبيرة لتغذية قرى أو مدن بواسطة تقنية التخزين بواسطة الهيدروجين.

٨-٢/ التوصيات

١- إستخدام منظومات الطاقة الشمسية يجب أن تشمل الاستخدام المباشر عن طريق السخانات الشمسية المستخدمة في تسخين المياه لغرض التدفئة والاستخدامات المنزلية المختلفة إضافة إلى الاستخدام الغير مباشر للحصول على الكهرباء من الخلايا الشمسية واستخدام الهيدروجين للتخزين .

٢- عند تنفيذ منظومات الهيدروجين في تخزين الطاقة الشمسية يجب أخذ احتياطات الأمان نظرا لخطورة التعامل مع هذا الغاز.

٣- من أفضل استخدامات المنظومة يكون في المناطق النائية نظرا لتكامل أجزاء المنظومة من حيث توليد الكهرباء بواسطة الخلايا الشمسية والحصول على الهيدروجين بواسطة المحلل ثم منظومة التخزين ومنظومة إعادة توليد الكهرباء بواسطة خلايا الوقود .

٤--استخدام البحوث الحديثة وتقديم البحوث التي تحتوي احدث نسب كفاءة الالواح الشمسية والمحللات وخلايا االوقود نظرا لتأثيرها في مساحة الالواح وبالتالي في تكلفة المنظومة الشمسية

المراجع

١- .وهيب عيسى الناصر "مستقبل الطاقة العربية المتجددة"، مؤتمر الطاقة العربي السابع، القاهرة،١١-١٤ مايو ٢٠٠٢م.

٢- عبد المطلب النقرش "الطاقة:مفاهيمها،أنواعها، مصادرها" وزارة الطاقة والثروة المعدنية، الأردن-٢٠٠٥م

٣- .مسلم شلتون "الهيدروجين وقود المستقبل" Egypt Eng.com

٤- راغدة حداد وعماد فرحات "طاقة المستقبل من الشمس والرياح وأمواج البحر والبراكين" عدد تشرين الأول /أكتوبر ٢٠٠٤م

٥- .أحمد العثيم "الغاز الطبيعي يزاحم البترول على عرش الطاقة العالمي" مجلة الجزيرة العدد١٢٧٣٤، ١٤.٨.٢٠٠٧م

6- EnergyinformationAdministration/http//www.eia.doe.gov

7-.محمد رأفت رمضان و علي جمعان الشكيل "الطاقة المتجددة"، الطبعة الثانية ١٩٨٨م،دار الشروق .

٨- U.S.Department Of Energy, D O E /102003- ،Photovoltaic Technology plan 1491-Septmber-2003

٩- Natural Resources, Canada "Buyer's Guide"'Photovoltaic systems

10- http://www.solarsystems.com.au/documents/SolarSystemsMediaRelease.pdf Solar Systems Pty Ltd., accessed October 25, 2006

١١- سهيل فاضل و.الياس الكبة "مبادئ الطاقة الشمسية وتطبيقاتها" الطبعة الثالثة-1987 –دار الحداثة

١٢-.ياسر فتحي نصار "هندسة الطاقة الشمسية، التطبيقات الحرارية الفعالة،"منشورات جامعة سبها ،الطبعة الأولى، ٢٠٠٦

١٣- Solar And Wind Technologies For "Report To Congress (ESECS EE -3060) Hydrogen Production 12-5-2005

14- http//www.moqatel.com/openshare/Behoth/Meimiah12/E-Generati/index htm

15- Johanna Ivy Levene, Others,"An analysis of hydrogen production from renewable electricity sources " 13-6-2006, www.elservier.com

16- Adame .G.," Station outline and Schematics ،H_2-GO! Inc, drafting and Design Specialist", Humboldt State University, Acreata, CA, 2004.

17- Naim H .Afgan ،Maria G. Carvalho," Multi-Criteria Sustainability Assessment Of Clean Air", International Journal on energy for a Clean Environment, vol / 5 , pp.107-135, 2004

18- www.mini Hydrogen .com

19-.مسلم شلتوت "الهيدروجين وقود المستقبل" المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية ١٤-٣-٢٠٠٦م

Michael Winkler “Fuel cell technology -web, http//www .culture change. org/-20

D.L.Block &T.N.Veziroglu “Hydrogen Energy Progress “, Volume I,-21

24-June-1994, Elsevier .

Elsevier Academic ،Bent Sorensen “Renewable Energy” Third edition -22

Frederick J. Barclay “Fuel Cells Engines And Hydrogen”, Copyright 2006, John -23 Ltd, ،Wiky & Sons

٢٠٠٤Copy right ،Bent Sorensen,"Renewable Energy ", Third Edition Elsevier In -24

A Guide For The Solar Designer ،" Solar House "،Terry Galloway -25

Elsevier Inc Copy right 2004.

Bent Sorensen ، " Hydrogen And Fuel Cells”, Copy right 2005, Elsevier Inc. -26

R.Kannan &Others “Life Assessment Study Of Solar PV Systems 13 June 2005 -27 Www. Elsevier .com/ locate/Solener (خاص بالتكلفة)

٢٨- محطة الأرصاد الجوية/مصراتة.

٢٩- السجل المدني/مصراتة.

٣٠- الشركة العامة للكهرباء/مصراتة.

Desal solar 1.0- Desalination Guide منظومةCommunities,1998,Version European -٣١

Solartechn,s Naturwissensch ftliche wissench. ،Brodtmann -32 Verlagesell

Kleemann,M.1993,RegenerativeEnergiequllen, springer-verlag -33

٣٤- خط الطول:١٥.٠٩٠٦ خط العرض :٣٢.٣٧٨٣ المصدر:الأرصاد الجوية/مصراتة

Prof. Th.Melin, Mr.L.Eilers,Matching Renewable Energy with small -3٥

Unit desalination plants . October 2002 ،Medrc series of R&D Reports:97-As-006b web site: www. Medrc. org.

