منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الزراعية الثانية

الطاقات المتجددة



الدكتور صقر حليم الغضبان
أستاذ في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية الثانية

جامعة دمشق 2019

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الطاقات المتجددة

الفهرس

الموضوع **الصفحة**

المقدمة 10

الفصل الأول: تقانة إنتاج الغاز الحيوي 11

1-1 المقدمة 11

1-2 – لمحة عن أنتاج الغاز الحيوي .....

1-2-1- مستلزمات إنتاج الغاز الحيوي .....

1-2-2-التخمير اللاهوائي للمخلفات العضوية.....

1-3- تصميم وإنشاء وحدات الغاز الحيوي .....

1-3-1- وحدات التشغيلة الواحدة .....

1-3-2- وحدات التغذية المستمرة .....

1-4- العوامل التي تؤثر على إنتاج الغاز الحيوي .....

1-4-1- عوامل خاصة بالمخلف المستخدم .....

1-4-2- العوامل المؤثرة على محلول التخمير .....

1-4-3- العوامل الخاصة بتشغيل وحدات الغاز الحيوي .....

1-5- المتطلبات الأساسية لإنشاء أنظمة إنتاج الغاز الحيوي .....

1-5-1- متطلبات اختيار الموقع .....

1-5-2- المتطلبات الأساسية لاختيار التصميم الملائم .....

1-6- تحديد حجم وحدات إنتاج الغاز الحيوي .....

1-7- تحديد سعة خزان الغاز .....

1-8- نواتج الهضم اللاهوائي .....

1-8-1 السماد العضوي .....

1-8-2- الغاز الحيوي .....

1-9- الآثار الاجتماعية .....

1-10- الجدوى الاقتصادية .....

1-10-1 الدراسات الميدانية .....

1-10-2- بعض البيانات الأساسية اللازمة للتقييم

والحسابات الاقتصادية .....

1-10-3- الأسس المتبعة للحساب والتقييم الاقتصادي لإقامة نظام

لإنتاج الغاز الحيوي .....

1-10-3-1- تكاليف التأسيس والإنشاء .....

1-10-3-2- مصروفات التشغيل السنوية .....

1-10-3-3- العائد الاقتصادي السنوي .....

1-11- أنواع المخمرات .....

1-12- تصميم شبكة نقل الغاز الحيوي .....

1-12-1 تحديد قطر خط الغاز .....

1-12-2- تصفية المياه المتكثفة .....

1-12-3- موانع اللهب و صمامات الأمان .....

1-12-4- منظمات الضغط .....

1-13- معدات استخدام الغاز الحيوي .....

1-13-1-المواقد .....

1-13-2- مصابيح الإضاءة .....

1-13-3- التسخين والتبريد .....

1-13-4- إنتاج الطاقة الميكانيكية .....

1-14- صيانة الأعطال في المخمرات اللاهوائية .....

الفصل الثاني: الطاقة الشمسية .....

2-1- تحويل الطاقة الشمسية .....

2-1-1- تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية .....

2-1-1-1- المجمعات الشمسية .....

2-1-1-2- آلية عمل المجمعات الشمسية .....

2-1-1-3- مردود المجمع المسطح .....

2-1-1-4-المجمعات الشمسية الأنبوبية .....

2-2- الاستخدامات الحرارية للطاقة الشمسية .....

2-2-1- تسخين المياه بالطاقة الشمسية للاستعمال المنزلي أو الصناعي..

2-2-2- التدفئة بالطاقة الشمسية .....

2-2-3- التسخين الشمسي لأحواض السباحة المغلقة .....

2-2-4- التبريد الشمسي .....

2-2-5– التجفيف الشمسي .....

2-2-6- التقطير الشمسي .....

2-2-6-1- إنتاجية المقطر الشمسي .....

2-2-6-2- مردود المقطر الصندوقي .....

2-2-6-3- العوامل التي تؤثر على أداء المقطرات الشمسية الصندوقية ...

2-2-6-4- اقتصادية التقطير الشمسي .....

2-2-7- الأحواض الشمسية .....

2-2-7-1- الأحواض الشمسية ذات التدرج في تركيز الملح .....

2-2-7-2- إمكانيات استعمال الأحواض الشمسية .....

2-3- الطباخ الشمسي .....

2-3-1- تصنيف الطباخات الشمسية .....

2-4- تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية .....

2-4-1- التحويل الكهروضوئي .....

2-4-1-1- الخلية الشمسية .....

2-4-1-2- مبدأ وآلية عمل الخلايا الشمسية .....

2-4-1-3- أنواع الخلايا الكهروشمسية .....

2-4-1-4-الخصائص الكهربائية للخلايا والألواح الكهروشمسية .....

2-4-1-5- مردود الخلية الكهروضوئية .....

2-4-1-6-مكونات المنظومة الشمسية .....

2-4-1-7- الزوايا الشمسية .....

2-4-1-8- حساب المسافة بين صفوف الألواح الشمسية .....

2-4-2- التحويل الترموديناميكي .....

الفصل الثالث: طاقـــة الريـــاح .....

3-1– خصائص طاقة الرياح .....

3-1-1– اتجاه الريح و سرعته .....

3-1-2- الدراسة الإحصائية للرياح .....

3-1-3- طاقة الرياح المتوفرة فعليا .....

3-2- طاقة الرياح .....

3-3- أداء مراوح الهواء .....

3-4- خصائص أنظمة طاقة الرياح .....

5-3 – أنواع آلات الرياح المستعملة .....

3-5-1– الآلات ذات المحور الأفقي .....

3-5-2- الآلات ذات المحور الشاقولي .....

6-3- استخدام طاقة الرياح .....

3-6-1– ضخ المياه بواسطة طاقة الرياح .....

3-6-2- توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح .....

7-3- نظام عمل توربينات الرياح .....

3-7-1- أجزاء المولد .....

3-7-2- أجزاء العنفة الهوائية المستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية .....

3-7-3- العناصر الحسابية للعنفات الريحية .....

3-7-4- تحديد سعة بطارية الادخار .....

8-3- اقتصاديات منشآت توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح .....

الفصل الرابع: الطاقــة الجيوحرارية .....

4-1-مصدر الحرارة الجوفية .....

4-2- منابع الطاقة الجيوحرارية .....

4-3- تقنيات استثمار الطاقة الجيوحرارية .....

4-4- أمثلة على استثمار الطاقة الجيوحرارية .....

4-5- الطاقة الجيوحرارية في سورية.....

الفصل الخامس: طاقة المد والجزر .....

5-1- محطات التوليد .....

5-2- طاقة الأمواج .....

الفصل السادس: تخزين الطاقــة .....

6-1- تخـزين الطـاقة .....

6-2- دراسة أنظمة تخزين الطاقة .....

6-3– طرق تخزين الطاقة .....

6-4– تخزين الطاقة الحرارية .....

6-4-1– المدخرات الحرارية .....

6-4-2– تخزين الطاقة الحرارية تحت درجات الحرارة المنخفضة .....

6-4-3- تخزين الحرارة تحت درجات حرارة متوسطة .....

6-4-4- تخزين الحرارة تحت درجات الحرارة العالية .....

دليل المصطلحات العلمية .....

المراجع العلمية .....

الفصل الأول

تقانة إنتاج الغاز الحيوي

1-1 المقدمة:

لقد برز الاهتمام بموضوع الطاقة بصورة كبيرة في فترة القرن العشرين، حيث اتضح أن وضع الطاقة ليس مرتبطاً بتغير أسعار النفط والغاز فقط، بل أيضا على قدرة المخزون الاحتياطي من هذه المصادر القابلة للنضوب على تلبية الطلب الكبير على الطاقة نتيجة الزيادة الهائلة في السكان والتقدم التكنولوجي المصاحب لنمط الحياة، إضافة إلى ظهور نتائج سلبية على مستقبل التطور الاقتصادي والاجتماعي متمثلاً في التلوث البيئي.

إن ظهور هذه النتائج أدى على التركيز للبحث عن مصادر بديلة للطاقات التقليدية خاصة من قبل الدول الصناعية، وهذه المصادر كثيرة وملموسة في حياتنا اليومية، وهي متجددة لأنها لا تنضب أبداً، وتتمثل في الطاقة الشمسية، الكتلة الحية، الأنهار، المد والجزر والطاقة الجيوحرارية.

إن المساهمة في حل مشاكل الطاقة تقع على عاتق المجتمعات الريفية التي تكون في الأغلب مهملة وخاصة في مسألة التنمية في الدول النامية، لذا من واجباتها استثمار الإمكانيات المتاحة في الحصول على موارد الطاقة محلياً بحيث لا تلحق الضرر بالبيئة وتؤمن مصدر اقتصادي هام. لذلك فإن إنتاج الغاز الحيوي واستثماره له أهميته بالاستفادة من الطاقة الناتجة وتشغيل اليد العاملة بالوسائل والمواد الأولية المتوفرة.

وبالرغم من أن معظم التكنولوجيا المستخدمة في القطاعات الخدمية ليس لها مردود مادي مباشر، فإن إدخال تكنولوجيا الغاز الحيوي في الحالات المناسبة من أجل أن

تلبي احتياجاً حقيقياً بما يتناسب والظروف المحيطة والاستفادة من كافة مخرجاتها من طاقة، سماد، خفض التلوث البيئي وتحسين حياة المواطن الريفي، يمكن أن يجعل النظم المستخدمة مجدية من الناحية المالية وذات مردود اجتماعي عالي، بناءً على تحليل التكاليف والمنافع مع الأخذ بعين الاعتبار المردودات والعوائد المباشرة وغير المباشرة. لذا لابد من تناول هذه التكنولوجيا بنظرة المنظومة المتكاملة الشاملة.

أن أهمية إدماج تقنية الغاز الحيوي في الإطار الاجتماعي والاقتصادي والثقافي والصحي للسكان تكمن في الوصول للترابط المنطقي المطلوب. حيث لا بد أيضاً من الإشارة إلى أهمية المادة العضوية والدبال في عملية تكوين الترب وتطورها والدور الهام الذي تلعبه هذه المواد الطبيعية في خصوبة الترب وإنتاجيتها.

وتعتبر غالبية الترب السورية فقيرة بالمادة العضوية، إضافة إلى استنزاف خصوبتها نتيجة للزراعة الكثيفة التي أصبحت ضرورة لتلبي احتياجات الإنسان والحيوان. لذلك كان لابد من استثمار المصادر المحلية المتوفرة للمادة العضوية والتي تكمن في المصادر النباتية، المصادر الصناعية، رواسب البحيرات والأنهار والمصادر الحيوانية وهذه الأخيرة تعتبر الأفضل، حيث أن غالبية المصادر النباتية للأسمدة العضوية قليلة التوفر حيث لا يمكن استعمال الأسمدة الخضراء بالزراعة البعلية وعدم رغبة المزارعين بخسارة أي موسم للأرض بزراعتها بالأسمدة الخضراء التي ستقلب قبل أن تعطي إنتاجها في الترب المروية، وكون غالبية بقايا المحاصيل الحقلية تستخدم كتبن وأعلاف لتغذية المواشي في الأوقات التي لا تتوفر فيها المراعي الطبيعية، كما أن الكميات المتحصل عليها من البقايا الصناعية كصناعة السكر محدودة، أضف لذلك عدم خلو مخلفات القمامة من بعض الشوائب الفيزيائية الغير مرغوب بها وكون مخلفات الصرف الصحي قد تحتوي على بعض الأمراض الضارة بالإنسان وبعض العناصر الضارة للزراعة خاصة مناطق المعامل والمصانع والدباغات، كما أن القطر العربي السوري يتمتع بثروة حيوانية كبيرة ينتج عنها كمية كبيرة من المخلفات كما يوضح الجدول (1 - 1).

جدول (1 - 1) تعداد الثروة الحيوانية في سوريا

السنة / النوع	السنة				
	1999	2000	2001	2002	2003
الأغنام	10998460	13505235	12361824	13497481	15292722
الماعز	1045576	1049539	979325	931886	1017336
الأبقار	977944	984393	836868	866671	937098
الجاموس	2803	2824	2813	2845	2851
الدواجن	2331296	2294100	2388566	2494120	2505800

المصدر: المجموعة الإحصائية السنوية.

رغم توفر كميات كبيرة من المخلفات الزراعية بشقيها النباتي والحيواني، إلا أنها لم تستغل كمصدر للطاقة في الدول النامية بصورة مثلى، ويعزى ذلك إلى عدم استخدام التقنية المناسبة لتدويرها اقتصادياً وزراعياً وبيئياً.

ونظراً لبدء انتشار وحدات إنتاج الغاز الحيوي كمصدر للطاقة في سوريا، ولما لهذا التقانة من دور في إنتاج مادة عضوية متخمرة متميزة عما سواها، فقد واجهت هذه التقانة بعض المعوقات كالاختلافات الموسمية في درجة الحرارة وعدم تجانس المواد الخام بصفة مستمرة والحاجة لعمالة مدربة علماً أن الطقس يميل إلى البرودة حيث متوسط درجة الحرارة 20° م جدول (1 - 2).

لذا كان من الضروري إجراء الأبحاث التي تؤدي إلى تحسين إنتاجية الغاز الحيوي وتقييم الظروف الملائمة لها.

2-1 – لمحة عن أنتاج الغاز الحيوي

جدول (1 - 2) وسطي درجات الحرارة في بعض المدن السورية

السنة / المحطة	2000	2001	2002	2003	2004
دمشق	18	18	18	17	18
حمص	18	18	18	17	18
تدمر	20	20	19	19	19
حماه	19	20	19	19	19
اللاذقية	20	19	20	20	20
حلب	17	18	18	18	18
دير الزور	20	20	21	21	21
القامشلي	18	19	21	21	20
صافيتا	-	-	-	20	19
درعا	18	18	18	18	18

المصدر: المجموعة الإحصائية السنوية.

اكتشف الغاز الحيوي في عام 1776 م في إيطاليا بواسطة "الكسندر وفولتا" وعرف بغاز المستنقعات حيث كان يتولد من البحيرات المحتوية على مخلفات عضوية متحللة.

وتم إنشاء أول وحدة لإنتاج الغاز الحيوي في العالم في عام 1890 م في الهند، بينما كانت أول وحدة في أفريقيا والوطن العربي في مصر عام 1939م، ومن ثم انتشرت

وحدات الغاز الحيوي بصورة كبيرة حيث بلغت أكثر من 800 ألف وحدة منزلية و250 وحدة صناعية في الهند حتى العام 1987 م، 30 ألف وحدة في كوريا الجنوبية حتى عام 1975م، وفي الصين بلغت الوحدات المنزلية حوالي 5 ملايين وحدة و 750 وحدة كبيرة لإدارة الآلات وإنتاج الكهرباء وذلك حتى العام 1980م، بينما بلغت 49 ألف وحدة في نيبال حتى عام 1999م.

تتنوع المواد الأولية المستخدمة في إنتاج الغاز الحيوي، حيث تتكون من مادة عضوية أو عدة مواد مختلطة ومن هذه المواد الأولية:

1-المخلفات الحيوانية: تمثل مخلّفات الماشية كالأبقار والخيول وزرق الطيور، وتعد أهم المواد لتغذية المخمرات نظراً لكمياتها الكبيرة، واحتوائها على العناصر اللازمة للتخمر بنسب متوازنة، (نسبة الكربون إلى النتروجين).

2-المخلفات الآدمية: تمثل المواد الصلبة في مياه الصّرف الصّحي والمخلفات المنزلية، مصدراً هاماً لإنتاج الغاز الحيوي رغم ارتفاع نسبة النيتروجين فيها.

3-المخلفات النباتية: تتمثل ببقايا المحاصيل(قش الأرز، بقايا الذرة والقطن..)، ونواتج تقليم الأشجار، والثمار التالفة، ولها أهمية كبيرة في إنتاج الغاز الحيوي، ويفضل خلطها بمواد عضوية أخرى غنية بالنيتروجين مثل زرق الدواجن وروث الماشية.

4-المخلفات الصناعية العضوية: تمثل مخلفات بعض الصناعات احتمالات كبيرة لإنتاج الغاز الحيوي ومنها صناعة السكر والنشاء وصناعة الورق.

1-2-1- مستلزمات إنتاج الغاز الحيوي

1-المادة الأولية: وهي المخلفات العضوية البشرية، والمخلفات النباتية والحيوانية، والمخلفات الصناعية ومخلفات المدن، والطحالب المائية.

2-منشأة التخمير: تتكون منشأة التخمير بشكل أساسي من وحدة التغذية وهي حوض تجمع فيه المخلفات العضوية لإدخالها إلى المخمر، وحدة التخمير اللاهوائي، وحدة الإخراج ، خزان الغاز الموصول بشبكة أنابيب لجره إلى أماكن الاستخدام، بالإضافة إلى وحدة تجفيف السماد.

3-الخبرة: تتطلب تقنية إنتاج الغاز الحيوي خبرات بسيطة نسبياً، مما يسهل توفرها لدى الدول العربية لإنشاء أنظمة إنتاج الغاز الحيوي وصيانتها واستثمارها.

4-النتائج المادية، الاقتصادية، الاجتماعية والصحية وسبل تعميم استخدام تقنية الغاز الحيوي.

1-2-2-التخمير اللاهوائي للمخلفات العضوية:

تتألف المعالجة اللاهوائية للمواد العضوية من ثلاث مراحل أساسية، حيث تتفكك في المرحلة الأولى المواد الأساسية (سليلوز- دهون – بروتين ....)، حيث تقوم البكتريا السيللوزية بتبسيط السلسلة المتفرعة الطويلة للسيليلوز وتحولها لجزيئات سكر مزدوجة ثم لجزيئات أحادية. وبنفس الطريقة تقوم أصناف أخرى من البكتريا بتحويل المواد المعقدة لمواد قابلة للذوبان، وفي المرحلة الثانية تنمو وتزداد البكتريا الميتروفيلية وهي التي تحول المواد القابلة للذوبان لحموضة عضوية وخصوصاً لحمض الخل وحمض اللبنيك وحمض الميتانول، ثم تبدأ المرحلة الثالثة والتي تنمو خلالها البكتريا الميتانية التي تحول الحموض لغاز الميتان وثاني أوكسيد الكربون وغازات أخرى، وبالتالي يمكن تمييز عدة أنواع من التخمرات الناتجة عن البكتريا ومن أهمها: التخمرات النشادرية التي تعمل على إنتاج أملاح النشادر المحلولة والمستخدمة في العناصر الصغيرة للتغذية والتكاثر، والتخمرات الميتانية الناتجة عن المواد الهيدروكربونية التي تنتج الميتان وذلك حسب السيللوز وتتم وفق المعادلة التالية:

$$3NCH_4 + 3NCO_2 + 4{,}5Cal \rightarrow N(C_6H_{10}O_5) + NH_2O$$

بعد أن يكتمل التفاعل وفق المعادلة السابقة تبدأ مرحلة إنتاج الميتان، وتعتمد البكتريا الميتانية على بكتريا عملية الحلمة التي تقوم بتفكيك السيللوز في المرحلة الأولى، وعلى بكتريا المرحلة الثانية، وهي مرحلة إنتاج الحموض كناتج أخير لعمليات بناء ودثور البروتوبلازما في البكتريا، التي تتغذى بالكربوهيدرات حيث يكون حمض الخل

وحمض اللبنيك هما الناتجان الرئيسيان، ويعتبر حمض الخل المادة الأساسية لتشكيل الميتان.

ومن الجدير بالذكر أن البكتريا الميتانية قليلة جداً في المواد المستخدمة، وتعتبر حساسة جداً للظروف البيئية، لأنها ملزمة بالحياة اللاهوائية. ويمكن تثبيط نموها بكميات قليلة من الأوكسجين، لذلك فمن الضروري المحافظة على ظروف بيئية مناسبة للمحافظة على استمرار النمو وتنشيطه.

1-3- تصميم وإنشاء وحدات الغاز الحيوي

يتم تخمير المخلفات في الصورة السائلة أو التي يمكن تحضير معلق سائل منها في أجهزة تخمير متعددة الأشكال والتصميم، وهي تعتمد على أساس هضم المخلفات العضوية تحت ظروف لاهوائية. وقد تطورت أشكال وتصميمات وحدات الغاز الحيوي لتحقيق الأغراض الاقتصادية، الاجتماعية والبيئية. ويحدد نوع الفائدة المطلوب تحقيقها من إنشاء المخمر تصميم وحجم وحدات الغاز الحيوي، وقد تطورت بعض التصميمات الهندسية الناجحة في بعض الدول العربية والتي تلائم ظروفها.