٣٦- أ.د.إبراهيم شفيع طه و أ.د.الصباح "تصميم الأنظمة الشمسية حرارية" منشورات جامعة الملك عبد العزيز ١٩٩٦ الطبعة الأولى ص ٥٧-٧٢

Patrick Mazza &Roel H. “Carrying the Energy Future”. June 2004 ، www.ilea.org.-٣٧ Michal Singliar ”Solar Energy using for hydrogen production“,petroleum&Coal- ،٣٨ISSN 1337-7027.,, 9.6.2007www.Vurup.sk/pc

Delucchi, Mark, and Timothy Lipman. "An Analysis of the Retail and Lifecycle -٣٩ Cost of Battery-Powered Electric Vehicles." *Transportation Research Part D* 6 (2001): 371-404.

الملاحق

جدول رقم (١)يبين معدل الإشعاع الشمسي لشهور السنة

السماء مغيمة gray:	منطقة صناعية indu.area	السماء زرقاء blue sky	الشهر Month
91.8	82.6	91.8	يناير January
117.2	107	117.2	فبراير February
143.9	133.1	143.9	مارس March
160	149.4	160	أبريل April
162.8	152.8	162.8	مايو May
160.9	151.3	160.9	يونيو June
161.6	151.9	161.6	يوليو July
162..8	152.5	162..8	أغسطس August
154.9	144.1	154.9	سبتمبر September
132.9	122.2	132.9	أكتوبر October
106.1	96.1	106.1	نوفمبر November
90	80.7	90	ديسمبر December

الجداول من (٢-١٣) قيمة الإشعاع الشمسي للأشهر (١-١٢)على منطقة مصراتة Kwh/m^2

أيام الشهر(يناير)	الإشعاع kw/m^2	أيام شهر(فبراير)	الإشعاع kw/m^2
١	٢.٩٧	١	٣.٥١
٢	٢.٩٧	٢	٣.٥٣
٣	٢.٨٩	٣	٣.٥٦
٤	٢.٩٩	٤	٣.٥٩
٥	٣	٥	٣.٦٢
٦	٣.٠١	٦	٣.٦٥
٧	٣.٠٢	٧	٣.٦
٨	٣.٠٣	٨	٣.٧
٩	٣.٠٥	٩	٣.٧٤
١٠	٣.٠٦	١٠	٣.٧٦
١١	٣.٠٨	١١	٣.٨
١٢	٣.٠٩	١٢	٣.٨٢
١٣	٣.١١	١٣	٣.٨٦
١٤	٣.١٢	١٤	٣.٨٩
١٥	٣.١٤	١٥	٣.٩٢
١٦	٣.١٦	١٦	٣.٩٥
١٧	٣.١٨	١٧	٣.٩٨
١٨	٣.٢	١٨	٤.٠١
١٩	٣.٢٢	١٩	٤.٠٤
٢٠	٣.٢٤	٢٠	٤.٠٧
٢١	٣.٢٦	٢١	٤.١١
٢٢	٣.٢٨	٢٢	٤.١٤
٢٣	٣.٣١	٢٣	٤.١٧
٢٤	٣.٣٣	٢٤	٤.٢
٢٥	٣.٣٥	٢٥	٤.٢٣
٢٦	٣.٣٨	٢٦	٤.٢٦
٢٧	٣.٤	٢٧	٤.٣

٢٨	٣.٤٣	٢٨	٤.٣٣
٢٩	٣.٤٥	٢٩	٤.٣٦
٣٠	٣.٤٨	٣٠	٤.٣٩

أيام شهر(مارس)	الإشعاع kw/m^2	أيام الشهر(أبريل)	الإشعاع kw/m^2
١	٤.٤٢	١	٥.١
٢	٤.٤٥	٢	٥.١٩
٣	٤.٤٨	٣	٥.٢١
٤	٤.٥١	٤	٥.٢٢
٥	٤.٥٤	٥	٥.٢٤
٦	٤.٥٧	٦	٥.٢٥
٧	٤.٦	٧	٥.٢٧
٨	٤.٦٣	٨	٥.٢٨
٩	٤.٦٦	٩	٥.٢٩
١٠	٤.٦٩	١٠	٥.٣١
١١	٤.٧٢	١١	٥.٣٢
١٢	٤.٧٥	١٢	٥.٣٣
١٣	٤.٧٧	١٣	٥.٣٤
١٤	٤.٨	١٤	٥.٣٥
١٥	٤.٨٣	١٥	٥.٣٦
١٦	٤.٨٥	١٦	٥.٣٧
١٧	٤.٨٨	١٧	٥.٣٨
١٨	٤.٩	١٨	٥.٣٨
١٩	٤.٩٣	١٩	٥.٣٩
٢٠	٤.٩٥	٢٠	٥.٤
٢١	٤.٩٧	٢١	٥.٤
٢٢	٥	٢٢	٥.٤١
٢٣	٥.٠٢	٢٣	٥.٤١
٢٤	٥.٠٤	٢٤	٥.٤١
٢٥	٥.٠٦	٢٥	٥.٤٢
٢٦	٥.٠٨	٢٦	٥.٤٢
٢٧	٥.١	٢٧	٥.٤٣
٢٨	٥.١٢	٢٨	٥.٤٣
٢٩	٥.١٤	٢٩	٥.٤٣
٣٠	٥.١٦	٣٠	٥.٤٤

أيام الشهر(مايو)	الإشعاع kw/m^2	أيام الشهر(يونيو)	الإشعاع kw/m^2
١	٥.٤٤	١	٥.٣٩
٢	٥.٤٤	٢	٥.٣٨
٣	٥.٤٤	٣	٥.٣٨
٤	٥.٤٤	٤	٥.٣٨
٥	٥.٤٤	٥	٥.٣٨
٦	٥.٤٤	٦	٥.٣٧
٧	٥.٤٤	٧	٥.٣٧
٨	٥.٤٤	٨	٥.٣٧
٩	٥.٤٤	٩	٥.٣٧
١٠	٥.٤٤	١٠	٥.٣٦
١١	٥.٤٤	١١	٥.٣٦
١٢	٥.٤٤	١٢	٥.٣٦
١٣	٥.٤٣	١٣	٥.٣٦
١٤	٥.٤٣	١٤	٥.٣٦
١٥	٥.٤٣	١٥	٥.٣٦
١٦	٥.٤٣	١٦	٥.٣٥
١٧	٥.٤٣	١٧	٥.٣٥
١٨	٥.٤٢	١٨	٥.٣٥
١٩	٥.٤٢	١٩	٥.٣٥
٢٠	٥.٤٢	٢٠	٥.٣٥
٢١	٥.٤٢	٢١	٥.٣٥
٢٢	٥.٤١	٢٢	٥.٣٥
٢٣	٥.٤١	٢٣	٥.٣٥
٢٤	٥.٤١	٢٤	٥.٣٥
٢٥	٥.٤	٢٥	٥.٣٥
٢٦	٥.٤	٢٦	٥.٣٥
٢٧	٥.٤	٢٧	٥.٣٥
٢٨	٥.٤	٢٨	٥.٣٥
٢٩	٥.٣٩	٢٩	٥.٣٥
٣٠	٥.٣٩	٣٠	٥.٣٦

أيام الشهر(يوليو)	الإشعاع kw/m^2	أيام الشهر(أغسطس)	الإشعاع kw/m^2
١	٥.٣٦	١	٤.٤٢
٢	٥.٣٦	٢	٤.٤٥
٣	٥.٣٦	٣	٤.٤٨
٤	٥.٣٦	٤	٤.٥١
٥	٥.٣٦	٥	٤.٥٤
٦	٥.٣٦	٦	٤.٥٧
٧	٥.٣٧	٧	٤.٦
٨	٥.٣٧	٨	٤.٦٣
٩	٥.٣٧	٩	٤.٦٦
١٠	٥.٣٧	١٠	٤.٦٩
١١	٥.٣٨	١١	٤.٧٢
١٢	٥.٣٨	١٢	٤.٧٥
١٣	٥.٣٨	١٣	٤.٧٧
١٤	٥.٣٨	١٤	٤.٨
١٥	٥.٣٩	١٥	٤.٨٣
١٦	٥.٣٩	١٦	٤.٨٥
١٧	٥.٣٩	١٧	٤.٨٨
١٨	٥.٤	١٨	٤.٩
١٩	٥.٤	١٩	٤.٩٣
٢٠	٥.٤	٢٠	٤.٩٥
٢١	٥.٤	٢١	٤.٩٧
٢٢	٥.٤١	٢٢	٥
٢٣	٥.٤١	٢٣	٥.٠٢
٢٤	٥.٤١	٢٤	٥.٠٤
٢٥	٥.٤٢	٢٥	٥.٠٦
٢٦	٥.٤٢	٢٦	٥.٠٨
٢٧	٥.٤٢	٢٧	٥.١
٢٨	٥.٤٢	٢٨	٥.١٢
٢٩	٥.٤٣	٢٩	٥.١٤
٣٠	٥.٤٣	٣٠	٥.١٦

أيام الشهر(سبتمبر)	الإشعاع kw/m^2	أيام الشهر(أكتوبر)	الإشعاع kw/m^2
١	٥.٣٦	١	٤.٨٣
٢	٥.٣٥	٢	٤.٨
٣	٥.٣٤	٣	٤.٧٧
٤	٥.٣٣	٤	٤.٧٥
٥	٥.٣٢	٥	٤.٧٢
٦	٥.٣١	٦	٤.٦٩
٧	٥.٢٩	٧	٤.٦٦
٨	٥.٢٨	٨	٤.٦٣
٩	٥.٢٧	٩	٤.٦
١٠	٥.٢٥	١٠	٤.٥٧
١١	٥.٢٤	١١	٤.٥٤
١٢	٥.٢٢	١٢	٤.٥١
١٣	٥.٢١	١٣	٤.٥١
١٤	٥.١٩	١٤	٤.٤٨
١٥	٥.١٨	١٥	٤.٤٥
١٦	٥.١٦	١٦	٤.٤٢
١٧	٥.١٤	١٧	٤.٣٩
١٨	٥.١٢	١٨	٤.٣٦
١٩	٥.١	١٩	٤.٣٣
٢٠	٥.٠٨	٢٠	٤.٣
٢١	٥.٠٦	٢١	٤.٢٦
٢٢	٥.٠٤	٢٢	٤.٢٣
٢٣	٥.٠٢	٢٣	٤.٢
٢٤	٥	٢٤	٤.١٧
٢٥	٤.٩٧	٢٥	٤.١٤
٢٦	٤.٩٥	٢٦	٤.١١
٢٧	٤.٩٥	٢٧	٤.٠٧
٢٨	٤.٩٣	٢٨	٤.٠٤
٢٩	٤.٩	٢٩	٤.٠١
٣٠	٤.٨٨	٣٠	٣.٩٥