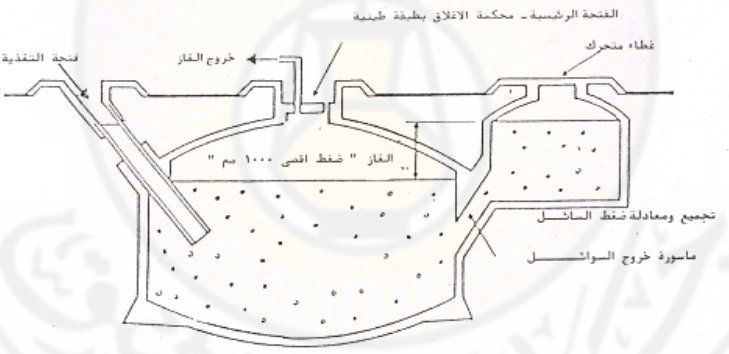
1-3-1- وحدات التشغيلة الواحدة

تعتبر من أبسط النظم، حيث يتم فيها شحن الجهاز بالمخلفات العضوية في صورة محلول أو معلق (6 - 10 % مواد صلبة) ثم يضاف البادئ، ويغلق المخمر بإحكام، وعادة يبدأ إنتاج الغاز بعد حوالي (7 - 10) أيام، ويستمر لفترة تصل إلى ستة أشهر تبعاً لنوع المخلفات ونسبة المواد الصلبة. وقد وجد أن معدل إنتاج الغاز الحيوي حوالي 0.35 /1 / يوم (حجم غاز/حجم سائل تخميري/يوم) وهي كفاءة منخفضة بالنسبة للتطور الذي حدث في مجال تصميم وحدات الغاز الحيوي.

1-3-2- وحدات التغذية المستمرة:

إن نظام التغذية المستمرة هو السريان المستمر للمخلف المحتوى على المواد العضوية داخل وحدة التخمير وخروج الكمية المساوية لمعدل التغذية من الطرف الآخر للمخمر بعد هدم نسبة المادة العضوية.

وتوجد العديد من أنظمة وحدات الغاز الحيوي الشائعة الاستخدام، أشهرها النظامين الصيني والهندي، ويتكون الأول من قمة وقاعدة على شكل نصف كرة مبنية من الطوب أو الحجارة أو الخرسانة يربطهما حائط مستقيم، ويغطى السطح الداخلي بالاسمنت لإحكامها ومنع تسرب الغاز، ويوجد وسط القبة غطاء محكم يمكن فتحه وتخرج منه ماسورة الغاز كما توجد فتحتي دخول وخروج للمواد كما في الشكل (1- 1). أما النموذج الثاني فيتم بناء قاعدة وجسم المخمر من الطوب أو الخرسانة ويغطى بغطاء معدني عائم على سطح السائل التخميري كما في الشكل (1 - 2).



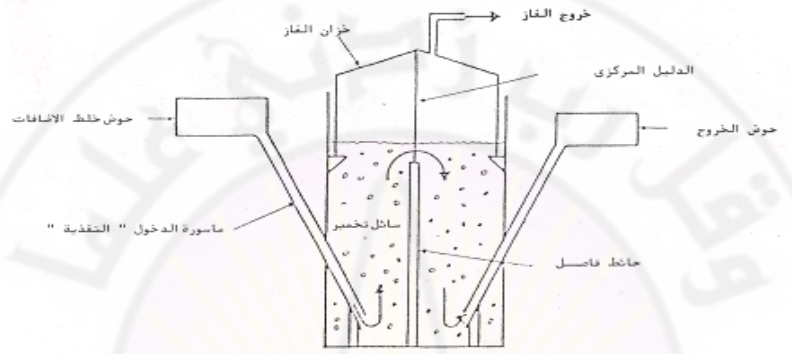
الشكل (1-1) مخمر نظام صيني

1-4- العوامل التي تؤثر على إنتاج الغاز الحيوي

لا تزال آفاق تطوير تقانة الغاز الحيوي محدودة الانتشار في سورية، نسبة إلى حداثة دخول هذه التقانة ولعدم توفر الدراسات اللازمة، إضافة إلى ضعف الكادر الإرشادي والتمويل الزراعي والاعتماد على الوقود التقليدي.

تعتبر عملية إنتاج الغاز الحيوي من الأنظمة المتكاملة حيث تتكون من مفاعل للتخمر، خزان للغاز، غرفة تغذية، منطقة تخزين وتجفيف السماد ومنطقة تواجد

المخلفات (الحظيرة). حيث أن نجاح تكنولوجيا إنتاج الغاز الحيوي يستدعي اختيار وضبط مكونات هذا النظام مع بعضها لتحقق الهدف الموضوعة لأجله، بإنتاج كمية مناسبة من الغاز إضافة إلى الحصول على سماد عضوي جيد والقضاء على الملوثات والحفاظ على بيئة نظيفة.



الشكل (1-2) مخمر نظام هندي

إن إنتاج الغاز الحيوي يتم عن طريق تخمير المخلفات العضوية الحيوانية والبشرية والبقايا النباتية وبعض المخلفات العضوية الصناعية في حفر خاصة بمعزل عن الهواء (بواسطة الكائنات الحية الدقيقة)، فيتصاعد غاز قابل للاشتعال يعرف بالغاز الحيوي، ويتكون أساساً من الميثان، ويتخلف عن عملية التخمير مادة تستخدم كسماد طبيعي يساعد على زيادة خصوبة التربة الزراعية.

ويلاحظ بساطة تقانة إنتاج الغاز الحيوي وملاءمتها لظروف الريف العربي إذ يمكن لها أن تلبي متطلباته من الطاقة وتوفر سماداً جيداً يؤدي لرفع الإنتاجية الزراعية، وهي وسيلة لتحسين المستوى الصحي والاجتماعي والمساهمة في حماية البيئة.

تختلف البكتريا اللاهوائية في تفاعلاتها عن البكتريا الهوائية، حيث أن فعل الأولى يمر بعمليات بيولوجية معقدة وحساسة لتأثير بعض العوامل إضافة لحساسيتها الدقيقة للأوكسجين الذي يبطل مفعولها، في حين أن تأثير الأخرى على المواد العضوية يتم بطريقة مباشرة من خلال أكسدتها إلى ثاني أكسيد الكربون وماء مع انطلاق كمية من

الحرارة، جدول (1 - 3)، ولذلك يمكن تقسيم العوامل التي تؤثر على إنتاج الغاز الحيوي إلى ثلاث مجموعات:

(جدول 1 - 3) مقارنة بين تخمر المواد العضوية بتأثير البكتريا اللاهوائية وتخمرها بتأثير البكتريا الهوائية.

	تخمر هوائي	تخمر لاهوائي
ظروف التخمر	* ضرورة وجود أكسجين * التفاعل بسيط ومباشر من خلال أكسدة المادة العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون وماء.	* ضرورة عدم وجود أكسجين * التفاعل معقد ويمر بمراحل متتالية ومتداخلة ويحول المادة العضوية إلى مواد بسيطة ثم إلى غاز حيوي.
نواتج التخمر	* غازات معظمها ثاني أكسيد الكربون وماء. * سماد عضوي منخفض الجودة.	* الغاز الحيوي (ميثان وثاني أكسيد الكربون) * سماد عضوي عالي الجودة.
الطاقة المتولدة	* تنطلق مباشرة في صورة حرارة أكسدة.	* تختزن في صورة محتوى حراري بالغاز الحيوي أساساً.
الأجهزة المستخدمة	* لا يحتاج إلى أجهزة خاصة بل يكتفي بتكويم المخلفات وتقليبها بين حين وآخر. وفي العمليات الكبيرة قد يتطلب الأمر أجهزة نفث هواء.	* استخدام أجهزة خاصة لضمان العزل التام عن الهواء ومعزولة حرارياً مع تقليب.

1-4-1- عوامل خاصة بالمخلف المستخدم

تأتي المخلفات التي يمكن أن تستخدم في إنتاج الغاز الحيوي من مصادر متعددة كروث الحيوانات، زرق الدواجن، المخلفات الآدمية، بقايا المحاصيل، مخلفات

الصناعات الغذائية ومياه الصرف الصحي. ويحدد التركيب الكيماوي والقابلية للتحلل الميكروبي والصفات الطبيعية للمخلف مدى صلاحيته للهضم اللاهوائي وقدرته على إنتاج الغاز الحيوي، حيث أن إنتاج الغاز من واحد كيلو غرام مادة صلبة يكون حوالي (0.28 - 0.56 - 0.36 - 0.64) م^3 في حالة روث الماشية، روث الخنازير، زرق الدواجن وحمأة المجاري على التوالي. ومن أهم العوامل الخاصة بالمخلف:

1 ـ العناصر الغذائية في المخلف:

للحصول على أعلى إنتاج من الغاز الحيوي لا بد من الحفاظ على أقصى نشاط للبكتريا المشاركة في عملية الهضم اللاهوائي وذلك بتوفير العناصر الغذائية اللازمة لنموها، مثل الكربون، النيتروجين، الفوسفور وبعض العناصر الأخرى، وأمثل نسبة لها (150 كربون: 5 نيتروجين: 1 فوسفور). ونسبة الكربون إلى النيتروجين في بعض المخلفات بالتقريب (25 – 15 – 3 – 83 – 67) لكل من روث الماشية، زرق الدواجن، مخلفات آدمية، تبن قمح وقش أرز على التوالي. والجدول (1 ـ 4) يوضِّح كمية ومحتوى مخلفات بعض الحيوانات من العناصر الغذائية الضرورية لعملية الهضم اللاهوائي.

إن أمثل نسبة للكربون إلى النيتروجين تعادل (25 - 30: 1) وأن نسبة أقل من (10: 1) تكون مثبطة. وأوضحت الدراسات أن روث الأبقار يعتبر من أفضل المخلفات في مجال إنتاج الغاز الحيوي، حيث أن إنتاج البقرة الواحدة من المخلفات خلال يوم واحد 1200 لتر تقريباً. وتعتمد كمية الغاز الحيوي على تغذية ونوع الحيوان المنتج للمخلف. الجدول (1 ـ 5) يوضّح كمية الغاز الممكن إنتاجه من المواد المختلفة.

2 ـ الصفات الطبيعية للمخلف:

إن الصفات الطبيعية للمخلف تؤثر على إنتاج الغاز الحيوي، حيث أن المخلفات السائلة الغير محتوية على مواد صلبة لا توفر سطوحاً تتواجد عليها البكتريا، يقلل من إنتاجية الغاز الحيوي، لذا تحتاج هذه المخلفات لوحدات ذات تصميم خاص، كما تزداد إنتاجيته بزيادة تفتيت مادة المخلف.

جدول رقم (1 ـ 4) كمية المخلفات المنتجة وتركيبها لبعض الحيوانات

الحيوان	الإنتاج اليومي				التركيب		
	وزن الحيوان الحي 1000 رطل		وزن الحيوان الحي 500 كغ		أحماض طيارة	نتروجين	فوسفور
	الحجم (قدم^3)	الوزن الرطب (رطل)	الحجم (م^3)	الوزن الرطب (كغ)	نسبة مئوية من الوزن الرطب	نسبة مئوية من الوزن الرطب	نسبة مئوية من الوزن الرطب
الأبقار الحلوب	1.33	76.9	0.038	38.5	7.98	0.38	0.10
أبقار اللحم	1.33	83.3	0.038	41.7	9.33	0.70	0.20
الخنازير	1.00	56.7	0.028	28.4	7.02	0.83	0.47
الضأن	0.70	40.0	0.020	20.0	21.5	1.00	0.30
الدواجن	1.00	62.5	0.028	31.3	16.8	1.20	1.20
الخيول	0.90	56.0	0.025	28.0	14.3	0.86	0.13

المصدر: Fogg، (1971).

3 ـ وجود مواد مثبطة لنمو ونشاط البكتريا:

وجد أنه تؤثر التركيزات العالية لبعض المواد مثل المبيدات، المنظفات الصناعية، المضادات الحيوية والمعادن الثقيلة، عل قدرة البكتريا على العمل، كما يجب أن لا يزيد تركيز الأمونيا والأحماض الدهنية الطيارة عن 3 جم/ لتر.

جدول رقم (1 ـ 5) كمية الغاز الحيوي الممكن إنتاجه من المواد المختلفة:

مواد التغذية	نسبة الكربون إلى النيتروجين	إنتاج الغاز ليتر / كغ مادة صلبة	نسبة الميثان (%)
مخلفات حيوانية			
روث ماشية	15	280 - 260	60 - 50
روث خنزير	13	561	-
روث خيل	20	300 - 200	-
روث دواجن	16	360	-
مخلفات نباتية			
باست الماء الطازج	20	630	70
مخلفات الكتان	-	370	-
تبن القمح	80	430	-
سرس الأرز	80	615	-
مخلفات المجاري	15	640	-
مصانع إنتاج الكحول	-	600 - 300	58
المواد الغذائية			
الكربوهيدرات	-	750	49
الدهون	-	1440	72
البروتين	-	980	50

1-4-2- العوامل المؤثرة على محلول التخمير:

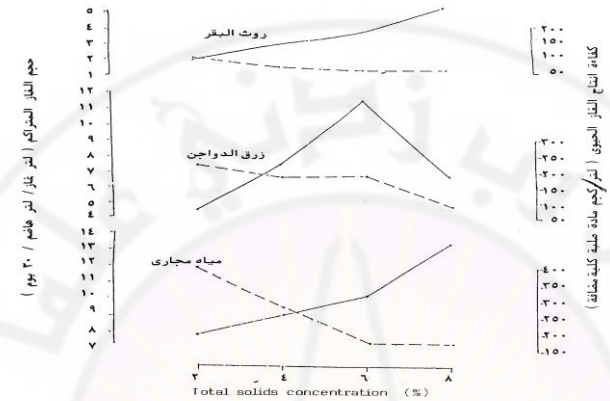
1 ـ درجة الحرارة:

توجد مجموعتان من بكتيريا الميثان حسب درجة الحرارة المثلى لنموها وإنتاجها للميثان، حيث تعرف المجموعة الأولى بالبكتيريا المحبة للحرارة المتوسطة درجة الحرارة المثلى لها (35°م). في حين تعرف المجموعة الثانية بالبكتريا المحبة للحرارة المرتفعة وأفضل نمو لها عند درجة 55° م، وفي كلا الحالتين يجب عدم تعريض محلول التخمير لتغيرات حادة في درجة الحرارة. إن معدل التفاعلات الكيميائية والتغذية والنمو للأحياء الدقيقة يزيد بزيادة درجة الحرارة في المدى الحراري المحتمل لتلك الميكروبات. وقد صنفت بكتيريا الميثان إلى ثلاث مجموعات حسب تكيفها مع درجة الحرارة فالمجموعة الأولى تسمى البكتيريا المحبة للبرودة وتعمل في مدى 10 - 25 °م وإنتاج الميثان في هذه الدرجة غير شائع، أما المجموعة الثانية وهي البكتيريا المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة وتكون في قمة نشاطها في مدى 35 – 37°م ، في حين المجموعة الثالثة تسمى البكتيريا المحبة للحرارة وتفضل درجات الحرارة ما بين 55 إلى 60° مئوية. لذلك فإن عملية التخمير وإنتاج الغاز الحيوي تتأثر بشكل كبير باختلاف درجات الحرارة. تلعب درجة حرارة المخمر دور رئيسي وكبير في عملية إنتاج الغاز الحيوي. وقد استخدمت درجة الحرارة (35° م) للمخمر. وينخفض معدل إنتاج الغاز الحيوي خلال فصل الشتاء ويرتفع في فصل الصيف، وأن درجة حرارة الهواضم الصينية تزيد عنها في الهندية بقليل.

2 - تركيز المواد الصلبة الكلية:

إن معدل إنتاج الغاز الحيوي يزداد بزيادة تركيز المواد الصلبة الكلية في محلول التخمير إلى حد معين تبعاً لنوع المخلف المستخدم، وتحديد التركيز الأمثل يعتمد على حجم المخمر والموازنة بين التكلفة والعائد، درجة الحرارة، سهولة سريان محلول التخمير إلى ومن المخمر، تركيز الأمونيا الناتج عن هضم المخلف وتركيز الأحماض الدهنية الطيارة الناتجة. والتركيز الأمثل في حالة روث الأبقار يتراوح بين 8 - 10% بينما في زرق الدواجن بين 6 - 7%. إن المحافظة على تركيز المواد الصلبة الكلية بنسبة

8 - 10% يساعد على السريان ويحافظ على التوازن. حيث يبين الشكل (1-3) العلاقة بين تركيز المادة الصلبة الكلية وإنتاج الغاز الحيوي.



الشكل (1 - 3) العلاقة بين تركيز المادة الصلبة الكلية وإنتاج الغاز الحيوي

3 - درجة حموضة المحلول المتخمر (PH):

إن الحفاظ عل درجة حموضة المواد المتخمرة عند الحد الأمثل يمثل عاملاً هاماً في إنتاج الغاز الحيوي، والمدى المناسب من درجات الحموضة يتراوح بين 6.6 – 7.4 وأفضل إنتاج للغاز يكون عند درجة حموضة 7.0 – 7.2، في حين أنه يتوقف عند درجة حموضة أقل من 4.5. ويتم تصحيح انخفاض الحموضة عن طريق وقف التغذية لفترة معينة أو إضافة مواد تحتوي على نسبة عالية من البروتين أو إضافة محاليل قلوية مثل ماء الجير. إن بكتيريا الميثان تعمل بكفاءة في حدود درجة حموضة 6.8 – 8.5 بينما الدرجة المثلى 7.0 .

4 - إضافة البادئ

إن عملية هضم المواد العضوية لا تحتاج إلى تواجد البكتيريا المتخصصة بأعداد مناسبة. حيث أن إضافة بادئ من 5 - 25 % من حجم محلول التخمير الجديد تؤدي إلى

زيادة إنتاج الغاز الحيوي زيادة كبيرة بالمقارنة مع إضافة نسبة من مخلوط تخمير نشط إلى المخمر عند بداية التشغيل. ويحتوي روث الماشية على بكتيريا التخمر ولكن إضافة البادئ يسرع بعملية التخمير.

1-4-3- العوامل الخاصة بتشغيل وحدات الغاز الحيوي

1 ـ نظام التغذية:

توجد طريقتان لتغذية المخمر، تعرف الطريقة الأولى بنظام التغذية مرة واحدة، حيث يتم تعبئة المخمر بمحلول المواد العضوية لمرة واحدة، ويترك بدون تغذية حتى انتهاء عملية إنتاج الغاز وبعدها يتم تفريغه من المحلول المتخمر وتعبئته من جديد. دلت نتائج هذه الطريقة على تغير إنتاج الغاز بمرور الوقت حيث يكون منخفض في البداية ثم يزداد تدريجياً ليصل إلى أقصى معدل له، ثم يبدأ في الانخفاض حتى يتوقف تماماً. أما الطريقة الثانية فتعرف بنظام التغذية المستمرة وفيها يتم تغذية المخمر على فترات تتراوح بين عدة ساعات في حالة الوحدات عالية الكفاءة التي تتعامل مع محاليل منخفضة التركيز، أو تغذية يومية في حالة المخمرات العادية، ويكون معدل إنتاج الغاز ثابت تقريباً طوال فترة تشغيل الوحدة. إن معدل التغذية يحسب غالباً على أساس درجة تركيز المادة العضوية الجافة في محلول التخمر كنسبة مئوية في حالة نظام التغذية الواحدة، في حين يحسب معدل التغذية بمقدار المادة العضوية الجافة بالكيلوجرام المضافة لكل متر مكعب من حيز التخمر في اليوم الواحد (كيلوجرام مادة جافة / م^3 / يوم) في حالة نظام التغذية المستمرة. ويعتمد معدل التغذية على نوع وطبيعة المادة العضوية المستخدمة ومدى قابليتها للتحلل، درجة الحرارة، زمن الاحتباس، حجم المخمر وكمية الغاز المطلوبة. إن معدل التغذية هو كمية التغذية اليومية بالمواد العضوية مقسومة على حجم المخمر، وزيادة التغذية يرفع إنتاج الغاز الحيوي إلى حد معين، أما زيادة التغذية بدرجة كبيرة تسبب تراكم الأحماض العضوية لعدم تمكن البكتيريا من تحويله إلى غاز.

2 ـ زمن بقاء المادة المتخمرة في المخمر

يعرف زمن البقاء بمتوسط عدد الأيام التي يمكثها المحلول المتخمر داخل المخمر، ويتأثر بعوامل كثيرة منها خواص المادة العضوية المستخدمة، درجة الحرارة ونوع المخمر المستخدم، حيث يتراوح بين 20 - 30 يوم. ويجب أن يزيد الحد الأدنى لزمن البقاء عن الزمن اللازم لتكاثر بكتيريا الميثان حتى لا تزال من المخمر بسرعة أكبر من سرعة تكاثرها، ولذلك ينبغي ألا يقل زمن البقاء عن خمسة أيام. وعموماً يحسب زمن البقاء بقسمة الحجم الفعال للمخمر على حجم محلول المواد العضوية المضافة إلى المخمر في اليوم. إن زمن البقاء للعديد من المخلفات الحيوانية يتراوح بين 30 – 45 يوم.