أيام الشهر(نوفمبر)	الإشعاع kw/m^2	أيام الشهر(ديسمبر)	الإشعاع kw/m^2
١	٣.٩٢	١	٣.١٤
٢	٣.٨٩	٢	٣.١٢
٣	٣.٨٦	٣	٣.١١
٤	٣.٨٢	٤	٣.٠٩
٥	٣.٨	٥	٣.٠٨
٦	٣.٧٦	٦	٣.٠٦
٧	٣.٧٤	٧	٣.٠٥
٨	٣.٧	٨	٣.٠٣
٩	٣.٦٨	٩	٣.٠٢
١٠	٣.٦٥	١٠	٣.٠١
١١	٣.٦٢	١١	٣
١٢	٣.٥٩	١٢	٢.٩٩
١٣	٣.٥٦	١٣	٢.٩٨
١٤	٣.٥٣	١٤	٢.٩٧
١٥	٣.٥١	١٥	٢.٩٧
١٦	٣.٤٨	١٦	٢.٩٦
١٧	٣.٤٥	١٧	٢.٩٦
١٨	٣.٤٣	١٨	٢.٩٥
١٩	٣.٤	١٩	٢.٩٥
٢٠	٣.٣٨	٢٠	٢.٩٤
٢١	٣.٣٣	٢١	٢.٩٤
٢٢	٣.٣١	٢٢	٢.٩٤
٢٣	٣.٢٨	٢٣	٢.٩٤
٢٤	٣.٢٦	٢٤	٢.٩٤
٢٥	٣.٢٤	٢٥	٢.٩٤
٢٦	٣.٢٢	٢٦	٢.٩٤
٢٧	٣.٢	٢٧	٢.٩٤
٢٨	٣.١٨	٢٨	٢.٩٥
٢٩	٣.١٦	٢٩	٢.٩٥
٣٠	٣.١٦	٣٠	٢.٩٦

جدول رقم(١٤) يبين درجات الحرارة وساعات السطوع الشمسي لشهر يناير ٢٠٠٥م

التاريخ	ساعات السطوع الشمسي أعشارها	النهاية العظمى والصغرى لدرجة الحرارة (C^o)	
		العظمى (max)	صغرى(min)
١	٣.٦	١٦	٧.٧
٢	٨.٢	١٦.٢	١٠
٣	٢.٨	١٦.٤	١٠.٢
٤	٦.٢	١٦.١	١٣
٥	٨.٤	١٧.١	١٢.٨
٦	٦	١٥.٧	١٠.٦
٧	٥.٤	١٧.٥	١٠.٨
٨	٦.٧	١٧.١	١٣.٥
٩	٤	١٧	١٠
١٠	٦.٩	١٦.٧	٨
١١	١.٢	١٧.٨	٩
١٢	٢	١٤.٥	١١
١٣	١	١٥.٦	١٠.٣
١٤	٣.٤	١٥.٦	٩.٩
١٥	٤.٦	١٥.٦	٨.٣
١٦	٦	١٤	٨.٩
١٧	٨.٣	١٥	٨.٥
١٨	٥.٣	١٥	٧.٢
١٩	٣.٥	١٤.٣	٤.٨
٢٠	٤.٩	١٦.٤	٥.٨
٢١	٥.٨	١٧	١٢.٨
٢٢	٨.٣	١٧.٣	٩.٩
٢٣	٩.٥	٢٠.٥	١٠
٢٤	٨.٥	٢٣	٧.٤
٢٥	٨	١٤.٥	٨
٢٦	٥.٩	١٢	٤.٩
٢٧	٥.٥	١٦.٣	٢
٢٨	٣.١	١٣	٥.٤
٢٩	١.٣	١٥	٧
٣٠	٩.٦	١٤.٥	٣.٤
المتوسط	٥.٤٢	١٦.١	٨.٦

جدول رقم(١٥) يبين درجات الحرارة وساعات السطوع الشمسي لشهر فبراير ٢٠٠٥م

لتاريخ	ساعات السطوع الشمسي وأعشارها	النهاية العظمى والصغرى لدرجة الحرارة (C^o)	
		العظمى (max)	الصغرى(min)
١	٦.١	١٣.٥	٨
٢	٩.٤	١٥.٣	٥
٣	٤.٥	١٣	٨.٥
٤	٣.٣	١٤.٩	٧.٤
٥	٣.٥	١٤.٤	٨.٨
٦	٤.٨	١٤.٥	٧.٤
٧	٨.٥	١٦.٢	٩
٨	٤.٣	١٦.٨	١١.٢
٩	٧.٥	١٧.٧	١٠.٨
١٠	٨.٩	١٦.٢	٨.٧
١١	٥.١	١٣.٨	١٠.٨
١٢	٧.٣	١٥	١٠
١٣	٨	١٦.٥	٩.٥
١٤	٨.٢	٢٢.٨	٨.١
١٥	٩.٦	١٥.٢	٧.٥
١٦	٨.١	١٧	٦.٢
١٧	٨.٨	١٥	٧.٥
١٨	١٠.٤	١٤.٧	٥.٢
١٩	١٠.٣	١٥.٤	٦
٢٠	١٠.٢	١٦.٥	٥.٤
٢١	٧.٤	١٨.٨	٥.٩
٢٢	٧.٣	١٩.٥	٨
٢٣	٩.٧	١٧.٤	٨.٩
٢٤	٩.٢	٢١.٣	٨.٨
٢٥	٧.٤	٢٥.٧	١٣.٨
٢٦	٨.٩	٢١.٥	١٤.٢
٢٧	٩.٧	٢٣.٦	١١.٤
٢٨	٦.١	٢١.١	١٥.٢
المتوسط	٧.٥٩	١٧.٣	٨.٨

جدول رقم(١٦)يبين درجات الحرارة وساعات السطوع الشمسي لشهر مارس ٢٠٠٥م

التاريخ	ساعات السطوع الشمسي وأعشارها	النهاية العظمى والصغرى لدرجة الحرارة (C^o)	
		العظمى (max)	الصغرى(min)
١	١	٢٩.٤	١٦.٥
٢	٤.١	١٩.٦	١٤.٩
٣	٩.٤	١٦.٦	١٣.٥
٤	٣.٢	٢٦.٣	١١.٧
٥	٣.٦	٢	١٤.١
٦	٢.٥	١٦	١٣
٧	٣	١٦	١١.٩
٨	٩.٤	١٤.٢	٨.٤
٩	٥.٣	١٢.٥	٧.٢
١٠	٧.٦	١٥.١	٦.٥
١١	١٠.٦	١٦.٣	٧
١٢	٣.٢	٢١.٨	٩.٤
١٣	٦.٨	١٧.٩	١٢.٢
١٤	٩.٧	٢٦.٧	١٠.٦
١٥	٩.١	١٨.٧	١٤.١
١٦	٩.٣	١٨.٧	١٤.٤
١٧	٩.٩	١٨.٢	١٤
١٨	١٠.٦	١٨.٥	١٢.٦
١٩	٩.٧	٢٢.٦	١٠.٨
٢٠	٥	٢٣.١	١٣.٥
٢١	٧.٢	١٩.٥	١١.٤
٢٢	٧.٧	١٩.٦	١١
٢٣	١٠.١	٢٥.٢	١٢.٢
٢٤	٩.٦	٢٥.٧	١٣.٥
٢٥	٩.١	٢٥.٤	١٤.٢
٢٦	١٠.٤	٣٠.٣	١٤.٥
٢٧	٩.٧	٣٤.٤	١٦.١
٢٨	٧.٦	١٩.٨	١٥.٧
٣٠	١٠	١٩.٢	١٥
المتوسط	٧.٢٩	٢١	١٢.٤

جدول رقم(١٧) يبين درجات الحرارة وساعات السطوع الشمسي لشهر أبريل ٢٠٠٥م

التاريخ	ساعات السطوع الشمسي وأعشارها	النهاية العظمى والصغرى لدرجة الحرارة (C^o)	
		العظمى (max)	الصغرى(min)
١	١٠.٤	١٧.٩	١٤.٨
٢	١٠.٤	١٨.٩	١١
٣	١٠	٢١	١٣.٩
٤	٨.١	٢١.٨	١٥.٧
٥	٣.٥	٢٠.٤	١٧
٢		١٨.٥	١٥
١٠.٢		١٧.٨	١٤
١١.٥		٢٤.٨	٩.٧
٩	٨.٤	٢٩.٨	١٣.٣
١٠	٤.٩	٣٠.١	١٧.٧
١١	١١.٢	١٩.٨	٨.٤
١٢	١١.١	٢٢.٢	١١.١
١٣	١١.٨	١٨.٣	١٠.٨
١٤	١١.٤	٢٦.٨	١٠.٧
١٥	٨.٥	٣٣.٣	١٥
١٦	٢.٢	٣٧.٣	١٦
١٧	١٠.٩	١٩.١	١٥.١
١٨	١٠.٧	٢٣.٩	٩.٩
١٩	٦.٥	٢٨.٣	١٤.٨
٢٠	١١.٥	٣٠.٥	١٦.٥
٢١	٨.٣	١٩.٩	١٣.٥
٢٢	١٠.٨	٢٠.٨	١٢.٧
٢٣	١٢.١	٢٠.٨	١٢.٥
٢٤	١٠.٨	٢٤.٨	١٣.٧
٢٥	٩.٤	٣٢	١٥.٩
٢٦	٨.١	٣٦	١٧.٩
٢٧	١٠.٥	٢٤.٢	١٧
٢٨	٤.٥	٢٠	١٦
٢٩	٦.٣	٢١	١٦.٤
٣٠	١١.٦	٢٠.٨	١٥.١
المتوسط	٨.٨٧	٢٤	١٣.٩

جدول رقم(١٨) يبين درجات الحرارة وساعات السطوع الشمسي لشهر مايو ٢٠٠٥م

التاريخ	ساعات السطوع الشمسي وأعشارها	العظمى (max)	الصغرى(min)
١	١٢.٦	٢٢.٢	١٥.٤
٢	١٢.٤	٢١.١	١٦.١
٣	١٢.٢	٢٤.٣	١٣.٩
٤	١٢.٨	٣٠.١	١٤.٦
٥	١٢.١	٣٧.٧	١٩.٥
٦	٨.٥	٢٤.٧	١٧.٤
٧	١١.٢	٢٠.١	١٦.٤
٨	١٢	٢٩.٦	٢٣.٥
٩	١٠.٥	٣٤	٢٨.٤
١٠	١١.٧	٢٥.١	١٧.٦
١١	١٢.١	٣٨.٦	٢٧.٦
١٢	١٠.١	٤٠	٢٠.٥
١٣	٩.٥	٣١.٦	٢٠
١٤	٧.٥	٤٠.٨	٢٠
١٥	١٠.٧	٢٤.١	١٩
١٦	٦.٣	٢٣.١	١٩
١٧	٩.٧	٣٢.٢	١٩
١٨	٦.١	٢٥.٧	١٨
١٩	٦.٩	٢١.٧	١٧.٦
٢٠	١٢.٣	٢١.٥	١٨.٥
٢١	١٢.٧	٢٢.٣	٢٣
٢٢	١٢.٧	٢٦	٢٠.٧
٢٣	١٣.١	٣١.٣	١٨
٢٤	١١.٢	٣٠.٥	١٦.٥
٢٥	١٢.٦	٢٢.٨	١٥.٥
٢٦	١١.٦	٢٣.١	١٨
٢٧	١١.٥	٢٣	١٧.٢
٢٨	١١.٩	٢٤.١	١٩.٢
٣٠	١٢.٤	٢٥.٣	١٧.٤
المتوسط	١٠.٩٥	٢٧.٤	١٩.٥