3 - تقليب محتويات المخمر:

إن عملية تقليب محتويات المخمر تساعد على رفع كفاءة الهضم وزيادة إنتاج الغاز، لأن التقليب يمنع تكون طبقات منفصلة في المحلول، يزيد من فرص تلامس المواد مع البكتيريا، تجانس درجة الحرارة ويسهل تصاعد فقاعات الغاز. وقد وجد أن تقليب محتويات مخمر يعمل على مخلفات آدمية أدى إلى زيادة حجم الغاز الناتج إلى 80 %. حيث تحدد التجربة وتصميم المفاعل اختيار التقليب المناسب وسرعته. إن التقليب يمكن أن يكون يدوي أو ميكانيكي أو بإعادة دورات المحلول أو الغاز، تم استخدم أداة تقليب ميكانيكية ريشية لمفاعل حجمه 40 لتر، حيث كانت عدد دورات الخلاط 60 دورة في الدقيقة، لمدة 15 دقيقة في الساعة. إن أفضل وسيلة للتقليب هي التحريك الآلي، حيث أن الزيادة في إنتاج الغاز تتراوح بين 10 – 15 %.

1-5- المتطلبات الأساسية لإنشاء أنظمة إنتاج الغاز الحيوي

1-5-1- متطلبات اختيار الموقع: يتحدد اختيار الموقع طبقاً لعدد من العوامل والمقاييس وأهمها:

1- نوع التربة: حيث يؤثر ذلك على تكاليف الإنشاء وذلك بصلابتها، قابليتها للانكماش أو التمدد ومستوى المياه السطحية.

2- مساحة الأرض المتاحة: لا بد من توفر المساحة لبناء النظام بأكمله.

3- القرب من مصادر المخلفات: يفضل اختيار الموقع في أقرب مسافة ممكنة من مصادر المخلفات لتقليل تكاليف النقل.

4- القرب من مناطق الاستخدام: يجب أن يكون إنشاء الوحدة بالقرب من أماكن الاستخدام تخفيفاً للنفقات إضافة إلى أن ضغط الغاز منخفضاً نسبياً.

5- توفر مصادر للمياه: وذلك بغرض خلط المخلفات بنسبة معينة من المياه.

1-5-2- المتطلبات الأساسية لاختيار التصميم الملائم: وتحدد بالمتطلبات التالية:

1- اختيار التصميم البسيط.

2- توفر مواد الإنشاء.

3- ملاءمة التطبيق في الأماكن المختلفة وفي ظروف بيئية مختلفة.

4- توفر المادة العضوية الملائمة للتصميم المقترح.

5- العامل الاقتصادي والبيئي لإنشاء الوحدة.

1-6- تحديد حجم وحدات إنتاج الغاز الحيوي:

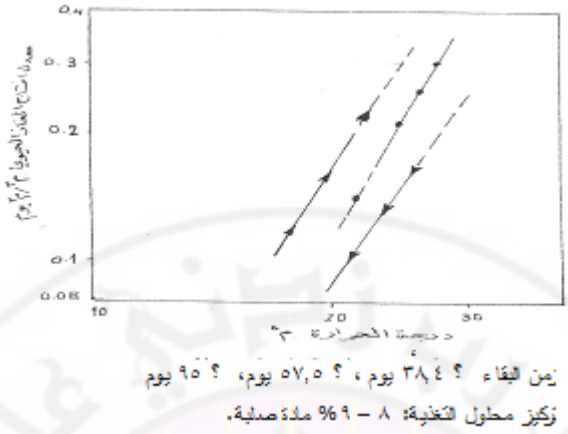
إن حجم المخمر يتعلق بالسعة أو الحجم الفعال للمحلول الممكن استقباله في الوحدة، ويرتبط بعوامل أهمها: الكمية المتاحة من المخلفات، درجة حرارة الجو، درجة حرارة التخمير، والحجم المطلوب من الغاز. ويتم حساب حجم المخمر بالمعادلة:

حجم المخمر = حجم التغذية اليومي (م3 / يوم) × زمن البقاء (يوم)

حيث:

- حجم التغذية اليومي = حجم المخلوط بعد التخفيف إلى التركيز(8 - 10)%

- زمن البقاء يمكن تحديده بالاستعانة بالشكل (1 - 4) كتابع لدرجة الحرارة.



شكل (1 – 4) تأثير درجات الحرارة على معدلات انتاج الغاز

1-7- تحديد سعة خزان الغاز:

إن حجم خزان الغاز الفعال هو حجم التخزين الفعلي للغاز، وترتبط سعة خزان الغاز بكمية الإنتاج ونمط الاستهلاك اليومي للغاز، حيث يتم تخزين الغاز المنتج في الساعات التي لا يستخدم فيها، وتصل إلى 12 ساعة يومياً، وعلى ذلك تصمم سعة الخزان بحيث تستوعب 50% من الإنتاج اليومي من الغاز.

1-8- نواتج الهضم اللاهوائي:

1-8-1 السماد العضوي

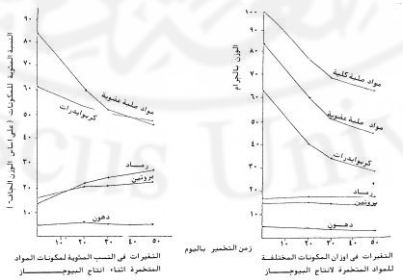
يتميز سماد التخمير اللاهوائي عن السماد العضوي الناتج عن طريق الطمر، باحتوائه على نسبة عالية من العناصر التسميدية مثل النيتروجين، الفوسفور والعناصر الصغرى مما يضعه في مرتبة الأسمدة المتكاملة، بل يتفوق عليها بوجود بعض الفيتامينات ومنظمات النمو، إضافة إلى مادة الدبال العضوية التي تحسن من خصائص التربة الزراعية، وذلك بفعل تنشيطها للبكتيريا والفطريات وبكتيريا تحليل السيليلوز الهوائية وبكتيريا تثبيت النيتروجين علاوة على رفع معدلات امتصاص النيتروجين

والفوسفور الجدول (1-6). حيث يبين الشكل (1-5) التغيرات التي تحدث للمواد المتخمرة أثناء إنتاج البيوغاز. هذا وقد وجد أن لسماد الغاز الحيوي تأثيران:

جدول (1 - 6) محتوى سماد الغاز الحيوي من العناصر الغذائية مقارنة بالسماد البلدي

مكونات السماد	سماد الغاز الحيوي				السماد البلدي (FYM)			
	عناصر كلية		عناصر ميسرة		عناصر كلية		عناصر ميسرة	
	% كغ / م3		% كغ / م3		% كغ / م3		% كغ / م3	
مادة عضوية	6.3	63.0	-	-	-	40	-	-
آزوت	1.3	13.0	0.665	1.65	0.3	3	0.01	0.1
فو 2أ5 (فسفور)	0.45	4.5	0.0034	0.034	0.2	2	0.023	0.023
بو 2أ (بوتاسيوم)	0.24	2.4	0.06	0.6	0.1	1	0.03	0.3
زنك	0.003	0.003	0.0001	0.001	0.001	0.001	0.00006	0.0006
	0.0006.	0.006	0.00047	0.0047.	0.003	0.003	0.00014	0.0014
	0.001	0.01	0.00066	0.0066	0.0046	0.046	0.002	0.002
	0.00002	0.0002	0.0001	0.001	0.0005	0.0005	0.00001	0.01

المصدر: AOAD، 1992.



الشكل (1-5) التغيرات التي تحدث للمواد المتخمرة أثناء إنتاج الغاز الحيوي

أحدهما مباشر وسريع على النبات والآخر بطيء يمكث بالتربة لتستفيد منه المحاصيل اللاحقة، إضافة إلى رائحته المقبولة ولا يجذب الحشرات ويخلو من الميكروبات والطفيليات الممرضة. إن المزروعات التي تنمو في تربة مسمدة بالمواد العضوية تكون أكبر وأقوى وأقل عرضة للآفات. وبالرغم من أن استعمال الأسمدة الكيميائية يزيد من الإنتاجية الزراعية مؤقتاً، إلا أنها تتسبب في تدني إنتاجية التربة، وإنتاج محاصيل محملة بالبقايا الكيميائية مما يؤثر على صحة الإنسان.

إن مادة الدبال المتخلفة عن التخمر اللاهوائي تعتبر مصدر غذائي هام للنبات حيث يحرر بتفككه العناصر الغذائية الهامة مشكلاً خزان للعناصر المغذية. الجدول (1-7) يوضح محتوى مخلفات الأبقار من العناصر الأساسية. كما يؤدي إلى تحرير بعض الأحماض العضوية التي تساعد في تحسين التربة وتؤدي إلى خفض درجة حموضة التربة (PH) على المدى البعيد والذي يساعد بدوره على زيادة انحلال مركبات الكالسيوم، زيادة انحلال المركبات الفسفورية، كما تمنع المادة العضوية عملية إنغسال مركبات الكالسيوم والمغنيزيوم بربطها، كما يساعد على تشجيع النشاط الحيوي في التربة.

جدول(1 - 7) محتوى مخلفات الأبقار الطازجة أو الرطبة من العناصر الأساسية:

العناصر الأساسية	%
ماء	75
مادة عضوية	21
آزوت كلي	0.5
آزوت أمونياكي	0.25
فسفور P_2O_5	0.25
بوتاسيوم K_2O	0.6
كالسيوم CaO	0.35
مغنسيوم MgO	0.15

1-8-2- الغاز الحيوي

1-مكونات الغاز الحيوي:

إن الغاز الحيوي يتكون أساساً من غاز الميثان وغاز ثاني أكسيد الكربون ونسبة ضئيلة من غاز كبريتيد الإيدروجين. ويوضح الجدول (1- 8) بعض صفات الغازات المكونة للغاز الحيوي، بينما يوضح الجدول (1-9) التأثيرات الصحية لمكونات الغاز الحيوي. إن الغاز الحيوي يعطي عند احتراقه لهب أزرق باهت بدون دخان، وأن القيمة الحرارية للغاز الحيوي تتراوح من (16000 –25000) كيلوجول /م3.

جدول (1 - 8): صفات الغازات المكونة للغاز الحيوي

الغاز	درجة الحرارة الحرجة		الضغط الحرج	
	فْ	مْ	رطل/بوصة^2	كغ/سم^2
الميثان CH_4	-115.8	-82.1	673	47.3
ثاني أوكسيدالكربون	87.8	31.0	1.072	75.3
كبريتيد الهيدروجين	212.7	100.4	1.307	91.9
الأمونيا NH_3	270.5	132.5	1.654	116.3

المصدر: Weast، 1975.

كما يبين الجدول (1–10) الطاقة الحرارية للغاز الحيوي مقارنة بمصادر أخرى. بينما يوضح الجدول (1–11) كفاءة تحويل الوقود لطاقة حرارية.

وتتراوح نسبة غاز الميثان بين 60 – 65 % بينما غاز ثاني أكسيد الكربون بين 30 – 35 % ونسبة ضئيلة من الغازات الأخرى مثل كبريتيد الهيدروجين.

جدول (1 - 9): التأثيرات الصحية لمكونات الغاز الحيوي:

الغاز	التركيز الحرج*	التركيز جزء في المليون (ppm)	الحجم	زمن التعرض**	التأثيرات الصحية
CH_4	-	500.000	50	-	خانق – صداع – غير سام
CO_2	5.500	20.000	2	-	أمن (لا تأثير)
		30.000	3	-	سرعة التنفس
		40.000	4	-	نعاس (خمول) – صداع
		60.000	6	30ق	صعوبة التنفس وشبه اختناق
		300.000	30	30ق	
H_2S	20	100	0.01	ساعات	التهاب الأنف والعين
		200	0.02	60ق	صداق – دوار
		500	0.05	30ق	غثيان – هياج – أرق
		1000	0.10	-	إغماء – وفاة

جدول (1 - 10): الطاقة الحرارية للغاز الحيوي مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى

مصدر الطاقة	الوحدة	الطاقة الحرارية (كيلو سعر)	المكافئ للمتر المكعب غاز حيوي 65 % ميثان (600 كيلو سعر)
فحم حجري	كغ	7080	0.74
خشـــــــب (12 % رطوبة)	كغ	4300	1.21
كيروسين	لتر	8992	0.58
بنزين	لتر	8400	0.67
غاز طبيعي	$م^3$	9340	0.56

المصدر: الدورة التدريبية حول استخدام تكنولوجيا الغاز الحيوي – مصر – 1992 المنظمة العربي للتنمية الزراعية (AOAD) جامعة الدول العربية.

2 - استخدامات الغاز الحيوي

يمكن استعمال الغاز الحيوي كوقود في عمليات الطهي، الإضاءة، التسخين، التبريد، تشغيل المعدات الميكانيكية وإنتاج الكهرباء. وقد وجد أن كل كيلوواط/ ساعة يحتاج إلى حوالي (0.6 - 0.7) م3 غاز، وأن تحويل الغاز إلى كهرباء يرفع الكفاءة إلى عدة أضعاف. والجدول (1-12) يوضح استهلاك بعض الأجهزة من الغاز الحيوي.

1-9- الآثار الاجتماعية:

يجب أن يكون التطور الذي يحدث في مجتمع ما في اتجاه تأمين جميع متطلبات هذا المجتمع وذلك بالاعتماد على الذات أي بمشاركة جميع السكان وباستخدام التقنيات الملائمة التي تعلب دوراً رئيسياً في تحقيق هذا التطور المنشود.

جدول (1 - 11): كفاءة تحويل الوقود لطاقة حرارية لمواد مختلفة.

الوقود	الوحدة	الطاقة الحرارية (كيلو سعر)	الكفاءة %
غاز حيوي	$م^3$	5600	60
الخشب	كغ	5000	10
حطب القطن	كغ	4000	10
حطب الذرة	كغ	3600	10
قش الأرز	كغ	3500	10
باجاس القصب	كغ	4000	10
أقراص الروث والحلة	كغ	3700	10

المصدر: AOAD، 1992.

إن إدخال تقنية الغاز الحيوي إلى المجتمع الريفي السوري سيكون وسيلة لإحداث تغييرات فيه، خاصة في مجال الإنتاج والاستهلاك، إذا كان دخولها ناتج عن قناعة أفراد هذا المجتمع بجدواها الاجتماعية والاقتصادية.

تتمثل آثار هذه التقنية من الناحية الوطنية في إنعاش الريف وتنميته، أثرها على الصحة العامة، خلق فرص عمل مناسبة وتطوير مصادر الوقود.

1-10- الجدوى الاقتصادية:

توجد أسس علمية مرتبطة بالدراسات والتقييم الاقتصادي لنظم استخدام تكنولوجيا الغاز الحيوي وتطبيقها بالمناطق الريفية، وتتضمن الدراسة الاقتصادية؛ دراسة خاصة بوضع وحالة سوق استخدام نظم إنتاج الغاز الحيوي، دراسة العناصر المؤثرة على تكلفة إنشاء النظام ودراسة التحليل المالي وتحديد قيمة التكلفة ومصادر التمويل. وقد دلت

العديد من الدراسات على الجدوى الاقتصادية لاستخدام هذه التكنولوجيا خاصة في المناطق الريفية.

جدول (1 - 12): الاحتياجات من الغاز الحيوي للاستخدامات المختلفة:

الغرض	المواصفات	المعدل التقريبي لاستهلاك الغاز
الطبخ لأسرة متوسطة	خمسة أفراد	1.50 م^3/ يوم
موقد صغير	قطر 3 سم	0.23 م^3/ساعة
موقد متوسط	قطر 4.5 سم	0.30 م^3 / ساعة
موقد كبير	قطر 6 سم	0.39 م^3 / ساعة
فرن	متوسط الحجم	0.50 م^3 / ساعة
الإضاءة	كلوب برتينة واحدة	0.07 م^3 / ساعة
آلة احتراق داخلي	حصان	0.50 م^3 / ساعة
توليد طاقة كهربائية	كيلووات	0.80 م^3 / ساعة
ثلاجة تبريد	6 قدم ^{3}	1.20 م^3/ يوم
حضانة	قدم^3	0.015 م^3 / ساعة
دفاية مزارع دواجن	طول 60 سم	0.50م^3 / ساعة

المصدر: singh (1972)

1-10-1 الدراسات الميدانية:

تعتبر هذه الدراسات من الأهمية لتحديد حجم الطلب وتقدير مدى الحاجة إلى مصادر للطاقة عموماً واستخدام تكنولوجيا الغاز الحيوي على وجه الخصوص. وتتطرق هذه الدراسات إلى التعرف على بعض الجوانب الآتية:

1-توصيف للوضع الراهن للمخلفات وتحديد كمياتها وأنواعها وأسلوب استخدامها أو أسلوب التخلص منها. ودراسة مدى إتاحة هذه المخلفات للاستخدام في إنتاج الغاز الحيوي.

2-تحديد نوع وكمية مصادر توليد الطاقة المتاحة وأسلوب استخدام هذه المصادر وتحديد الفائدة من استخدام نظام الغاز الحيوي كمصدر بديل لهذه المصادر.

3- تحديد مدى ملائمة استخدام الأسمدة العضوية وإحلالها بدلاً من الأسمدة الكيماوية أو جزء منها وتقدير حجم العائد من ذلك.

4- دراسة أسلوب الصرف الصحي بالمنطقة وتحديد وضع الغاز الحيوي المنافس لهذا الأسلوب.

5- تحديد مدى توافر العمالة اللازمة لإنشاء وتشغيل نظام إنتاج الغاز الحيوي. وكذا العمالة المدربة على إصلاح وصيانة هذا النظام وتحديد مستويات الأجور لهذه العمالة.

6- تحديد مدى توافر مواد البناء اللازمة للإنشاء وكذا المستلزمات الأخرى ومعدات استخدام الغاز وتحديد أسعارها.

ومن الضروري أخذ الملاحظات التالية في الاعتبار عند تحليل وتقييم البيانات الميدانية، على الرغم من صعوبة تقدير القيمة المالية لها لإدخالها ضمن الدراسة الاقتصادية إلا أنه يمكن بإيجابياتها وسلبياتها ضمن موازين الدراسة الاقتصادية الأخذ بها بعين الاعتبار:

إ- تخزن المخلفات الزراعية والروث المجفف في معظم المناطق الريفية فوق أسطح المنازل وهذا يزيد من احتمالات انتشار الحرائق.

ب- يتم حرق هذه المخلفات مباشـــــــــــــرة في مواقد وأفران بدائية ومنخفضة الكفاءة (5 - 10 %) مما يؤدي إلى فقد نسبة كبيرة من طاقتها الكامنة.

ج - حرق المخلفات تسبب عنه تلوثاً ضاراً بالصحة لما تسببه من أمراض العيون والصدر ناجمة من الأدخنة الناتجة عن طريقة الحرق المستخدمة.

د - الحرق المباشر للمخلفات يؤدي إلى فقد كمية هائلة من المواد العضوية التي تصلح إما كعلف للحيوان أو كمادة تسميدية لازمة للأرض الزراعية.

هـ - نتيجة لتجمع المخلفات العضوية إما بالحظائر داخل المنازل أو بجوارها فإن ذلك يؤدي إلى توالد الحشرات والديدان وانبعاث روائح كريهة تؤثر مباشرة على البيئة المحيطة بهذه ال

و - ينتج بعد عملية التخمير اللاهوائي بقايا المواد العضوية محتفظة بكل العناصر التسميدية الموجودة أصلاً في هذه المخلفات من نيتروجين وفوسفور وبوتاسيوم والعناصر الأخرى بالإضافة إلى المادة العضوية المعروفة باسم " الدبال " وبذلك فهي تعتبر سماداً عضوياً عالي الجودة علاوة على خصائصه الفعالة في تحسين التربة. منازل.

ز - عملية التخمير اللاهوائي يتيح فرصة كبيرة لقتل الميكروبات الممرضة والطفيليات وبالتالي فإن القضاء على معظمها يؤدي إلى تحسين الظروف الصحية للمجتمع الريفي.

1-10-2 بعض البيانات الأساسية اللازمة للتقييم والحسابات الاقتصادية:

1- بيانات حرارية:

- القيمة الحرارية للروث الجاف = 2000 كيلو كالوري / كغ

- القيمة الحرارية للمخلفات الزراعية = 4000 كيلو كالوري / كغ

- القيمة الحرارية للكيروسين = 11000 كيلو كالوري / كغ

- القيمة الحرارية لغاز البوتان = 10900 كيلو كالوري / كغ

- متوسط القيمة الحرارية للغاز الحيوي = 5600 كيلو كالوري / م^3

= 4600 كيلو كالوري / كغ

مع الملاحظة أن القيمة الحرارية تختلف باختلاف نسبة ما يحتويه الغاز الحيوي من مواد قابلة للاشتعال مثل الميثان والهيدروجين.