جدول رقم(١٩) يبين درجات الحرارة وساعات السطوع الشمسي لشهر يونيو ٢٠٠٥م

التاريخ	ساعات السطوع الشمسي وأعشارها	النهاية العظمى والصغرى لدرجة الحرارة (C^o)	
		العظمى (max)	الصغرى (min)
١	٦	٢٥.٤	١٨.٥
٢	١٠.٧	٣٣	١٨.٩
٣	٦.٢	٣٤	٢١
	٢.٩	٢٦.٣	٢٠.٩
٥	٩.٨	٢٥.٨	٢٠
٦	١٢.٢	٢٩.٤	١٦.٥
٧	١٢.٨	٢٩.٥	١٩.٤
٨	١١.٩	٢٦.٢	٢٠.٣
٩	١١	٢٥.٦	١٩.٥
١٠	٩.٨	٢٥.١	٢٠.١
١١	١٣	٢٥	١٦.١
١٢	١٢.٣	٣٦.١	١٨.٥
١٣	٩	٤٠.٢	٢٢.٩
١٤	١٠.٣	٣٧	٢٣.١
١٥	٦.٢	٢٦.٣	٢٢
١٦	٦.٤	٢٥	٢٢.١
١٧	٨.٨	٢٦.٨	٢١
١٨	١٠.٧	٢٦.٥	٢١.٦
١٩	٧.٢	٢٥.٧	٢١.٣
٢٠	٧.٥	٢٦	٢٠.١
٢١	١٣.٤	٢٧	١٧.٨
٢٢	١٣.١	٢٧.١	١٩.٩
٢٣	١٣	٢٧	٢١.٥
٢٤	١٢.٤	٢٦.٩	٢٣
٢٥	١٣.٣	٢٧.٨	١٩
٢٦	١٣.٣	٢٨.٨	١٩.٣
٢٧	١٣.٣	٢٨.٥	٢٠.٥
٢٨	١٣.٢	٢٨.٥	٢٠.٣
٢٩	١٣.١	٢٨.٩	٢٠.٣
٣٠	١٣.٢	٣٤.٢	٢٢.٨
المتوسط	١٠.٥٣	٢٨.٧	٢٠.٣

جدول رقم(٢٠) يبين درجات الحرارة وساعات السطوع الشمسي لشهر يوليو ٢٠٠٥

التاريخ	ساعات السطوع الشمسي وأعشارها	النهاية العظمى والصغرى لدرجة الحرارة (C^o)	
		العظمى (max)	الصغرى(min)
١	١٣	٣٨.٩	٢٣.٥
٢	١٢.٧	٣٠	٢٣.٩
٣	١٢.٦	٢٨.٥	٢٤.٣
٤	١٣.١	٢٨.١	٢١
٥	١٢.٩	٢٩.١	٢٢.٥
٦	١٢.٤	٣٣.٤	٢٢.٤
٧	١٢.٢	٢٨.٩	٢٣.٩
٨	١١.٤	٣٢	٢٣.٤
٩	١٠.٦	٣٥	٢٣.٩
١٠	١٠.٥	٣٩.٥	٢٥.٥
١١	١٠.٧	٤٠.٥	٢٥.٥
١٢	٩.٧	٢٨.١	٢٤.٤
١٣	١١.٨	٢٨.٥	٢٤.٣
١٤	١٢.٨	٢٨.٦	٢٢.٥
١٥	١٣.١	٢٨.٧	٢٠.١
١٦	١٣.٢	٢٩	٢٣.٩
١٧	١٣	٢٩	٢٢
١٨	١٣	٣١.٦	٢٠.٨
١٩	١٢.٦	٣٣.٦	٢٢.٥
٢٠	١١.٦	٢٩.٦	٢٣
٢١	١٢.٢	٢٨.٨	٢٤
٢٢	١٢.٢	٢٩.٨	٢٢.٨
٢٣	١١.٣	٤٢.٥	٢٢.٥
٢٤	١٢	٣٠.٦	٢٥.٨
٢٥	١١.٤	٣٥.٥	٢٢.١
٢٦	١١.١	٣٧.٥	٢٤.٤
٢٧	١٠.٩	٣٧	٢٤.٢
٢٨	١٠.١	٣٨	٢٥.٦
٣٠	١١.٩	٣١.٦	٢٤.٦
المتوسط	١١.٩١	٣٢.٤	٢٣.٦

جدول رقم(٢١) يبين درجات الحرارة وساعات السطوع الشمسي لشهر أغسطس ٢٠٠٥م

التاريخ	ساعات السطوع الشمسي وأعشارها	النهاية العظمى والصغرى لدرجة الحرارة (C^o)	
		العظمى (max)	الصغرى(min)
١	١٠.٦	٣٠.٦	٢٤.٢
٢	١٠.٣	٢٨.٨	٢٤.٢
٣	١٠	٢٩.٢	٢٤.١
٤	١٠.٧	٢٩.٥	٢٢.٧
٥	١٠.٥	٢٩.٦	٢١.٦
٦	١٠.٥	٣٥	٢٢.٥
٧	١٠.٢	٣٦.٦	٢٣.٨
٨	١٠	٣٧.٥	٢٥.٦
٩	٩.٨	٣٩.٥	٢٤.٥
١٠	٩.٨	٣١.٤	٢٤.٦
١١	٧	٣٠.٦	٢٤.٤
١٢	٩.٨	٣٤.٢	٢٤.٩
١٣	٨.٩	٣٦.٥	٢٥.١
١٤	٩.٢	٢٨.٨	٢٤
١٥	٩.٥	٢٧.٩	٢٤.٢
١٦	١٠.٤	٢٨.٧	١٩.٤
١٧	١٠.٢	٣٥.٥	٢٣.٨
١٨	٩.٤	٣٨.٤	٢٥
١٩	٩.٦	٣٠	٢٤.٥
٢٠	١٠.٩	٢٨.٢	٢٣.٦
٢١	١٠.٣	٢٧.٦	٢٠.٤
٢٢	٦.٤	٣١	٢٣
٢٣	٩.٦	٢٩.٧	٢٤
٢٤	٧.٨	٢٧.٨	٢٠
٢٥	٩.٥	٢٧	٢٣
٢٦	٣.٩	٢٩	٢٤.٤
٢٧	٣.٩	٢٧.٨	٢٤.٢
٢٨	٦.٧	٢٨	٢٤.٢
٣٠	٧.١	٢٧.٨	٢٠.٢
المتوسط	٨.٩٨	٣٠.٩	٢٣٠٤

جدول رقم(٢٢) يبين درجات الحرارة وساعات السطوع الشمسي لشهر سبتمبر ٢٠٠٥م

التاريخ	ساعات السطوع الشمسي وأعشارها	النهاية العظمى والصغرى لدرجة الحرارة (C^o)	
		العظمى (max)	الصغرى(min)
١	١٠.٢	٢٧	١٩.٦
٢	١٠.٣	٢٧.١	١٩.٥
٣	٦.٣	٣١.٥	٢٣.٢
٤	٨.٤	٢٧.٩	٢٢.٩
٥	٩.٣	٢٧.٦	٢٣.٢
٦	٨	٢٣.٨	١٨.٨
٧	٩.٨	٢٨	١٨
٨	٩.٨	٣١.٥	١٩.٩
٩	٩	٢٧.٥٢٥.٤	١٩
١٠	١٠.١	٢٥.٥	٢٠.٢
١١	٨.٧٧.٥	٢٦.٨	١٩.٥
١٢	٩.٨	٢٨.٨	١٩
١٣	٩.٨	٢٩.٧	٢١.٢
١٤	٩.٢	٢٧.٧	٢٣
١٥	١٠.١	٢٥.٨	٢٢.٥
١٦	١٠.٢	٢٨	١٧.٥
١٧	٩.٩	٣١.٨	١٩
١٨	١٠	٣٠.٣	٢٠.٤
١٩	٩.٣	٢٨.٣	٢٠.٥
٢٠	٩.٤	٣١.٢	٢١.٣
٢١	٦.٣	٣٤.٥	٢٢.٥
٢٢	٧.٨	٣٦	٢٣.٥
٢٣	٦.٧	٢٨	٢٢.٦
٢٤	٨.٣	٢٦.١	٢١.٥
٢٥	٣.٧	٢٥.٩	٢١.٢
٢٦	٩.٧	٢٥.٦	١٨.٤
٢٧	٩.٢	٢٥.٦	١٨.٧
٢٨	٩.٣	٢٥.٢	١٧.٦
٣٠	٩.٩	٢٥.١	١٧
المتوسط	٨.٦٥	٢٨.١	٢٠.٣

جدول (٢٣) درجات الحرارة وساعات السطوع الشمسي لشهر أكتوبر ٢٠٠٥م

التاريخ	ساعات السطوع الشمسي وأعشارها	النهاية العظمى والصغرى لدرجة الحرارة (C^o)	
		العظمى (max)	الصغرى(min)
١	١٠.٢	٢٧	١٩.٦
٢	١٠.٣	٢٧.١	١٩.٥
٣	٦.٣	٣١.٥	٢٣.٢
٤	٨.٤	٢٧.٩	٢٢.٩
٥	٩.٣	٢٧.٦	٢٣.٢
٦	٨	٢٣.٨	١٨.٨
٧	٩.٨	٢٨	١٨
٨	٩.٨	٣١.٥	١٩.٩
٩	٩	٢٧.٥٢٥.٤	١٩
١٠	١٠.١	٢٥.٥	٢٠.٢
١١	٨.٧٧.٥	٢٦.٨	١٩.٥
١٢	٩.٨	٢٨.٨	١٩
١٣	٩.٨	٢٩.٧	٢١.٢
١٤	٩.٢	٢٧.٧	٢٣
١٥	١٠.١	٢٥.٨	٢٢.٥
١٦	١٠.٢	٢٨	١٧.٥
١٧	٩.٩	٣١.٨	١٩
١٨	١٠	٣٠.٣	٢٠.٤
١٩	٩.٣	٢٨.٣	٢٠.٥
٢٠	٩.٤	٣١.٢	٢١.٣
٢١	٦.٣	٣٤.٥	٢٢.٥
٢٢	٧.٨	٣٦	٢٣.٥
٢٣	٦.٧	٢٨	٢٢.٦
٢٤	٨.٣	٢٦.١	٢١.٥
٢٥	٣.٧	٢٥.٩	٢١.٢
٢٦	٩.٧	٢٥.٦	١٨.٤
٢٧	٩.٢	٢٥.٦	١٨.٧
٢٨	٩.٣	٢٥.٢	١٧.٦
٣٠	٩.٩	٢٥.١	١٧
المتوسط	٨.٦٥	٢٨.١	٢٠.٣

جدول رقم(٢٤) يبين درجات الحرارة وساعات السطوع الشمسي لشهر نوفمبر ٢٠٠٥م

التاريخ	ساعات السطوع الشمسي وأعشارها	النهاية العظمى والصغرى لدرجة الحرارة (C^o)	
		العظمى (max)	الصغرى(min)
١	١٠.٢	٢٧	١٩.٦
٢	١٠.٣	٢٧.١	١٩.٥
٣	٦.٣	٣١.٥	٢٣.٢
٤	٨.٤	٢٧.٩	٢٢.٩
٥	٩.٣	٢٧.٦	٢٣.٢
٦	٨	٢٣.٨	١٨.٨
٧	٩.٨	٢٨	١٨
٨	٩.٨	٣١.٥	١٩.٩
٩	٩	٢٧.٥٢٥.٤	١٩
١٠	١٠.١	٢٥.٥	٢٠.٢
١١	٨.٧٧.٥	٢٦.٨	١٩.٥
١٢	٩.٨	٢٨.٨	١٩
١٣	٩.٨	٢٩.٧	٢١.٢
١٤	٩.٢	٢٧.٧	٢٣
١٥	١٠.١	٢٥.٨	٢٢.٥
١٦	١٠.٢	٢٨	١٧.٥
١٧	٩.٩	٣١.٨	١٩
١٨	١٠	٣٠.٣	٢٠.٤
١٩	٩.٣	٢٨.٣	٢٠.٥
٢٠	٩.٤	٣١.٢	٢١.٣
٢١	٦.٣	٣٤.٥	٢٢.٥
٢٢	٧.٨	٣٦	٢٣.٥
٢٣	٦.٧	٢٨	٢٢.٦
٢٤	٨.٣	٢٦.١	٢١.٥
٢٥	٣.٧	٢٥.٩	٢١.٢
٢٦	٩.٧	٢٥.٦	١٨.٤
٢٧	٩.٢	٢٥.٦	١٨.٧
٢٨	٩.٣	٢٥.٢	١٧.٦
٣٠	٩.٩	٢٥.١	١٧
المتوسط	٨.٦٥	٢٨.١	٢٠.٣