كفاءة الاحتراق بالنسبة للروث الجاف والمخلفات الزراعية باستخدام الأجهزة التقليدية	= أقل من 10 %
كفاءة الاحتراق بالنسبة للكيروسين	= 50 %
كفاءة الاحتراق لغاز البوتان	= 60 %
كفاءة الاحتراق للغاز الحيوي	= 60 %

2- مواصفات المخلفات ونواتج الهضم:

- متوسط ما يخرجه الحيوان (أبقار كبيرة) يومياً من الروث = 10 كغ / يوم بنسبة حوالي 20 % مادة صلبة.

- المادة الصلبة العضوية بالروث تمثل 70 % من المادة الصلبة الكلية.

- المادة الصلبة العضوية الخارجة من الهاضم تساوي حوالي 70 % من المادة الصلبة العضوية الداخلة في الهاضم.

- نسبة محتوى العناصر في الروث الجاف هي كما يلي:

- آزوت 1.45 % ولا يفقد شيئاً
- فوسفور 0.45 % ولا يفقد شيئاً محسوب على أساس فو$_2$ أ$_5$

- بوتاسيوم 0.24 % ولا يفقد شيئاً محسوب على أساس بو^2 أ

ـ نسبة الروث الناتج يومياً والقابل للاستخدام في وحدة الغاز الحيوي تعتمد على زمن بقاء الحيوان داخل الحظائر وكذا على كمية الروث الممكن تجميعها من خارج الحظائر.

ـ كمية الروث الجاف الناتجة يومياً تتناسب مع وزن الحيوان ونظام تغذيته ويمكن في المتوسط حساب كمية الروث الجاف الناتجة يومياً بمقدار حوالي 0.52 % من وزن الحيوان.

من المعروف أن التقييم الاقتصادي لأي مشروع يعتمد أساساً على تحديد قيمة ما ينفق على إقامة وإنشاء وإعداد هذا المشروع للتشغيل ومصاريف التشغيل السنوية، وتحديد قيمة العائد السنوي والمنفعة المتولدة من استخدام نواتج هذا المشروع. ثم مقارنة قيم المعدلات السنوية للإنفاق مع المعدلات السنوية للمنافع لكي يمكن تحديد قيمة وحجم المكسب أو الخسارة.

ويمكن اعتبار نظام توليد الغاز الحيوي كأحد هذه المشروعات مثله مثل مشروع إقامة أية منشأة صناعية أو خدمية يتحدد إقامتها اقتصادياً بقيمة المكاسب والمنافع العائدة منها. ولذلك فإنه من الأهمية إجراء دراسة الجدوى الاقتصادية لهذا النظام قبل تقرير إنشاؤه.

1-10-3- الأسس المتبعة للحساب والتقييم الاقتصادي لإقامة نظام لإنتاج الغاز الحيوي

1- تحديد تكاليف التأسيس والإنشاء للنظام.

2-ـ تحديد قيمة مصروفات التشغيل السنوية.

3- تحديد قيمة العائد من الانتفاع من هذا النظام.

4- ـتحديد نسبة الربح أو الخسارة.

1-10-3-1- تكاليف التأسيس والإنشاء

1- تكاليف تمهيد وتحسين وإعداد الموقع لإقامة المشروع.

2- تكاليف شراء خامات ومواد الإنشاء ومستلزماته ونقلها للموقع.

3- تكاليف البناء والإنشاء للهاضم وإعداد الحظيرة.

4- تكاليف مد شبكة التغذية والصرف.

5- تكاليف شبكة توزيع الغاز ومدها لنقاط الاستخدام.

6- تكاليف أجهزة استخدام الغاز.

1-10-3-2- مصروفات التشغيل السنوية

وتشمل كافة المصروفات الواجبة خلال السنة للمحافظة على تشغيل نظام إنتاج الغاز الحيوي تشغيلاً دائماً ومنتظماً.

1-10-3-3- العائد الاقتصادي السنوي

يتمثل العائد الاقتصادي المباشر الناتج من استخدام نظام إنتاج الغاز الحيوي في استخدام الغاز كمصدر نظيف للطاقة المنزلية والسماد العضوي، إضافة للعائدات الغير مباشرة، الصحية والاجتماعية.

1- حساب العائد من إنتاج الغاز الحيوي

حيث أنه تحت الظروف العادية (درجة حرارة 25˚ م وزمن بقاء داخل الهاضم 40 يوم وتركيز محلول التغذية 10 %) فإن كل 1 م3 من مخلوط التغذية ينتج 0.3 م3 غاز حيوي.

حجم الغاز المنتج يومياً = 0.3 × الحجم الفعال للهاضم.

حجم الغاز المنتج سنوياً = 0.3 × 360 ×الحجم الفعال للهاضم (ح) = 108 ح م^3

الطاقة الفعلية المتولدة = 108 ح × القيمة الحرارية للغاز الحيوي× كفاءة الاحتراق

= 108 ح × 5600 × 0.6 = 3.6 × 10^4 ح كيلو كالوري

الكمية المكافئة لغاز البوتان = 3.6×10^4 ح / 10900 × 0,6= 55.5 ح كغ / سنة

الكمية المكافئة من الكيروسين= 3.6×10^4 ح / 11000 × 0.5= 66 ح كغ / سنة

وتحسب قيمة العائد طبقاً للأسعار السائدة أو العالمية لأي من الكيروسين أو البوتان.

2- حساب قيمة العائد من السماد العضوي الناتج:

يتمثل هذا العائد في قيمة ما يحتويه المتخلف الناتج بعد عملية الهضم من عناصر تسميدية أساسية هي عناصر النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم وبعض العناصر الصغرى الأخرى مثل الحديد والماغنسيوم والنحاس والزنك والمنجنيز هذا بالإضافة إلى تواجد المادة العضوية المعروفة باسم الدبال والتي من أهم خصائصها هو تحسين مواصفات التربة.

ويمكن حساب العائد من قيمة ما يتوافر من أسمدة كيميائية عند إحلال السماد العضوي محل هذه الأسمدة هذا بالإضافة إلى قيمة العائد من الزيادة في معدلات إنتاج المحاصيل الحقلية نتيجة استخدام السماد العضوي الناتج من وحدة إنتاج الغاز الحيوي والمتمثل في زيادة إنتاج هذه المحاصيل.

ومن المعروف أن جميع هذه العناصر التسميدية كانت تفقد بالكامل عند حرق المخلفات بالطريق المباشر وبالتالي فإن إتاحة استخدامها كسماد باستخدام متخلف الهضم وكذا أية مواد عضوية إضافية تضاف إلى هذا المتخلف بعد عملية الهضم يمثل عائداً اقتصادياً مجزياً.

ولحساب كميات العناصر السمادية المتولدة سنوياً من سماد ناتج الغاز الحيوي يجب أولاً معرفة كمية المادة الصلبة السنوية الناتجة من الهاضم ويتم ذلك طبقاً للحسابات التالية:

حجم التغذية اليومي = الحجم الفعال للهاضم/ زمن البقاء 40= ح $م^3$

وباستخدام تركيز 10 % من المادة الصلبة في التغذية وباعتبار كثافة محلول التغذية 1 طن / م3

وزن المادة الصلبة = 10ح / 400

وزن المادة الصلبة المستخدمة سنوياً = (400/360)×ح طن

= 0.9 ح طن

وباعتبار نسبة فقد في المادة الصلبة 30 % نتيجة الهضم نجد أن وزن المادة الصلبة الناتجة سنوياً = 0.63 ح

وبمعرفة أسعار الأسمدة الكيماوية يمكن حساب العائد من استخدام السماد الناتج من الغاز الحيوي. كذلك بمعرفة معدلات التسميد بالنسبة للفدان ونوع المحصول فإنه يمكن إضافة قيمة الزيادة في إنتاج المحصول إلى حساب العائد.

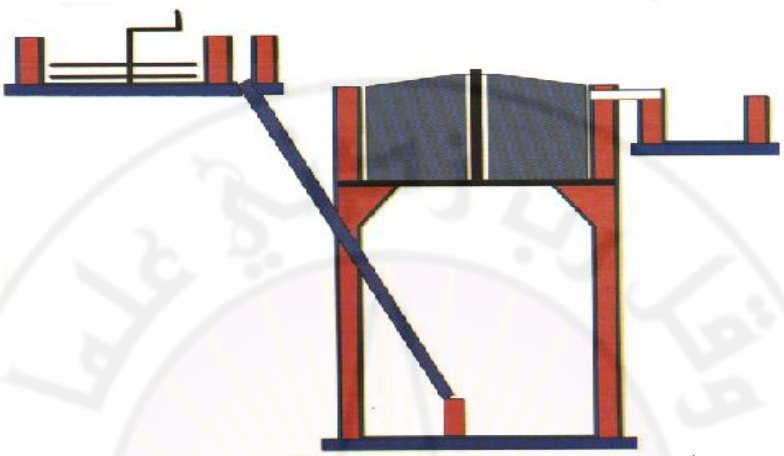
وتجدر الإشارة إن الحسابات الموضحة أعلاه هي على أساس كمية السماد الناتج من الهاضم فقط وفي بعض الأحيان سيتم إضافة كمية من المخلفات العضوية على هذا السماد وتترك للمعالجة الهوائية مما يزيد من كمية السماد وبالتالي من كميات العناصر السمادية الناتجة.

1-11- أنواع المخمرات

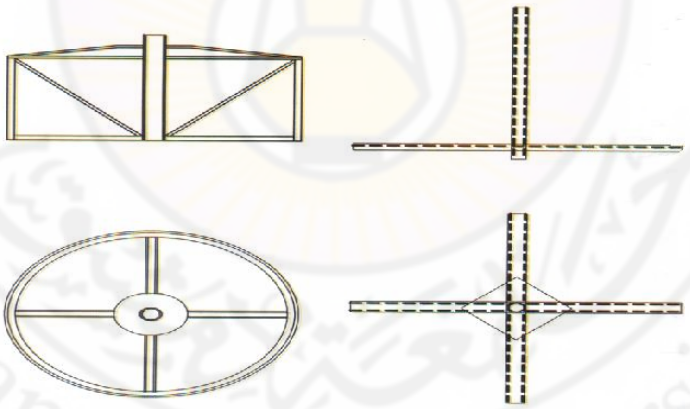
1- المخمرات ذات الخزان الطافي (النموذج الهندي)

يعتبر هذا النوع من المخمرات الأكثر انتشاراً في الهند، كما ينتشر استخدامه في معظم أنحاء العالم نظراً لسهولة إنشائه وتشغيله، وهذا النوع من المخمرات عبارة عن منشأ أسطواني الشكل مبني من القرميد تحت سطح الأرض وعلى أعماق كبيرة تصل حتى أربعة أمتار الشكل(1-6)، ويغطى المبنى بخزان معدني طافي مفتوح من الأسفل ومغلق من الأعلى، بحيث يسمح باستقبال وتخزين الغاز. وتتم تقوية الخزان المعدني من الداخل بزوايا حديدية الشكل (1-7)، وتتم حركة الخزان للأعلى والأسفل بمعاونة دليل

معدني مثبت في منتصف القاعدة الحديدية للخزان. ويحتوي المخمر بالنسبة للأحجام الكبيرة على فاصل أو أكثر لتحسين كفاءة الهضم في المخمر.



الشكل(1-6) المخمرات ذات الخزان الطافي (النموذج الهندي)



الشكل (1-7) دليل وخزان الغاز للنموذج الهندي

وتتم تغذية المخمر باستمرار بمعدل مرة واحدة يومياً أو أكثر، حيث يتم خلط الروث مع الماء في حجرة التغذية، ثم تمر إلى جسم المخمر بواسطة ماسورة التغذية التي تصل إلى أسفل المخمر ويتم خروج كمية مماثلة من المحلول المتخمر بواسطة ماسورة

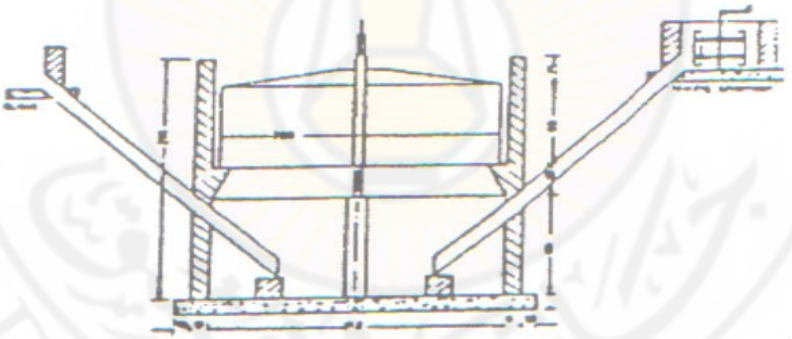
الخروج. وعلى الرغم من سهولة إنشاء وتشغيل المخمر الهندي إلا أن له كثير من العيوب وهي:

1- ارتفاع تكلفة الإنشاء والصيانة نظراً لوجود الخزان المعدني المرتفع التكاليف، والذي يتآكل مع الصدأ ويحتاج بالتالي لصيانة مستمرة.

2- العمق الكبير للمخمر والذي لا يقل عن أربعة أمتار، والذي يجعله غير ملائم للمناطق ذات المياه السطحية المرتفعة.

2- النموذج الهندي المعدل

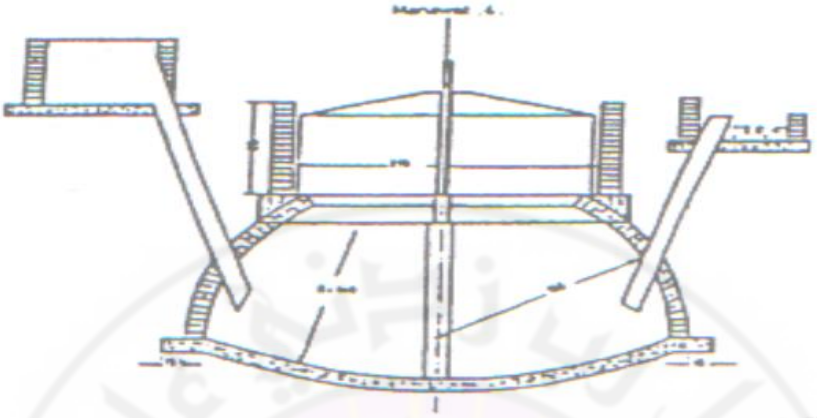
تم إجراء تطوير على الطراز الهندي، حيث تم تغيير النسبة بين الارتفاع والقطر، وذلك بتغيير ارتفاع المخمر. مما يسمح باستخدامه في المناطق ذات المياه السطحية المرتفعة الشكل(1-8).



الشكل(1-8) وحدة إنتاج غاز حيوي طراز هندي معدل

3- نموذج بوردا الهندي المعدل:

تم إنشاء الجزء السفلي من هذا النوع من المخمرات على شكل نصف كرة الشكل(1-9)، مما ساعد على تقليل الأعمال اللازمة للحفر والتوفير في المواد الإنشائية اللازمة. أما القاع فيكون على شكل جزء من كرة للمساعدة في تحمل ضغط المياه السطحية.



الشكل(1-9) مخمر طراز بوردا هندي معدل

4- المخمرات ذات الخزان الثابت (النموذج الصيني):

هناك العديد من التصميمات الصينية المضغوطة بالماء، وإن كان أشهرها وأكثرها انتشاراً هو المصمم على شكل قبة من الأعلى. والمخمر عبارة عن قاعدة خرسانية كروية الشكل يعلوها جزء أسطواني يبنى من الطوب أو من خرسانة معدنية الشكل(1-10)، أما السقف فهو على شكل قبة ويبنى من الطوب أيضا. ويزود المخمر بماسورة للتغذية تسمح بمرور الروث المحلول بالماء بعد خلطه في حجرة التغذية. وأيضاً يتم وصل ماسورة الخروج بحجرة الخروج. ويتوسط القبة العلوي غطاء خرساني يسمح بالدخول للصيانة ويثبت في هذا الغطاء ماسورة خروج الغاز الشكل (1-11). يعمل الجزء السفلي من المخمر كمنطقة تخمير بينما يعمل الجزء العلوي كخزان غاز. عند تجمع الغاز في المنطقة العلوية فإن الضغط يرتفع مسبباً إزاحة السائل من المخمر إلى حجرة الخروج، وعند سحب الغاز فإن الضغط ينخفض داخل المخمر، وهذا يدل على إن ضغط الغاز في النظام الصيني متغير، وذلك بعكس النظام الهندي ذو الضغط الثابت.

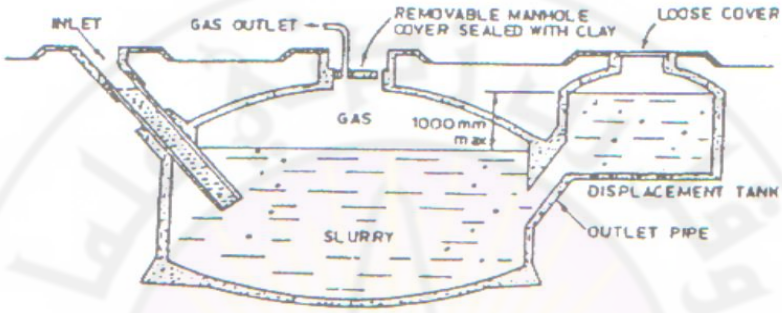
وأهم ما يتميز به هذا النوع من المخمرات هو:

1- انخفاض تكلفته والتي تصل إلى حوالي النصف من تكلفة المخمر الهندي.

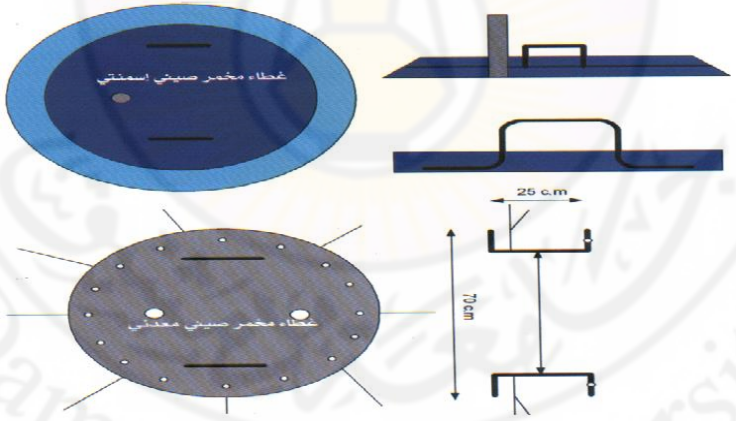
2- صعوبة الإنشاء والاحتياج إلى عمالة ماهرة ومدربة.

3- يحتاج إلى عمالة في نضح المحلول المتخمر من حجرة الخروج.

4- انخفاض إنتاجية الغاز نظراً للفقد الكبير في الغاز من حجرة الخروج.



الشكل(1-10) مخمر ذو طراز صيني



الشكل (1-11) غطاء المخمر الصيني الإسمنتي والمعدني

5- النموذج المعدل المصري – الصيني:

تم تطوير هذا المخمر لتدارك العيوب في المخمر الصيني، والمخمر عبارة عن نصف كرة مبني من الطوب الأحمر والقاعدة خرسانية كروية الشكل أو مخروطية الشكل(1-12)، وفيه حجرتا الدخول والخروج متجاورتان ومسخنتان بالطاقة الشمسية.

ويناسب هذا المخمر النماذج العائلية والجماعية بحجم (5-30) م2. ويتميز هذا المخمر بالمزايا التالية:

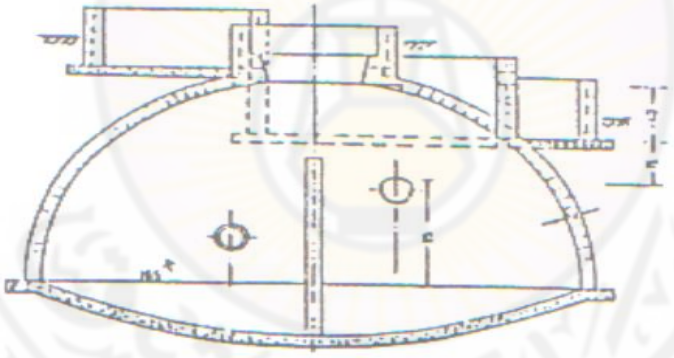
1- يحتاج إلى أعماق أقل من التصميم الصيني وبذلك فهو أكثر ملائمة للأرض التي يصعب فيها الحفر أو في حالة ارتفاع منسوب المياه السطحية.

2- سهولة الإنشاء وقلة التكاليف اللازمة.

3- ارتفاع معدلات إنتاج الغاز.

4- زيادة إمكانية تخزين الغاز.

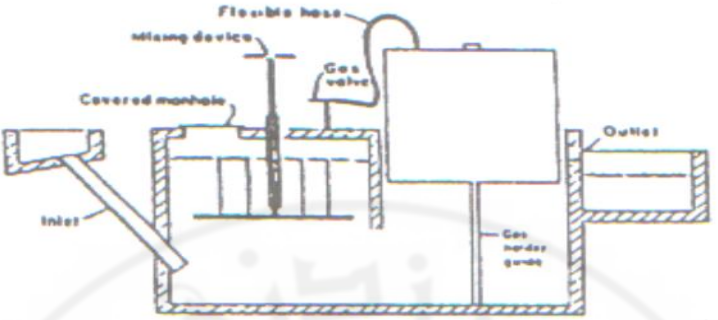
5- ينساب المحلول المتخمر تلقائياً تحت تأثير ضغط الغاز مما يوفر العمالة والجهد اللازم لذلك.