جدول رقم(٢٤) يبين درجات الحرارة وساعات السطوع الشمسي لشهر نوفمبر ٢٠٠٥م

التاريخ	ساعات السطوع الشمسي وأعشارها	النهاية العظمى والصغرى لدرجة الحرارة (C^o)	
		العظمى (max)	الصغرى(min)
١	٣	٢١.٦	١٥.٨
٢	٧.٢	٢٠.٥	١٥.٢
٣	٨.٩	٢١.٤	١١.٥
٤	٩.٥	١٩.٩	١١.٣
٥	٧.٢	٢١	١١.١
٦	٦.٥	٢٢.٩	١٠.٥
٧	١.٩	٢٥.٧	١٢.٢
٨	١.١	٢٠.٤	١٥.٨
٩	٦.٥	٢٠.٣	١٤.٢
١٠	٧.٦	٢٠.٣	١٣.٩
١١	٦.٧	١٨.٥	١٤.٩
١٢	٣.٥	١٩	٨.٧
١٣	٢.٨	١٨.٢	١٠.٣
١٤	٣.٢	١٣.٨	٧.٩
١٥	٨.٩	١٧.٣	١٢
١٦	٩.٣	١٦.٧	١١.٥
١٧	٦	١٧.٧	٩.٥
١٨	٨	١٧.٦	٩.٢
١٩	٤	١٥	١٠.٢
٢٠	٣.٨	١٣.٣	١٠.٥
٢١	٣.٥	١٦.٩	١٠.٥
٢٢	٤.٧	١٥.٢	١٠.٤
٢٣	٣	١٦.٤	١١.٣
٢٤	٧.٦	١٤.٦	٨.٩
٢٥	٦.٤	١٧.١	١٠.٥
٢٦	٦.٢	١٨.٤	٩.٤
٢٧	٣.٣	١٩.٥	٩.١
٢٨	٢.٧	٢١.٤	١٣.٥
٣٠	٧.٨	١٨.٢	١١.١
المتوسط	٤.٥٩	١٨.٥	١١.٦

جدول (٢٦) متوسط ساعات السطوع الشمسي لأشهر السنة

أشهر السنة	متوسط ساعات السطوع الشمسي(ساعة)
١	٠٥.٤٢
٢	٠٧.٥٩
٣	٠٧.٢٩
٤	٨.٨٧
٥	١٠.٩٥
٦	١٠.٥٣
٧	١١.٩٧
٨	١٠.٧٣
٩	٨.٩٨
١٠	٠٨.٦٥
١١	٠٧.٥٠
١٢	٠٤.٥٩
	المتوسط=٨.٥٩ ساعة/يوم

جدول (٢٧) بعض مواصفات أنواع الخلايا الشمسية

Producer	Type	Nominal power [W]	No. of cells	Height [mm]	Width [mm]	Spec. Costs [$/Wpeak]
Siemens	Pro4JF/75S	75	36	1200	527	6.45
BP Solar	BP275	75	36	1188	530	6.45
Shell	RSM 100	100	72	1328	710	6.45

جدول (٢٨) إحصائية السكان لمنطقة مصراتة من سنة ٢٠٠٠ حتى نهاية ٣١.٩.٢٠٠٦[2]

السنة	الجنسية	أسر	ذكور	إناث	المجموع	الزيـــــادة السنوية
	ليبيون	٤٩١٧٨	١٣٧٦٦٥	١٣٤١٠١	٢٧١٧٦٦	
٢٠٠٠	أجانب	٢١٢	٢٧٤٥	٢٨٠٩	٥٥٥٤	
٢٠٠١	ليبيون	٥٠٥٦٥	١٤٠٦٠٨	١٣٧٠٠٧	٢٧٧٦١٥	٥٨٤٩
	أجانب	٢١٢	٢٨٩٢	٢٩٧٣	٥٨٦٥	٣١١
٢٠٠٢	ليبيون	٥٢٠٩٥	١٤٣٩١٩	١٤٠٣٣٩	٢٨٤٢٥٨	٦٦٤٢
	أجانب	٢١٢	٣٠٠٦	٣٠٨٤	٦٠٩٠	٢٢٥
٢٠٠٣	ليبيون	٥٤٠٤٥	١٤٧٣٢٠	١٤٣٢٨٤	٢٩٠٦٠٤	٦٣٤٦
	أجانب	٢١٨	٣١٥٨	٣٢١٣	٦٣٧١	٢٨١
٢٠٠٤	ليبيون	٥٥٥٨٥	١٥٠٥١٢	١٤٦٢٢٣	٢٩٦٧٣٥	٦١٣١
	أجانب	٢١٨	٣١٩٧	٣٢٥٢	٦٤٤٩	٧٨
٢٠٠٥	ليبيون	٥٧٤٣٢	١٥٤٣٨٤	١٤٩٣٩١	٣٠٣٧٧٥	٧٠٤٠
	أجانب	٢٢٣	٣٣١٢	٣٤٠٢	٦٧١٤	٢٦٥
٢٠٠٦	ليبيون	٥٨٦٣٧	١٥٦٩٧٠	١٥١٧٨٤	٣٠٨٧٥٤	٤٩٧٩
٢٠٠٦	أجانب	٢٣٧	٣٤٥٥	٣٥٤٧	٧٠٠٢	٢٨٨

جدول (٢٩) قيم الثوابت A,B,C للسماء الصافية حسب (ASHRAE 1981) [9]

Date	A (W/m^2)	B	C
Jan 21	1230	0.142	0.058
Feb 21	1214	0.144	0.060
Mar 21	1185	0.156	0.071
Apr 21	1135	0.180	0.097