الشكل(1-12) مخمر ذو طراز مصري – صيني

6- المخمرات ذات النوع الأفقي (الطراز الفلبيني):

تكون هذه الوحدات مستطيلة الشكل وتنتهي بخزان غاز من النوع الطافي في الوحدات الصغيرة الشكل(1-13)، أما في الوحدات الكبيرة فإن خزان الغاز يكون منفصلاً. وقد تم تطوير هذا النوع من المخمرات في شركة مايا فارم في الفلبين، ويتميز هذا النوع من المخمرات بملائمته للمناطق التي يصعب إنشاء الوحدات فيها على أعماق كبيرة مثل ارتفاع المياه السطحية أو صعوبة الحفر. لكن من أهم مساوئ هذه المخمرات:



الشكل (1-13) مخمر ذو طراز فلبيني

1- ارتفاع التكلفة بالنسبة للأحجام الصغيرة.

2- احتمالات تسرب الغاز من السقف الخرساني ولذلك فهي تحتاج إلى عناية خاصة في الإنشاء والتشطيب.

7- المخمرات البلاستيكية:

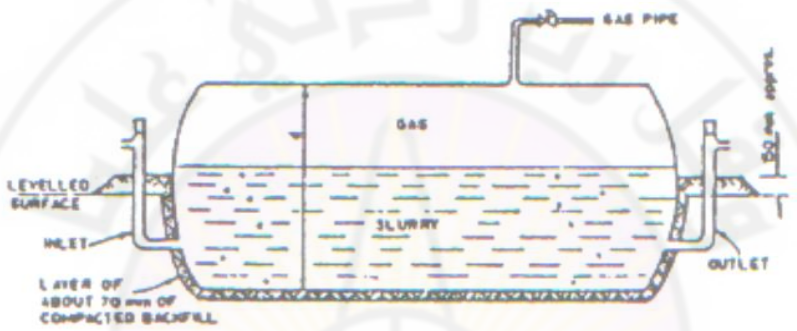
تصنع هذه الوحدات في عدد من دول العالم، وتكون عادةً أسطوانية الشكل وبها ماسورة للدخول وماسورة أخرى لخروج المحلول المتخمر وماسورة لخروج الغاز الشكل(1-14). ونظراً لأن هذه الوحدات جاهزة فإن تركيبها سهل وسريع، حيث يتم حفر خندق ملائم لحجم الوحدة، ويتم تثبيت ماسورتي الدخول والخروج في حجرتي الدخول والخروج. وتستخدم الوحدة عادةً للتخمير وتخزين الغاز، حيث يستخدم الجزء العلوي كخزان غاز. ولرفع الضغط توضع أحمال فوق الجهاز. وأهم مساوئ هذه المخمرات هو سهولة تمزيقها وتلفها، ولكن مزاياها هي:

1- جاهزة حيث يسهل الاستخدام والنشر.

2- تكلفتها منخفضة نسبياً.

3- درجة حرارة التخمير أعلى نظراً لاستفادتها من الطاقة الشمسية وتبعاً لذلك فإن معدلات إنتاج الغاز الحيوي أعلى.

وتجدر الإشارة إلى أن تايوان قامت بإنتاج نوع من هذه المخمرات مصنوع من البولي فينيل كلورايد (p. v. c) المخلوط مع مخلفات صناعة الألمنيوم، ويتميز هذا النوع من المخمرات بتحمله الطويل للظروف الجوية، كما يسهل لصقه في حالة حدوث تمزق أو ثقب، ويجري استخدام هذا النوع حالياً في دول كثيرة، ويصل عمره إلى عشر سنوات أو أكثر.



الشكل(1-14) مخمر حيوي بلاستيكي

8- المخمرات ذات التخمير الجاف:

يطلق التخمير الجاف على العمليات التي يستخدم فيها نسبة مرتفعة من المواد الصلبة تزيد عن (20%)، وهي عادةً تستخدم لتخمير المخلفات الجافة مثل المخلفات والقمامة. وعلى ذلك فإن التخمير الجاف يمكن أن يساعد على توفير الغاز الحيوي في حالة نقص المخلفات الحيوانية. وهذا النوع من الوحدات عبارة عن حجرة تخمير من الخرسانة أو الطوب ويعلوها خزان معدني أو بلاستيكي الشكل(1-15)، ويعمل هذا النوع من المخمرات بنظام التغذية المتقطعة. وللحصول على إمداد مستمر من الغاز فإنه يلزم إنشاء وحدتين لتعمل أحدهما وقت تفريغ وإعادة شحن الأخرى. وأهم عيوب هذا النوع من المخمرات هو ارتفاع تكلفة الإنشاء وارتفاع تكلفة العمالة اللازمة للتعبئة والتفريغ، أما مزايا هذا النوع من المخمرات فهي:

1- إمكانية إنتاج الغاز الحيوي دون الاعتماد على الحيوانات.

2- إمكانية إنشاء الوحدات بعيداً عن المنازل في حالة تعذر إقامتها بجوار المنزل.

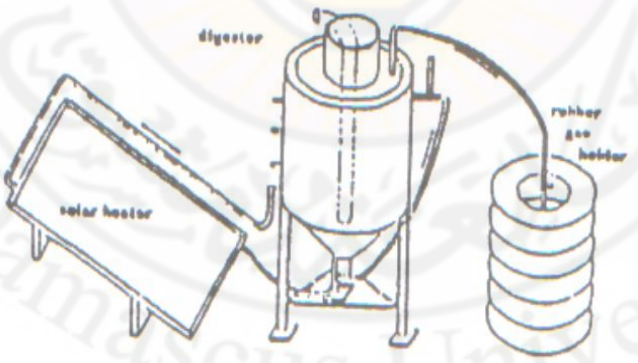
3- إنتاج كميات إضافية من السماد.



الشكل (1-15) مخمر من النوع الجاف

9- المخمرات الجاهزة المسخنة بالطاقة الشمسية:

تصنع هذه من المخمرات من المعدن أو البلاستيك وبأحجام صغيرة من (1-2) م3 ، ويتم تسخين هذا النوع من المخمرات بالطاقة الشمسية ومن أهم مزايا هذا النوع من المخمرات الشكل (1-16):



الشكل(1-16) مخمر من النوع الجاهز المسخن بالطاقة الشمسية

1- مصنعة بشكل جاهز وبالتالي يسهل نشرها في المجتمعات الريفية.

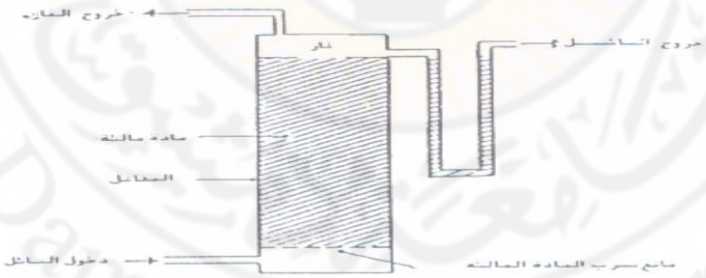
2- إنتاج كمية غاز تكفي لأسرة اعتماداً على مخلفات حيوانين فقط.

3- صغيرة الحجم وبالتالي يسهل إيجاد مكان لها.

4- تثبت فوق سطح الأرض وبالتالي فهي تلائم حالات ارتفاع مستوى المياه السطحية، والتربة التي يصعب الحفر فيها.

10- المرشحات اللاهوائية:

تعتمد على فكرة التصاق الخلايا الميكروبية على مواد مناسبة غير قابلة للتحلل ومسامية تعمل كحوامل للميكروبات، مع إعطاء مساحات كبيرة لنمو ونشاط الميكروبات لتقوم بها ضمن المواد العضوية الموجودة بالسوائل عند مرورها، وبذلك يمكن تصغير حجم الوحدة والتحكم في سرعة مرور السوائل والتحكم في نسبة هدم المواد العضوية، ويستخدم هذا النظام في معالجة سوائل الصرف الصحي، وغالباً ما يستخدم في محطات المعالجة نفسها. وتتألف الوحدة من مفاعل أسطواني ذو قاع مثقب الشكل(1-17)، تحتوي على المواد الحاملة للميكروبات، ومن فتحة الدخول في الأسفل حيث يمر السائل بطول المفاعل على الميكروبات المسؤولة عن الهدم وإنتاج الغاز. ويتميز هذا النوع من المخمرات بالميزات التالية:



الشكل(1-17) المرشحات اللاهوائية

1- فترة إنتاج الغاز بضع ساعات (9-10) ساعات.

2- إمكان معالجة كميات كبيرة من السوائل في حيز صغير.

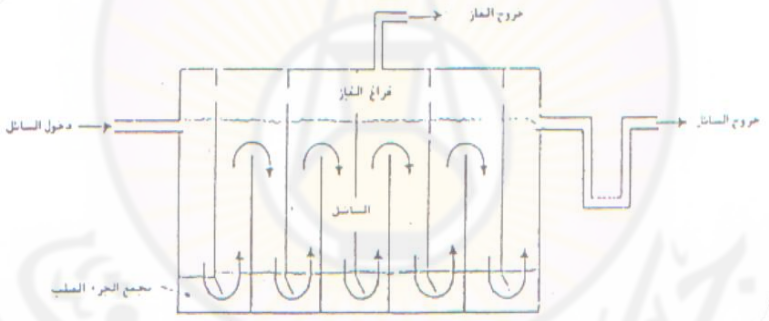
3- التحكم بسهولة بمعدلات الهدم.

4- تلقيح المفاعل بالميكروبات بعد بدء التشغيل ويستمر نشاطها خلال العمل.

5- معدلات عالية في إنتاج الغاز من حيث الكفاءة وكبر مساحة التلامس.

11- المخمرات ذات الحواجز:

يعتبر هذا النوع من التصاميم الحديثة للمخمرات، ويتألف من مخمر مستطيل الشكل محكم ومقسم إلى (5-6) غرف متساوية الحجم تفصلها قواطع (حوائط غير كاملة) من أعلى ومن أسفل المخمر بالتبادل الشكل(1-18)، بحيث تنساب المادة العضوية بحسب نظرية الأواني المستطرقة من خلال الجزء غير الكامل في الحوائط، والتي تلتصق وتنمو بجانبها الميكروبات المسؤولة عن التفاعل وإنتاج الغاز، بالإضافة للميكروبات العالقة في السائل نفسه. يمتاز هذا النوع من المخمرات بما يلي:



الشكل(1-18) وحدة التخمير ذات الحواجز

1- نجاحه في معالجة المخلفات العضوية السائلة والتخلص من (80- 90%) من المواد العضوية الموجودة فيها.

2- إنتاجية من الغاز (2.9 حجم الغاز / حجم المخمر / يوم)، وذلك عند متوسط درجة حرارة خارجية (35) م^{o}.

3- يعتبر البديل الأفضل للمرشحات اللاهوائية وذلك للأسباب التالية:

4- كفاءة المخمر في معالجة كميات كبيرة من المخلفات.

5- معدلات عالية لإنتاج الغاز الحيوي.

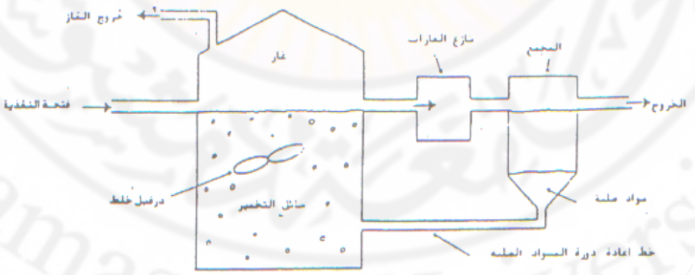
12- المخمرات ذات التلامس اللاهوائي:

يعتمد المبدأ الأساسي لهذا المخمر على رفع كفاءة التفاعل عند أقل مستوى ممكن من المادة العضوية. ويتألف من: مخمر وبداخله خلاط، ويركب على فتحة الخروج مانع لتسرب الغاز، بالإضافة إلى خزان ترسيب شكل قمع الشكل(1-19)، حيث تعاد المادة المترسبة للمخمر مرة أخرى لاستكمال عملية التفاعل. ويمتاز هذا النوع من المخمرات بالميزات التالية:

1- يحقق الاستفادة الكاملة من كل المادة العضوية حيث تصل نسبة المعالجة إلى 95%.

2- فترة إنتاج الغاز بعد 12 ساعة فقط من بدأ التشغيل عند متوسط درجة حرارة خارجية (25) م.

أما مساوئ هذا النوع من المخمرات: معقد التصميم، صعوبة عمليات التشغيل وارتفاع التكلفة. يعتبر هذا النوع من المخمرات النظام الأفضل لمعالجة المخلفات السائلة في مصانع الأغذية.

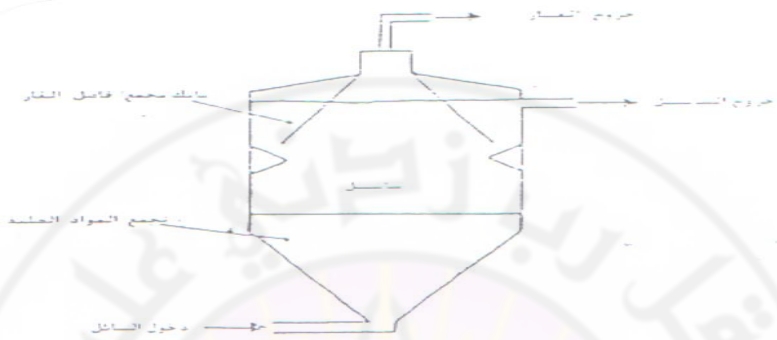


الشكل (1-19) المخمر ذو التلامس اللاهوائي

13- المخمرات ذات التغذية السفلية:

يعتبر أحدث نوع من المخمرات لإنتاج الغاز الحيوي. ويتألف من حوض دائري ذو قاع على شكل القمع في نهايته فتحة تغذية السائل الشكل(1-20)، ويوجد في الأعلى

غطاء معدني بشكل قمع مقلوب يرتكز على قاعدة، بحيث يرتفع الغطاء بفعل الضغط عند بدء إنتاج الغاز الحيوي. يمتاز هذا النوع من المخمرات:



الشكل(1-20) وحدة التخمير ذات التغذية السفلية

1- الشكل التصميمي القمعي يسمح بترسيب المواد العضوية غير المهضومة جيداً وخلطها مع الرواسب النشطة.

2- فترة إنتاج الغاز (3.5 ساعة).

3- معدلات عالية لإنتاج الغاز الحيوي.

4- ويعتبر هذا النوع من المخمرات هو النظام الأفضل في معالجة المخلفات السائلة لمصانع البطاطا.

1-12- تصميم شبكة نقل الغاز الحيوي

تستخدم عادة أنابيب مصنوعة من الحديد المجلفن أو البولي فينيل كلوريد في عمليات الأمداد والتوزيع للغاز الحيوي المنتج، وذلك تجت ضغط الغاز في خزان الغاز أو باستخدام مضخة تسريع. ويجب الأخذ بالأمر التالية عند تصميم وانشاء شبكة التوزيع الغازي:

1- ضغط الغاز في الشبكة يجب إن يكون تقريباً ثابتاً، وهذا متعلق بقطر الأنابيب المستخدمة ، طول المسافة ومعدل استهلاك الغاز.

2- استخدام مصايد مياه، وذلك للتخلص من المياه المتكاثفة داخل الانابيب، والتي قد تؤدي إلى انسدادها، وبالتالي قطع الأمداد بالغاز.

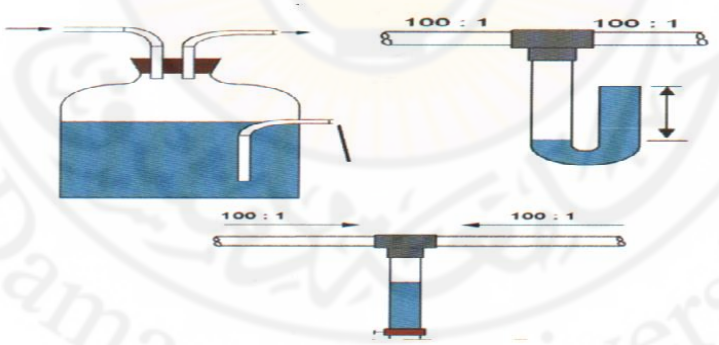
3- عدم السماح للغاز بالرجوع العكسي للهب، وذلك باستخدام صمام عدم رجوع للهب.

1-12-1 تحديد قطر خط الغاز

يمكن تحديد قطر أنابيب الغاز بالاعتماد على المعدل الأعظمي لجريان الغاز في الأنبوب، نوع الأنابيب المستخدمة، ضغط الغاز في الخزان، طول الخط المستخدم ومقدار فقدان الضغط المحدد.

1-12-2- تصفية المياه المتكثفة

يكون الغاز المنتج مشبعاً ببخار الماء، ولهذا عند مروره بأنابيب الشبكة يتكاثف ويتجمع فيها، ويكون هذا الماء سبباً في انخفاض الضغط لذلك يجب تركيب انابيب نقل الغاز بميول اسم لكل 1م من طول الأنابيب، بغية تسهيل تجمع الميا ه وبالتالي وضع مصائد مياه للتخلص منها. يبين الشكل (1-21) بعض أنواع مصائد المياه.

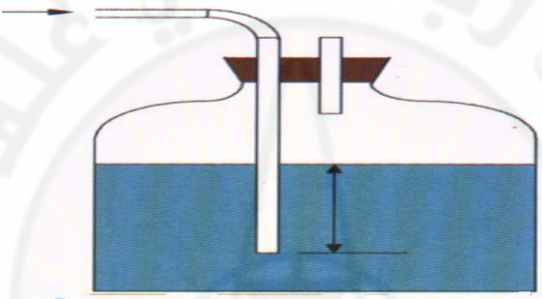


الشكل (1-21) بعض أنواع مصائد المياه

1-12-3- موانع اللهب و صمامات الأمان

تزود أنابيب نقل الغاز بموانع لهب لحماية خزان الغاز من خطر الانفجار، وذلك عند حدوث تيار عكسي للهب، وموانع اللهب هي عبارة عن شبكة دقيقة الثقوب من

النحاس أو أي معدن آخر لا يصدأ. وعند ارتفاع الضغط في المخمرات وخاصة البلاستيكية منها يفضل استخدام صمام أمان، وهو عبارة عن أنبوبة مغمورة في وعاء ماء مغلق وبجانبها أنبوبة أخرى غير مغمورة، بحيث يكون طول الجزء المغمور بالماء يساوي الحد الأعظمي للضغط المسموح به الشكل (1-22)، عند أرتفاع الضغط يدفع الماء من الوعاء ويخرج من الأنبوبة العلوية. وبالتالي ينخفض الضغط إلى الجد المسموح به.



الشكل (1-22) صمام أمان

1-12-4- منظمات الضغط

المخمرات ذات الخزان الطافي لا تحتاج لمنظمات الضغط لأن ضغطها يكون ثابت تقريباً، على عكس المخمرات الصينية التي يتغير فيها الضغط في حدود (20-100) سم عمود ماء. وتغير الضغط يؤثر على كفاءة معدات الاستخدام للغاز، وبالتالي يفضل استخدام منظم غاز على أن يوضع قبل معدات استخدام الغاز مباشرة لتقليل الفقد في الضغط.

1-13- معدات استخدام الغاز الحيوي

1-13-1-المواقد:

يمكن استخدام المواقد الغازية التي يستخدم الغاز الطبيعي ولكن بعد تطويرها لتلائم استخدام الغاز الحيوي، وفي حال تعديل مواقد الغاز الطبيعي لتعمل بالغاز الحيوي يراعى ما يلي :

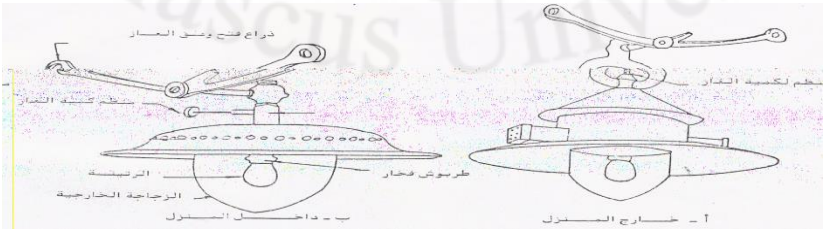
1-الطاقة الحرارية للغاز الحيوي أقل من مثيلتها للغاز الطبيعي بالنسبة لوحدة الحجم، وعلى ذلك فهناك ضرورة لتوسيع فتحة خروج الغاز (الفونية) للحصول على نفس كمية الحرارة.

2-كمية الهواء الأولى لحرق الغاز حرقاً كاملاً أقل بالنسبة للغاز الحيوي عند مثيلتها في حالة الغاز الطبيعي، لذلك يجب تصغير فتحة دخول الهواء.

3-سرعة اللهب بالنسبة للغاز الحيوي أقل بكثير من مثيلتها في الغاز الطبيعي، ولذلك يجب تقليل سرعة خروج مخلوط الغاز والهواء من فتحات اللهب حتى لا ينقطع اللهب، ويتم ذلك بتوسيع فتحات اللهب كما هو مبين في الجدول (1-13)، وعادة تحقق هذه التعديلات كفاءة مقبولة للموقد، وإن كان يفضل تصميم مواد خاصة تعمل باستخدام الغاز الحيوي حتى يمكن الوصول إلى الكفاءة القصوى.

1-13-2- مصابيح الإضاءة:

يستخدم الغاز مباشرة في تشغيل مصابيح الإضاءة الشكل (1=23)، ويمكن تعديل المصابيح الموجودة كما في المواقد، ويحتاج المصباح إلى حوالي (100-120) لتر غاز في الساعة، وعلى ذلك فإن قطر فتحة الغاز تعدل لحوالي (1-0.8) مم بالنسبة لضغط غاز يعادل 10سم عمود ماء.



الشكل(1-23) مصابيح وحيدة الشعلة

الجدول(1-13) التعديلات على المواقد لتلائم استخدام الغاز الحيوي

المواصفات	الموقد الكبير قطر 6سم	الموقد المتوسط قطر 4.5سم	الموقد الصغير قطر 3سم	الفرن
استهلاك الغاز لتر/ساعة	390	300	230	500
قطر فتحة الغاز مم لضغط 25سم عمود ماء	1.6	1.4	1.2	1.8
قطر فتحة الغاز مم لضغط 10سم عمود ماء	2	1.8	1.5	2.3
قطر فتحة الهواء الأولى مم	5	4	3	6
عدد فتحات الاشتعال	23	28	20	80
قطر فتحات الاشتعال	4	4	4	3

1-13-3- التسخين والتبريد

يستخدم الغاز الحيوي في جميع أشكال التسخين والتدفئة، وذلك بتعديل المعدات المستخدمة لتلائم الغاز الحيوي. كما يمكن استخدام الغاز الحيوي بعمليات التبريد عن

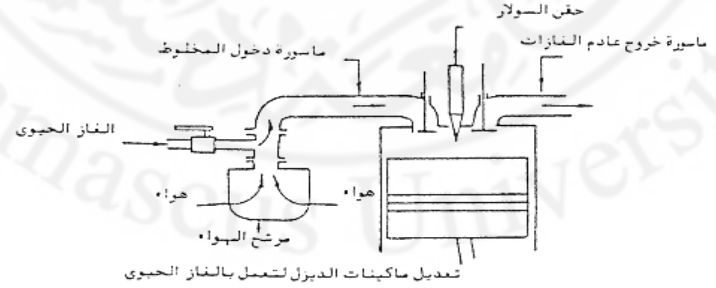
طريق استعمال الدارة الامتصاصية، والذي يتم فيها تسخين محلول التبريد بدلاً من ضغطه.

1-13-4- إنتاج الطاقة الميكانيكية:

يعتبر الغاز الحيوي وقوداً جيد لتشغيل المحركات المكبسية بكافة أنواعها، ويستخدم الغاز الحيوي في تسيير السيارات وذلك بعد ضغطه في اسطوانات تحت ضغط (166) بار، وقد هذه العملية بنجاح في الصين والفلبين. ولكن يفضل استخدام الغاز في تشغيل المحركات الثابتة مثل مولدات الكهرباء ومضخات المياه. يحسن استخدام الغاز من عملية الاحتراق، حيث تخفض كمية الدخان وتقل نسبة أول أكسيد الكربون فيه، ويمكن إنتاج (1) حصان باستخدام حوالي 0.5م3 غاز حيوي في الساعة.

1- تعديل محركات الديزل:

تعمل محركات الديزل بكفاءة عالية بمخلوط الديزل والغاز، ومن الضروري استخدام (5-10%) من وقود الديزل في بداية الاشتعال، وعلى ذلك فإن المحرك يمكن أن يعمل بانتظام باستخدام (90%) غاز حيوي. وتنتج حاليا في الصين محركات ديزل تعمل على مخلوط الديزل والغاز الحيوي، ويتم تعديل محركات الديزل بعمل وصلة للتغذية بالغاز بين مرشح الهواء وماسورة الدخول الشكل(1-24).



الشكل(1-24) آلية تعديل محرك الديزل ليعمل على خليط الديزل والغاز الحيوي

وعادة يتم تشغيل المحرك أولا حتى يسخن ثم يفتح محبس الغاز تدريجياً، وبالتوافق يعمل المنظم على تقليل كمية الديزل المغذي، وعلى ذلك يمكن لمحركات الديزل أن تعمل بأي نسبة من الغاز بحدود (10-90%) من الوقود الكلي، حيث يمكن اختيار النسبة الملائمة لكمية الغاز المنتجة. وعند إيقاف المحرك يفضل إغلاق الغاز أولا ثم تترك الآلية تعمل على الديزل لفترة زمنية معينة لإزالة أية آثار من أكاسيد الكبريت الناتجة عن احتراق الغاز الحيوي الحاوي على مركبات الكبريت.

2- تعديل محرك البنزين:

يمكن لمحرك البنزين أن يعمل (100%) على الغاز الحيوي، إلا أنه يفضل أن يعمل أولا على البنزين للسهولة، ثم يتم التعديل بتركيب وصلة للإمداد بالغاز وخلطه وذلك بين فلتر الهواء والفحم، والوصلة شبيهة بالوصلة في محرك الديزل، وهي عادة من الألمنيوم وتكلفتها زهيدة، تعمل الآلية على البنزين حتى تسخن ثم يغلق صمام البنزين ويفتح صمام الغاز تدريجيا، ويفضل بعد 0.5 دقيقه حتى يكون البنزين قد استهلك، ثم تضبط فتحة الغاز المطلوبة. ويفضل أن يتم التحويل من البنزين إلى الغاز والمحرك محمل نصف تحميل حتى لا تتسبب كمية الغاز الزائدة في البداية من إعاقة التشغيل، وأيضا تشغيل المحرك على البنزين قبل إيقافه كما في محرك الديزل .

3= إنتاج الطاقة الكهربائية:

يمكن إنتاج الطاقة الكهربائية من الغاز الحيوي باستخدام المولدات المدارة بمحركات الديزل أو البنزين، ويحتاج كل كيلووات ساعي إلى حوالي 0.6-0.7م3 غاز، ويمثل إنتاج الطاقة الكهربائية والميكانيكية أهمية اقتصادية خاصة بالنسبة لوحدات إنتاج الغاز الحيوي، حيث يمكن أن تستخدم الطاقة المفقودة في تبريد الأسطوانات وطاقة العوادم في ضبط درجة حرارة المخمر ومن ثم رفع كفاءته بأقل التكاليف.

13-1- صيانة الأعطال في المخمرات اللاهوائية

إن نجاح استخدام أي جهاز واستمراريته يرتبط بإجراء أعمال الصيانة اللازمة على الوجه الأكمل. ويمكن تقسيم أعمال الصيانة إلى مجموعتين:

- مجموعة إعمال الصيانة الدورية.
- مجموعة أعمال الصيانة الخاصة سواءً في عملية التشغيل المبدئي أو المنتظم.

أولا-الصيانة الدورية:

1- وحدات إنتاج الغاز الحيوي ذات النموذج الصيني المعدل (المضغوط بالماء):

عادة لا يحتاج هذا النوع إلى صيانة دورية لعدم وجود أجزاء معدنية، ولكن الأجزاء الظاهرة لها مثل الغطاء المعدني أو غرفة التغذية والخروج قد تحتاج إلى ترميمات بسيطة في حال حدوث بعض الأضرار بها، وتحتاج الأنابيب البلاستيكية إن وجدت إلى تبديلها مرة كل ثلاث سنوات

تتعرض مواقد الغاز للصدأ الخفيف، وتتكون طبقة تعيق جريان الغاز سواء في الطربوش أو ثقب خروج الغاز، لذلك يجب معالجة الصدأ وفتح الثقوب كل عدة أشهر مرة حتى لا تؤثر على اشتعال الغاز، علماً بأن هذا النوع من المخمرات تقل أعطالها كثيراً عن الوحدات الهندية ذات الخزان المعدني الطافي في حالة الإنشاء الجيد.

2- وحدات إنتاج الغاز الحيوي ذات النموذج الهندي والهندي المعدل (الخزان الطافي):

إن أهم جزء في هذا النوع من المخمرات معرض للتلف وهو الخزان المعدني نتيجة التآكل، لذلك يجب صيانة الخزان مرة كل سنة وذلك بإعادة طلائه، وتجري عملية الطلاء بإتاحة الفرصة للخزان لكي يطفو إلى أقصى ارتفاع فوق المخمر وذلك بوقف استخدام الغاز، ثم يتم إزالة المواد العضوية العالقة عليه، وبعد ذلك يخضع لعملية صنفرة جيدة لإزالة المواد العالقة والدهان المتآكل، كما ويجب ترميم الأطراف البارزة إن وجد بها عيب وكذلك غرفة التغذية.

يجب تحريك الأنبوب المرن الموصل بين المخمر وخط الغاز، لأنه يجمع أحياناً مياه تعيق جريان الغاز، وذلك برفعه إلى الأعلى حتى تتم تصفيته، وبشكل عام يجب الكشف على كامل التوصيلات البلاستيكية إن وجدت وتبديلها إذا لزم الأمر.

في حالة وجود عدادات غاز على خط الغاز قد يتجمع بها مياه، لذلك يجب فكها وتصفيتها مرة كل ستة أشهر، والتأكد من مصافي المياه خصوصاً في فصل الصيف حيث يمكن أن تجف، وكذلك التأكد من مواقد الغاز والكشف على الطربوش، وفتحة خروج الغاز.

ثانيا ـ الأعطال المحتملة وكيفية إصلاحها:

1- أعطال بدء التشغيل:

العطل	السبب	الإصلاح
المخمر لا ينتج غاز.	عدم وجود بكتريا كافية.	إضافة بادئ أو الانتظار بعض الوقت حتى تتكاثر البكتيريا، وقد يستغرق ذلك أسبوعين أو ثلاثة أسابيع.
	انخفاض درجة الحرارة.	استخدام الطرق الملائمة للتسخين. الانتظار حتى تتكاثر البكتيريا.
	بعض الفتحات في المخمر غير مغمورة بالماء.	استكمال التغذية حتى تغلق الفتحات المسربة للغاز في المحبس.
	مصفاة المياه فارغة.	ملء المصفاة بالمياه.
	تسرب في غطاء المخمر	الكشف على مكان التسرب بواسطة محلول الصابون وإصلاحه.

الغاز لا يشتعل	ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغاز.	تهوية الغاز والانتظار بعض الوقت حتى يتحسن تركيب الغاز وترتفع نسبة الميتان.
	ارتفاع نسبة الحموضة في المحلول نظراً لعدم ضبط تركيب وتركيز مخلوط التغذية.	إضافة الجير أو كربونات الكلس مع التغذية المستمرة وتكراره عدة مرات. تهوية الغاز حتى ترتفع نسبة الميتان به ودوام على التغذية طبقاً للأصول المحددة.
	وجود هواء في خط الغاز.	تهوية الغاز حتى تظهر رائحته.
	ارتفاع نسبة الهواء في مخلوط الاحتراق.	تقيل فتحة الهواء الأولى في الموقد.

2-أعطال التشغيل المنتظم:

العطل	السبب	الإصلاح
الخزان (في الأجهزة ذات الخزان الطافي أو لضغط في الأجهزة الصينية ينخفض بسرعة عند فتح المحبس الرئيسي)	ـ مصفاة المياه أو مانومتر الضغط فارغ.	ملء المصفاة أو المانومتر بالماء.
	أحد المحابس مفتوحة.	البحث عن المحبس وإغلاقه.

	تسرب من خط الغاز.	البحث عن مكان التسرب بالرائحة أو محلول الصابون وإصلاحه.
	معدلات تغذية مرتفعة مع فقد التوازن.	ضبط معدلات التغذية طبقاً للأصول المحددة.
	استخدام مواد حمضية في التغذية بنسبة كبيرة	معادلة مواد التغذية الحمضية باستخدام الجير.
	وضع مواد سامة لعملية التخمير.	تقليل المواد السامة للبكتيريا ما أمكن.
	تسرب من الخزان أو المخمر.	يكشف عن مكان التسرب من الخزان باستخدام محلول صابون، ويمكن سد الثقوب الصغيرة باستخدام الإيبوكسي أما التآكل الكبير فيجب لحام شرائح من الحديد لإصلاحه أو تغيير الخزان. أمام المخمر الصيني فيتم إصلاحه بعد الكشف على أعمال الطينة الداخلية وطبقة الشمع السطحية فأحياناً قد تساعد إعادة طلي السطح بمحلول شمع عد مرات.

الخزان أو الضغط يرتفع ببطء	نقص كمية التغذية.	ضبط كمية التغذية.
	تخفيف مخلوط التغذية أكثر من اللازم.	مادة صلبة.
	زيادة كمية التغذية	ضبط معدلات التغذية والانتظار بعض الوقت
	إضافة كمية كبيرة من المواد التي تعيق تكاثر البكتيريا.	تقليل المواد السامة ما أمكن.
	انخفاض درجة الحرارة.	محاولة رفع حرارة المخمر ومخلوط التغذية بالطرق المباشرة.
	تسرب في الغاز.	تحديد مكان التسرب وإصلاحه.
الغاز لا يشتعل	وجود هواء في الخط.	يسمح بمرور الغاز لفترة في الهواء حتى تظهر رائحته.
	ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون نظراً لعدم ضبط كمية وتركيب تركيز مخلوط التغذية.	يسمح بمرور الغاز لفترة الهواء مع ضبط التغذية للنظام المحدد
	ارتفاع نسبة المواد الحمضية في التغذية	وقف تغذية المواد الحمضية والاستمرار في تغذية الروث ويمكن

	وارتفاع نسبة الحموضة في المخمر.	إضافة كربونات الكلس مع الانتظار بعض الوقت.
	ارتفاع نسبة المواد السامة.	تقليل كمية المواد الضارة والسامة.
مخلوط التغذية لا ينساب إلى داخل المخمر	انسداد أنبوب الدخول والخروج	فتح الأنابيب بتحريك عود خشبي لأسفل وأعلى حتى تكسير السدادة. الخلط الجيد لمحلول التغذية وإزالة القش يمنع السد.
المخمر يفيض بالمحلول	انسداد أنبوب الخروج	فتح أنبوب الخروج
حجرة التغذية تفيض بالمحلول	انسداد أنبوب الخروج	فتح أنبوب الخروج

3.أعطال الموقد:

العطل	السبب	الإصلاح
اللهب طويل وضعيف وأحمر	نقص كمية الهواء الأولى.	زيادة كمية الهواء الأولى حتى يصبح اللهب أزرق.
اللهب ينفصل عن الطربوش وينقطع	فتحات الاشتغال غير ملائمة.	لتنظيف الطربوش جيداً وتنظيف الفتحات أو زيادة قطرها إن لزم.
صغر الشعلة	انسداد جزئي لفتحة الغاز.	تنظيف فتحة الغاز من الرواسب.

	انخفاض الضغط.	الانتظار حتى يرتفع الضغط في المخمرات الصينية أو تحريك خزان الغاز يميناً ويساراً لتكسير الرغوة وتسهيل حركة الخزان في المخمرات الهندية.
	تكثيف مياه في الخط.	إزالة المياه المتكثفة من الخط.
اللهب يتذبذب	وجود مياه متكثفة في الخط.	تزال المياه المتكثفة في الخرطوم الموصل بين خزان وخط الغاز، إذا لم يكن مركب الغاز بميل 100: 1 يجب إزالة المياه في حال تجميعها لذلك يجب تركيب الخط وفق الأصول.
	وجود مياه مكتنفة في الموقد أو عداد الغاز إن وجد.	إزالة المياه المتكثفة في الموقد وعداد الغاز.
لا يوجد غاز عند الموقد	المياه المتكثفة تمنع جريان الغاز تماماً.	تزال المياه المتكثفة من خط الغاز

4- أعطال المصابيح:

العطل	السبب	الإصلاح
الإضاءة خفيفة	نقص كمية الغاز	التأكد من قطر فتحة الغاز وتسليكه.

	عدم ملائمة كمية الهواء الأولى	ضبط كمية الهواء الأولى
الإضاءة تميل إلى الاحمرار واللهب يبرز من الريتينة	زيادة كمية الغاز	ضبط كمية الغاز
الغاز لا يخرج من الفتحة (الفونيه)	انسداد الفتحة	تسليكها.

5- أعطال الثلاجات:

العطل	السبب	الإصلاح
الشعلة حمراء وتكون كربون	نقص كمية الهواء الأولى.	ضبط كمية الهواء الأولى.
الشعلة تنقص عن الطربوش	صغر فتحات الطربوش.	ضبط فتحات الطربوش.
الشعلة تنطفئ عند توصيل المدخنة	زيادة سحب المدخنة.	تقليل سحب المدخنة بزيادة مقاومة الجريان عن طريق تصغير مقطع المدخنة.
التبريد بطيء	انسداد جزئي لفتحة خروج الغاز.	تسليك الفتحة.
التبريد معدوم	انسداد كامل لفتحة خروج الغاز.	تسليك الفتحة.
	عيب في دورة التبريد.	إصلاح العطل لدى أحد المختصين.

الفصل الثاني

الطاقة الشمسية

إن الاهتمام بالطاقة الشمسية والاستفادة منها في خدمة الإنسان ظهر منذ القدم، حيث تم استخدامها في عمليات التدفئة والتجفيف. إلا أن توفر الطاقة التقليدية وانخفاض كلفتها حد من تطوير وسائل استخدامها كمصدر هام للطاقة وعلى التأخر بالاهتمام بها.

وفي الوقت الحاضر، وبعد أن تبين أن الازدياد الكبير لعدد السكان في العالم والارتفاع المستمر لمستوى المعيشة في كثير من البلدان، وما يرافق ذلك من ازدياد في استهلاك الطاقة سيؤدي إلى أن الاحتياطي المؤكد من أنواع الوقود التقليدية الموجودة في باطن الأرض لن يكفي في المستقبل لمجابهة الطلب المتزايد على الطاقة، بالإضافة لما يسببه هذا الوقود من مشاكل في تلوث البيئة. ولذلك ازداد الاهتمام منذ السبعينات في القرن الماضي باستخدامات الطاقة الشمسية وبطرق تحويلها، لتصبح في المستقبل القريب أحد أهم المصادر البديلة لأنواع الطاقة التقليدية المستعلمة حالياً.

مزايا استخدام الطاقة الشمسية

1- الطاقة الشمسية طاقة نظيفة: أن عمليات التحويل اللازمة للاستفادة من الطاقة الشمسية لا تعطي نواتج ثانوية لتلوث البيئة، ومع ازدياد الاهتمام بعوامل تلوث البيئة ازدادت الأهمية التي تكتسبها طرق الاستفادة من الطاقة الشمسية.

2- المقدار الهائل من الطاقة التي تحملها الإشعاعات الشمسية: أن ما تتلقاه الأرض سنوياً من الطاقة الشمسية يبلغ 750×10^{15} Kwh و هذه كمية هائلة.

3- إمكانية استخدام هذا المصدر بسهولة وفي مرافق حياتية متعددة: أن أكثر الاستخدامات الحالية للطاقة الشمسية هي في مجال السكن، الزراعة وتقطير المياه، ومعظم المنشآت الشمسية المنتشرة اليوم على نطاق واسع تستخدم لتسخين المياه في المنازل، التدفئة المركزية، تكييف الهواء، تدفئة البيوت الزجاجية، تجفيف المنتجات الزراعية وإزالة ملوحة التربة.

4- إمكانية توليد الطاقة الكهربائية بواسطة الطاقة الشمسية: أن الطاقة الكهربائية، كما هو معروف هي الطاقة الوحيدة التي تتميز بسهولة التوليد والنقل والتوزيع والاستعمال وسهولة التحويل إلى أنواع أخرى من الطاقة، وستبقى الكهرباء الطاقة الرئيسية التي سنحتاج إليها، ويمكن للطاقة الشمسية أن تصبح في المستقبل أحد المصادر الرئيسية لتوليد الطاقة الكهربائية سواء بطرق التحويل الحراري أو بطرق التحويل المباشر.

العوامل التي تحول دون التوسع في استخدام الطاقة الشمسية

1- الطاقة الشمسية طاقة متقطعة وغير ثابتة: ويعود سبب ذلك إلى تعاقب الليل والنهار وتناوب الفصول، يضاف إلى ذلك تأثير الغيوم والغبار وملوثات الجو التي تسبب انعكاس جزء من أشعة الشمس المرسلة نحو الأرض وامتصاص جزء منها.

2- **الاختلاف بين قيم هذه الطاقة المحسوبة نظرياً وتلك التي نحصل عليها عمليا.**

3- انخفاض مردود التحويل.

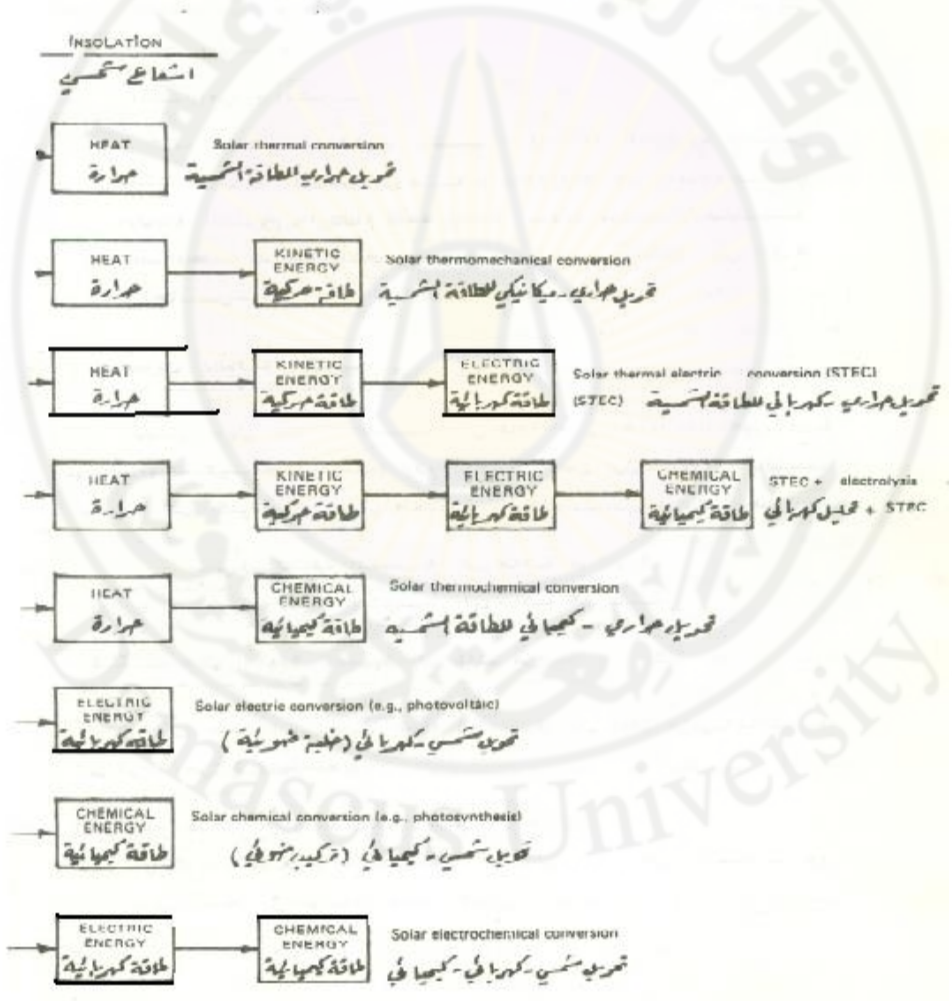
4- الكلفة العالية للمشاريع الشمسية: أن كلفة المشاريع التي تستخدم الأنظمة الشمسية هي عالية وبالتالي تؤدي إلى ارتفاع كلفة واحدة الطاقة، وبسبب الطبيعة المتقطعة للطاقة الشمسية تضاف كلفة تخزين الطاقة إلى كلفة التأسيس.

2-1- **تحويل الطاقة الشمسية**

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية أو طاقة كهربائية أو إلى طاقة كيميائية كما في الشكل (2-1) الذي يتضمن طرق تحويل الطاقة الشمسية إلى أنواع الأخرى من الطاقة . وسنقتصر في دراستنا على:

- تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية.

- تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية.



الشكل (2-1) تحويل الطاقة الشمسية

2-1-1- تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية:

يمكن تصنيف طرق تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية حسب درجات حرارة الاستخدام:

1- تحت درجات حرارة منخفضة (حتى 100°c): وذلك باستخدام لواقط شمسية (مجمعات) من النوع المستوي أو المسطح، وأهم هذه الاستعمالات هي: تحضير الماء الساخن، التدفئة المركزية، تدفئة المسابح، تدفئة البيوت الزجاجية، تجفيف المنتجات الزراعية وتقطير المياه.

2- تحت درجات حرارة متوسطة (بين 100°c **و** 300°c **)**: ونستعمل لهذه الغاية أنواعاً خاصة من اللواقط، وذلك للاستخدامات الصناعية.

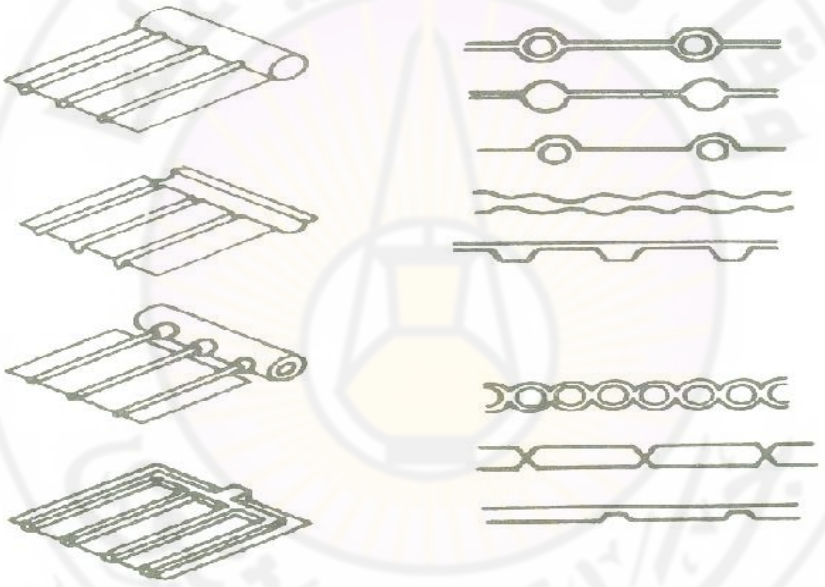
3- تحت درجات حرارة عالية (أكبر من 300°c **):** ونستخدم لهذه الغاية عواكس خاصة تجمع الأشعة الشمسية وتركزها في الموقع المطلوب تسخينه. وتستخدم في المحيطات الكهرشمسية وفي الأفران الشمسية.

2-1-1-1- المجمعات الشمسية

أكثر أنواع المجمعات الشمسية المستعملة في مجال درجات الحرارة حتى 100°c هو المجمع المسطح. ويتألف هذا المجمع من خمسة أجزاء رئيسية:

1 - الغطاء الشفاف: وهو عبارة عن طبقة أو طبقتين من الزجاج (وقد يصنع من البلاستيك) ويمتاز الزجاج بشفافيته للإشعاعات قصيرة الموجة وعدم سماحه للإشعاعات طويلة الموجة التي تصدرها صفيحة المجمع الساخنة (السطح الأسود) بالنفوذ عبره، وينبغي تحقيق الكتامة بين الغطاء الشفاف والهيكل الخارجي للمجمع، وللغطاء الشفاف وظيفة ثانية هي حماية صفيحة المجمع من الأمطار والأوساخ والغبار.

2- صفيحة المجمع (السطح الماص): وهي الصفيحة المعدنية الماصة، وتقوم بامتصاص الإشعاعات الشمسية وتحويلها إلى حرارة وتصنع من الفولاذ أو النحاس أو الألمنيوم، ويطلى سطح الصفيحة المعرض للأشعة بدهان أسود أو بطبقة رقيقة من أكاسيد الكبريت السوداء التي لها عامل امتصاص كبير للأشعة وينبغي أن يثبت الدهان على الصفيحة بشكل جيد. يبين الشكل (2-2) نماذج مختلفة من مقاطع لصفيحة المجمع ولتجميع الأنابيب.



الشكل (2-2) نماذج مختلفة من مقاطع لصفيحة المجمع

3- الأنابيب وملحقاتها: وتقوم بنقل الماء (الهواء) وقد تكون جزءاً من الصفيحة ذاتها أو قد تثبت بها بطرق مختلفة وبحيث تحقق انتقالاً جيداً للحرارة بين الصفيحة والمائع المطلوب تسخينه ويشترط للتصميم الجيد تحقيق الصفات التالية: عامل توصيل حرارة جيد، مقاومة للتمدد والتقلص وتحمل درجات الحرارة التي ستتعرض لها صفيحة المجمع.

4- العازل: وهو يحيط بأرضية المجمع وجوانبه للتقليل من ضياعات الحرارة منه ويستعمل لهذه الغاية: الصوف الزجاجي، والرغوة العازلة المحقونة(البوليريتان)، وعامل التوصيل الحراري له أقل من الصوف الزجاجي إلا أنه أكثر كلفة أو الستيربور ولكنه لا يحتمل درجات الحرارة العالية.

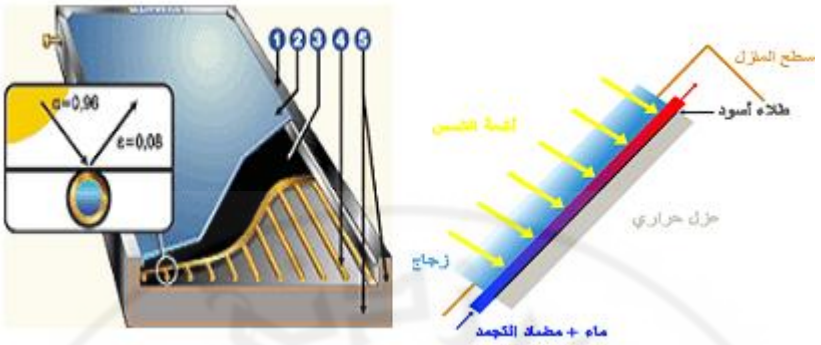
5 - صندوق المجمع (غلاف المجمع): وهو يحتوي على كافة العناصر التي تقدم ذكرها ويقوم بحفظ الجهاز من تأثيرات الجو، وغالباً ما يصنع من الصفائح الفولاذية المزيبقة ويمكن استعمال صفائح الألمنيوم لهذه الغاية لخفة وزنها.

تصنع المجمعات المسطحة بأبعاد مختلفة ومن مواد متباينة، وهناك أنواع عديدة منها. وهي بالإضافة إلى اختلافها في شكلها تختلف عن بعضها في أشكال مقاطع الأنابيب وبطريقة تثبيت الأنابيب بصفيحة المجمع وبسمات تصميمية أخرى الشكل (2-3). إن كافة الدراسات التي تمت حول المجمعات كانت تهدف إلى تصميم اقتصادي لمجمعات ذات مردود أعلى بأقل كلفة ممكنة.

2-1-1-2- آلية عمل المجمعات الشمسية:

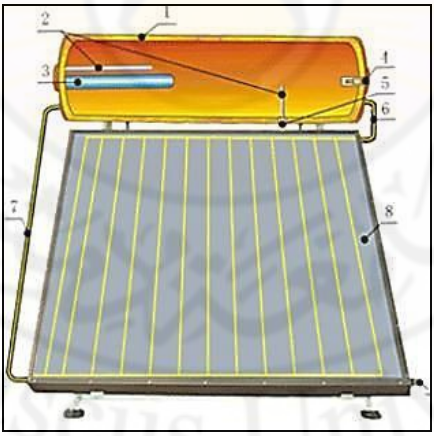
تعتمد آلية عمل السخانات الشمسية على ارتفاع درجة حرارة السطح الماص عندما يمتص أشعة الشمس الساقطة عليه، ينتج عن ذلك ارتفاع في درجة حرارة المائع المار في أنابيب التسخين. ولتبسيط طريقة عمل السخانات الشمسية سيتم التطرق إلى ثلاثة أمور أساسية وهي: آلية التسخين، آلية السريان داخل السخان، وآلية الدفع .

1 - آلية التسخين: عندما تسقط الأشعة الشمسية على السطح الماص ترتفع درجة حرارته مقارنة بدرجة حرارة المائع المار في الأنابيب، فيحدث فرق في درجة الحرارة، ينتج عنه انتقال الحرارة العالية إلى مناطق سريان المائع ذات الحرارة المنخفضة، وبالتالي ترتفع درجة حرارته تبعاً لمقدار الإشعاع الشمسي ومعدل السريان داخل أنابيب التسخين .



الشكل (2-3) مجمع شمسي مسطح

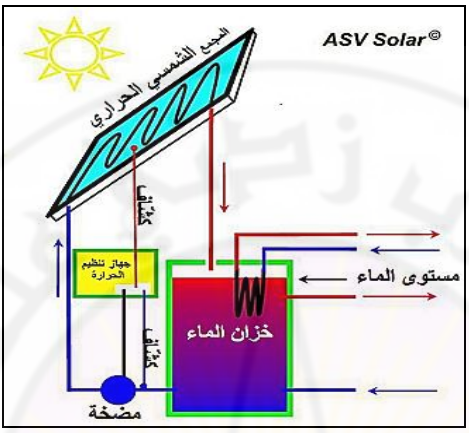
2- آلية السريان داخل السخان: يدخل المائع البارد نسبياً إلى أنبوب التوزيع في أسفل السخان (السخانات ذات السريان المتوازي) الشكل(2-4) ومن هذا الأنبوب يتوزع المائع على أنابيب موازية صاعدة وذات أقطار صغيرة، ومن ثم يجمع في أنبوب التجميع الرئيس في أعلى السخان، حيث يتم دفع المائع الحار نسبياً إلى خارج السخان.



الشكل (2-4) السخانات ذات السريان المتوازي

أما في حالة السريان المتصل، يدخل المائع إلى أنبوب التسخين الذي يغطي أغلب مساحة السطح الماص، وذلك بسبب شكله المتعرج الشكل(2-5)، فيتحرك الماء

يميناً وشمالاً في اتجاه تصاعدي حتى يخرج من أعلى السخان، دون أن يكون هناك أي تفريغ للمائع أو تغيير في الأقطار.



الشكل (2-5) السخانات ذات السريان المتعرج

3- آلية الدفع: وهي الوسيلة التي يتم بواسطتها نقل المائع الساخن من السخان إلى الخزان، ونقل المائع البارد من الخزان إلى السخان وتحريك المائع داخل السخان. ويمكن إن تكون آلية الدفع ذو نظامين: طبيعي وقسري. يتميز نظام الدفع الطبيعي ببساطته ورخص تكاليفه ، فهو يعتمد على المبدأ الفيزيائي الحراري، بأن أي ارتفاع في درجة حرارة المائع يتبعه انخفاض في كثافته. ولتطبيق هذا المبدأ في أنظمة التسخين يجب أن يكون أدنى مستوى في الخزان يوازي أو يعلو على أعلى مستوى في السخان، فعند دخول المائع إلى السخان بدرجة حرارة معينة فإنه يمتص الحرارة من السطح الماص لترتفع درجة حرارته ، ويتبع ذلك انخفاض في الكثافة. وينتج عن هذا الانخفاض استمرار صعود المائع داخل السخان باكتسابه للحرارة ودخول المائع البارد القادم من الخزان. **أما** نظام الدفع القسري يستعان فيها بمضخة تقوم بتدوير المائع بين الخزان والسخان خلال فترات توفير الإشعاع الشمسي . وحتى لا تستمر الدورة في الليل عند انخفاض أو انعدام الإشعاع الشمسي يضاف محبس يقوم باستشعار حرارة الخزان وآخر باستشعار حرارة

المائع الخارج من السخان ووحدة تحكم تفاضلية مهمتها إيقاف المضخة عندما تكون حرارة الخزان بمقدار يتجاوز الفقد في أنابيب التوصيل بين الخزان والسخان.

2-1-1-3- مردود المجمع المسطح

يعرف مردود المجمع الشمسي المسطح بأنه نسبة الطاقة المفيدة المستغلة من قبل المجمع الشمسي والمنتقلة إلى المائع المطلوب تسخينه إلى الطاقة الشمسية الساقطة على المجمع الشمسي.

مردود المجمع الشمسي = الطاقة المفيدة المستغلة من قبل المجمع/ الطاقة الشمسية الساقطة على المجمع الشمسي

الطاقة المستغلة = الطاقة الملتقطة - الطاقة الضائعة

إذاً مردود المجمع الشمسي = (الطاقة الملتقطة / الإشعاع الشمسي) – (الطاقة الضائعة / الإشعاع الشمسي).

$$f.\ \mu = \text{(الطاقة الملتقطة / الإشعاع الشمسي)}$$

حيث:

f: امتصاصية الدهان الأسود لصفيحة المجمع.

μ: نسبة نفوذ الإشعاع الشمسي عبر الزجاج.

I : شدة الإشعاع الشمسي.

بحيث أن الحد الأول من معادلة المردود يتعلق بنوعية المواد المستعملة في صنع المجمع الشمسي (الزجاج، الدهان .....)، إما الحد الثاني من المعادلة فيتعلق بالضياعات الحرارية من المجمع أي انه يتعلق بالفرق بين درجة الحرارة المجمع الشمسي T_P ودرجة حرارة الجو المحيط به T_a وبعامل انتقال الحرارة الكلي بين سطح

المجمع والهواء المحيط به U حيث يتأثر هذا العامل بسرعة الريح وعدد الأغطية الزجاجية. لهذا تصبح علاقة مردود المجمع الشمسي η على الشكل التالي:

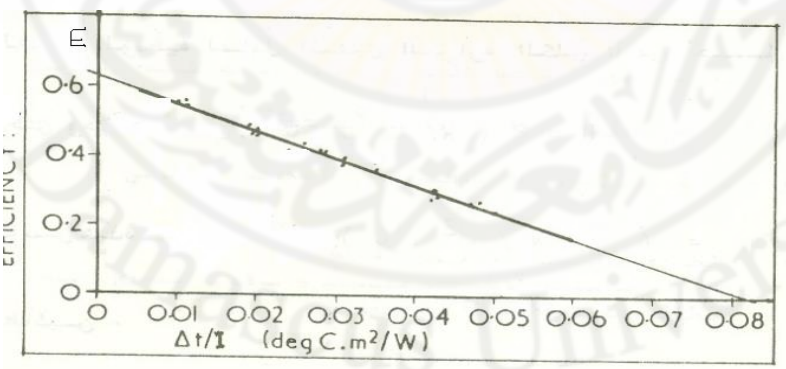
$$\eta = f.\mu - \{U(T_p-T_a) / I\}$$

أن القيمة الوسطية لعامل انتقال الحرارة الكلي U من أجل غطاء زجاجي وحيد هي: $U = 8\ (W/m^2 . °C)$. وتتناقص هذه القيمة إلى $U = 4\ (W/m^2 . °C)$ من اجل غطائين. وبدلاً من درجة حرارة المجمع الشمسي التي يمكن أن تختلف من نقطة إلى أخرى على سطح المجمع يمكن قياس درجة الحرارة السائل الداخل إلى المجمع.

ولأخذ ما تقدم بعين الاعتبار يمكن تصحيح معادلة مردود المجمع الشمسي η بإدخال عامل التصحيح F_R يعتمد على نوع السائل المستعمل وسرعته داخل المجمع وخواص المجمع التصميمية، لتصبح المعادلة كما يلي:

$$\eta = F_R\ f.\mu - \{U(T_p-T_a) / I\}$$

وتعطي هذه المعادلة أذا ما مثلت بيانياً خطاً مستقيماً الشكل (2-6).



الشكل (2-6) التمثيل البياني لمردود المجمع الشمسي

ومن جهة أخرى يمكن تعريف المردود بنسبة كمية الحرارة المفيدة التي نحصل عليها من واحدة السطح ($1m^2$) للمجمع إلى شدة الإشعاع الشمسي.

$$\eta = M.\ C_p.\ \{(T_o - T_i) / I\}$$

حيث:

M : غزارة المائع الذي يجتاز المجمع ($Kg / s\ .\ m^2$).

C_P : الحرارة النوعية للمائع ($J / Kg\ .\ °C$).

T_i : درجة حرارة المائع في مدخل المجمع (C°).

T_o : درجة حرارة المائع في مخرج المجمع (C°).

I : شدة الإشعاع الشمسي (W/m^2).

بحيث يمكننا تعيين قيمة المردود بقياس غزارة المائع ودرجة حرارته في الدخول إلى المجمع والخروج منه، وشدة الإشعاع الشمسي أثناء التجربة وتمثيل تغير هذا المردود كتابع للحد $\{(T_o - T_i) / I\}$.

لتحسين مردود المجمع الشمسي يمكن أن نلجأ إلى التدابير التالية:

1 - إنقاص الإشعاع المنعكس على سطح اللوح الزجاجي دون أن يلتقطه المجمع.

2 - تخفيض الضياعات الحرارية عبر الغلاف الزجاجي باستعمال زجاج مزدوج مع فراغ بين لوحي الزجاج بالإضافة إلى تحقيق العزل الجيد لصندوق المجمع.

3 - تخفيض الفرق بين درجة حرارة المجمع ودرجة حرارة الهواء الخارجي المحيط به ويمكن تحقيق ذلك بزيادة سرعة جريان المائع الناقل للحرارة كي لا ترتفع درجة حرارته كثيراً، كذلك يمكن بزيادة سعة التخزين تصغير درجة حرارة المائع الداخل إلى المجمع.

2-1-1-4-المجمعات الشمسية الأنبوبية:

الأنابيب المفرغة هي التي تمتص أشعة الشمس وتحولها إلى حرارة تستخدم في تسخين الماء بسرعة كبيرة. يتألف كل أنبوب مفرغ من أنبوبين من الزجاج المقسى (البروكسيلات) ذات المقاييس العالمية، يكون الأنبوب الخارجي شفاف يسمح لأشعة الشمس بالدخول عبره بأقل انعكاس ممكن، الأنبوب الداخلي مطلي من الخارج بمادة خاصة تمتلك خاصية امتصاص عالية للطاقة الشمسية والأشعة تحت الحمراء بأقل انعكاس ممكن، ومن الداخل مطلي بمادة عاكسة لمنع رجوع الأشعة المكتسبة ثانية للخارج الشكل(2-7).

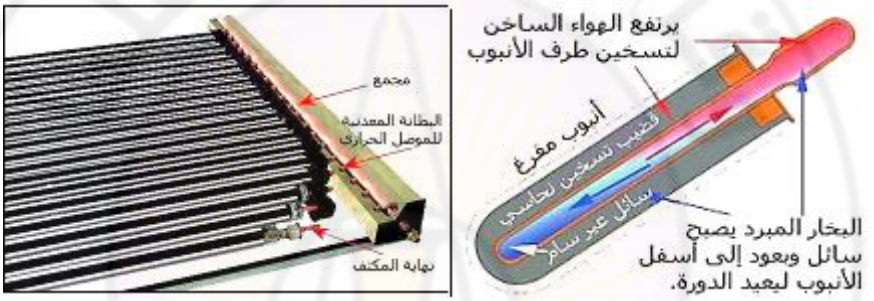


الشكل(2-7) الأنابيب المفرغة

يتم لحم قمة الأنبوبين مع بعضيهما وإفراغ الهواء بينهما. وتعد عملية التخلية من أهم ما يميز هذه الأنابيب، حيث تصل نسبة التخلية إلى0.005 بار تقريباً، والتي تعطي فراغ عازل قوي جداً عن العوامل الخارجية، وهذا يؤدي إلى رفع أداء الأنابيب وسرعة تسخين المياه حتى في درجات الحرارة المنخفضة جداً. الأمر الذي لا نجده في نظام الوحدات المسطحة القديم بسبب الفقد الحراري الناجم عن تماسها مع عوامل الطقس الخارجية كالرياح و درجات الحرارة المنخفضة .

ويوجد داخل الأنبوبين الخارجيين أنبوب حراري، وهو عبارة عن أنبوب نحاسي مفرغ من الهواء وبداخله كمية قليلة من الكحول وبعض الإضافات الخاصة. و بالاعتماد على مبدأ غليان السوائل عند درجة حرارة أقل من 100م° عند إنقاص الضغط

عن طريق تخلية الأنبوب الحراري نستطيع أن نصل إلى نفس النتيجة، حيث أن الأنبوب الحراري المستخدم في هذا النظام يمتلك نقطة غليان عند 30 °م فقط، ولهذا عندما تصل درجة حرارة الأنبوب الحراري فوق 30°م يتبخر السائل بداخله ويصعد هذا البخار إلى قمة الأنبوب الحراري ناقلاً الحرارة معه، وعندما يفقد الحرارة في المكثف يعود إلى الحالة السائلة وينزل إلى قعر الأنبوب مكرراً العملية مرة ثانية وبسرعة كبيرة الشكل(2-8)، حيث تصل درجة حرارة الرأس إلى 150سيلسيوس في حوالي 5 - 10 دقائق فقط.



الشكل(2-8) التسخين بالأنابيب المفرغة

2-2- **الاستخدامات الحرارية للطاقة الشمسية:** أن أهم هذه الاستخدامات هي:

1- تسخين المياه بالطاقة الشمسية.

2- التدفئة بالطاقة الشمسية.

3- تسخين أحواض السباحة بالطاقة الشمسية.

4- التبريد الشمسي باستخدام دارة التبريد بالامتصاص.

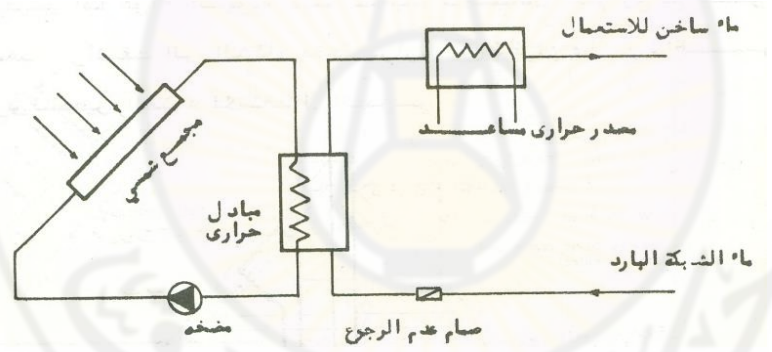
5- التجفيف الشمسي.

6- تحلية المياه المالحة باستخدام الطاقة الشمسية.

7- الأحواض الشمسية ذات التدرج الملحي.

2-2-1- تسخين المياه بالطاقة الشمسية للاستعمال المنزلي أو الصناعي:

أن تسخين المياه للاستعمال المنزلي بواسطة الطاقة الشمسية هو من أكثر الاستخدامات الحرارية شيوعاً. والشكل (2-9) يبين مبدأ عمل سخان ماء شمسي، حيث يلتقط المجمع الإشعاع الشمسي الساقط عليه ويسخن نتيجة لذلك الماء المار عبر المجمع وينقل هذا الماء الساخن الحرارة إلى مبادل حراري هو مسخن لماء الاستعمال وخزان للماء الساخن في الوقت ذاته، أن تدوير الماء عبر المجمع يمكن أن يتم بحركة طبيعية نتيجة فرق الكثافة أو بحركة قسرية باستعمال مضخة لهذه الغاية، ويمكن أن يضاف إلى النظام مسخن إضافي يستمد الحرارة من مصدر مساعد (مقاومة كهربائية أو ملف أنابيب تجتازها مياه التدفئة المركزية).

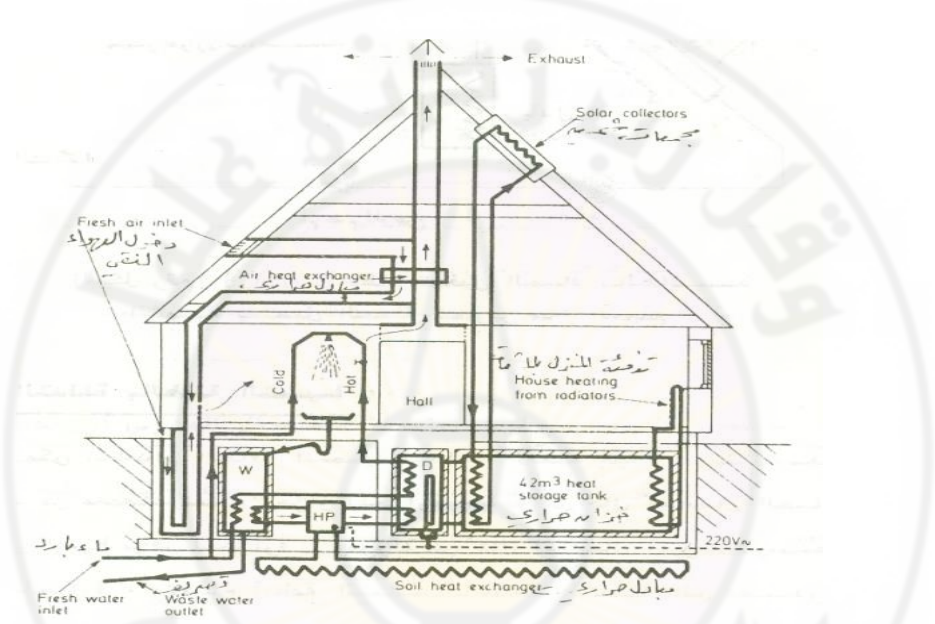


الشكل (2-9) نظام تسخين المياه بالطاقة الشمسية يستعمل المضخة لتدوير ماء المجمع

2-2-2- التدفئة بالطاقة الشمسية:

يمكن استخدام الطاقة الشمسية لتدفئة الأبنية خلال فصل الشتاء، ويتألف النظام من مجمعات شمسية وخزان للحرارة ومضخة في حال استعمال الماء الساخن كوسيط ناقل للحرارة، ومروحة في حال استعمال الهواء كوسيط ناقل للحرارة. وتحتاج أنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية إلى مصدر حراري مساعد، إذا لم تحتوي على خزان حراري.

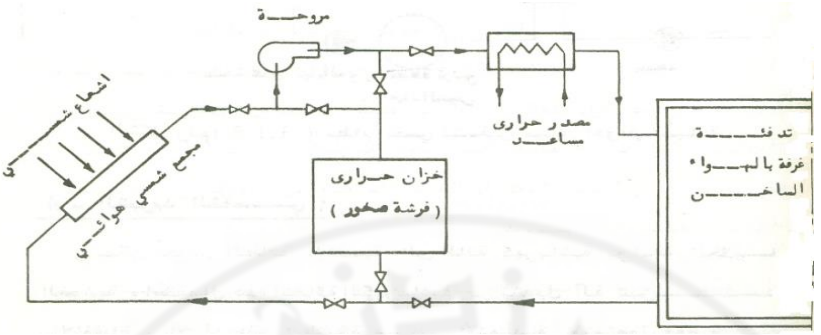
الشكل (2-10) عائد للبيت الشمسي الذي أنشأته شركة Philips في مدينة آخن، ويبين الشكل أنظمة الطاقة المستعملة فيه حيث يحتوي على خزان للماء الساخن D بسعة $4m^3$ وخزان ثان لمياه التصريف W بسعة $1m^3$ وخزان رئيسي بسعة $42m^3$ يستعل كخزان حراري.



الشكل (2-10) البيت الشمسي الذي أنشأته شركة Philips

وتتم التدفئة بواسطة المشعات التي تستمد الحرارة من الخزان الرئيسي أما هواء التهوية فيتم تسخينه بالتبادل الحراري مع هواء السحب ، أضيف إلى النظام مضخة حرارية لتسخين المياه للاستعمال المنزلي.

أما الشكل (2-11) فيبين طريقة التدفئة الشمسية بالهواء الذي يتم تسخينه بواسطة مجمعات شمسية هوائية وتستعمل فرشة صخور كخزان حراري، وتقوم المروحة بسوق الهواء المسخن في المجمعات الهوائية إما إلى الغرفة أو إلى الخزان الحراري حسب الحاجة ويحتوي النظام أيضاً على مصدر حراري مساعد لتغطية النقص من الطاقة الحرارية.



الشكل (2-11) نظام شمسي للتدفئة بالهواء الساخن مع تخزين الحرارة

التدفئة بالطاقة الشمسية هي ضخ الحرارة المكتسبة في المجمعات الشمسية إلى داخل الحيز المراد تدفئته، ولتحقيق هذا الغرض يتم استعمال بعض المعدات والأجهزة لنقل التأثير الحراري من المجمع الشمسي إلى داخل الحيز.

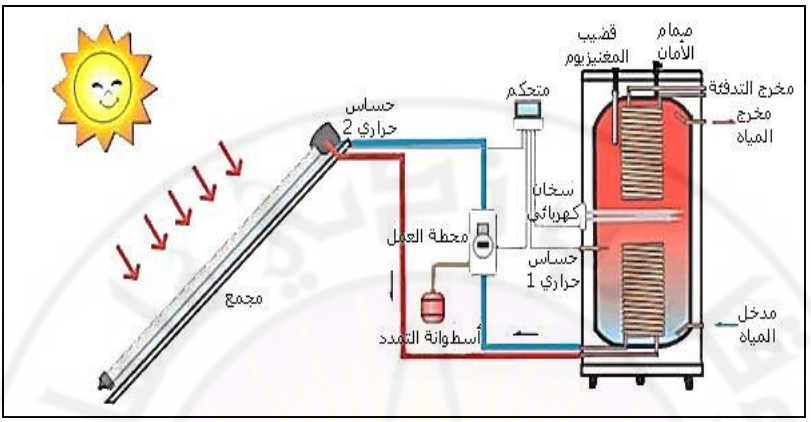
هناك نظامان للتدفئة بالطاقة الشمسية يستخدم أحدهما الهواء بينما يستخدم الآخر الماء. في نظام التدفئة بالهواء يتم تسخين الهواء في المجمعات الشمسية ومن ثم دفعه إلى داخل الحيز بواسطة مروحة، أما بالنسبة لأنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل الماء، فإنها تتضمن مبادلات حرارية يجري عبرها نقل الحرارة من الماء القادم من المجمع الشمسي إلى الهواء المدفوع إلى داخل الحيز.

أولاً: أنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل الماء: يوجد نوعان لأنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل الماء كوسيط تسخين هما:

1- الأنظمة التي تستخدم مبادلات حرارية: يجري من خلالها نقل الحرارة من الماء القادم من المجمع الشمسي إلى الهواء المدفوع إلى داخل الحيز المطلوب تسخينه الشكل(2-12).

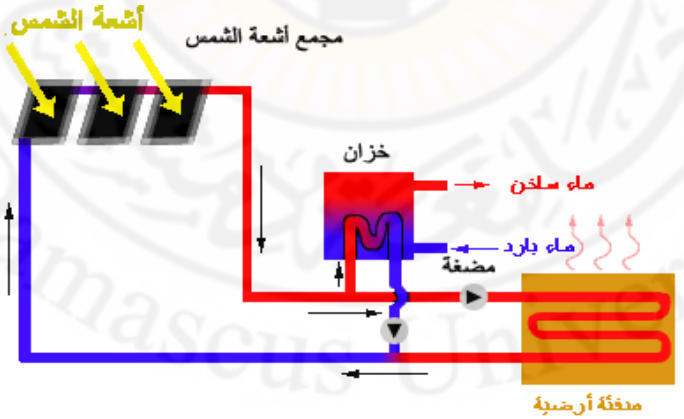
ولا تختلف أنظمة التدفئة بالماء الساخن بالشمس عن أنظمة تسخين المياه المعتادة إلا في الأجهزة الإضافية المطلوبة لنقل التأثير الحراري إلى داخل الحيز المطلوب تسخينه، وأما باقي أجزاء نظام التدفئة فهي تلك المستعملة في أنظمة تسخين المياه بشكل أساسي ،وهناك بالطبع فارق في عدد المجمعات الشمسية

المطلوبة وفي حجم خزان المياه الساخنة. ويتم تحديدهما اعتمادا على مقدار حمل التدفئة المطلوب.



الشكل(2-12) الأنظمة التي تستخدم مبادلات حرارية

2 - المدافئ الأرضية: يتم في هذا النظام نقل الحرارة من الماء القادم من المجمع الشمسي إلى مبادلات حرارية تمدد تحت أرضية الأماكن المراد تدفئتها الشكل(2-13)، تنتقل عبرها الحرارة إلى الأرضيات الموجود فوقها ومن ثم إلى الوسط المراد تدفئته.



الشكل(2-13) المدافئ الأرضية

ومن أهم وضائف خزان المياه الساخنة في المدفئة الأرضية:

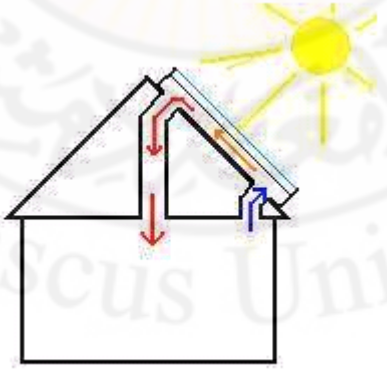
1- تسخين بلاط المنزل أثناء الليل، وذلك لعدم قدرته ليلا القيام بعملية التسخين من خلال مجمع الأشعة. لذلك يجب إذا استخدام مصدر حراري مساعد.

2-استخدامه كسخان مياه لتوفير المياه الساخنة الصحية.

ثانياً: أنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل بالهواء: يتم تسخين الهواء في المجمعات الشمسية ومن ثم دفعه إلى داخل المكان المراد تدفئته بواسطة مروحة. ولا يختلف تصميم المجمع الشمسي المستعمل لتسخين الهواء عن ذلك المستعمل لتسخين الماء إلا في تصميم الصفيحة الماصة، وتحديداً في تصميم مجرى الهواء، فبينما يتخذ مجرى الماء شكلاً دائرياً يكون المقطع العرضي لمجرى الهواء مستطيلاً.

النظام الأول: التدفئة بالطاقة الشمسية بطريقة تدوير الهواء:

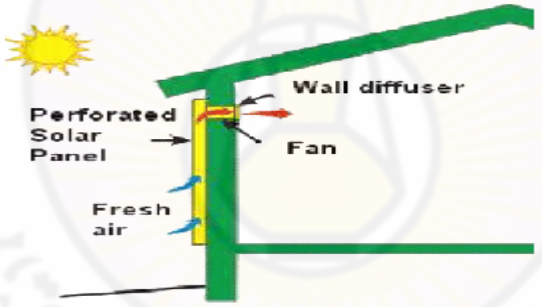
هي أحد ابسط طرائق التدفئة وأقلها تعقيداً، فهي عبارة عن مجمعات شمسية زجاجية تستقبل اشعة الشمس الساقطة عليها لتقوم بتسخين الهواء الموجود بداخلها، وعن طريق حساس الحرارة بالداخل عند وصولها لدرجة حرارة معينة ومقارنتها بدرجة الحرارة الموجودة بداخل الحيز المراد تدفئته عن طريق حساس حرارة مثبت داخل الحيز المراد تدفئته، يتم توصيل مراوح وظيفتها تدوير الهواء الدافئ من المجمعات الي الحيز المراد تدفئته الشكل(2-14).



الشكل(2-14) التدفئة بالطاقة الشمسية بطريقة تدوير الهواء

النظام الثاني: التدفئة عن طريق مجمع الهواء المثقب:

مجمع الهواء المثقب هو عبارة عن لوحة مثقبة ممتصة للطاقة الشمسية، حيث يتكون السطح الخارجي لهذا المجمع من آلاف الثقوب الصغيرة جداً التي تسمح للهواء والحرارة المجاورة بأن تدخل بانتظام الي تجويف الهواء الموجود خلف الألواح الخارجية المثقبة. تقوم مجمعات الهواء المفرغة بتجميع الهواء الخارجي بدلاً من استخدام الهواء الموجود في الغرفة، وعادة ما تكون مجمعات الطاقة الشمسية مركبة على الحائط الخارجي لالتقاط زاوية سقوط اشعة الشمس المنخفضة في أشهر الشتاء الباردة. ويتم سحب هذا الهواء الساخن لداخل المكان المراد تدفئته عن طريق مراوح سحب في نظام التهوية للمبنى حيث يتم توزيعها بعد ذلك عن طريق الوسائل التقليدية أو باستخدام نظام الطاقة الشمسية عبر الأنابيب الشكل(2-15).



الشكل(2-15) التدفئة عن طريق مجمع الهواء المثقب

ويتم ضخ الهواء داخل المبنى بطريقتين:

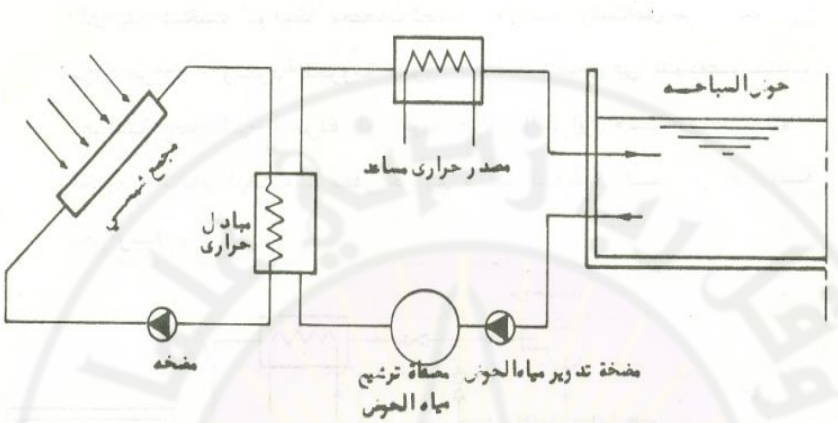
1- ضخ الهواء مباشرة من فتحات كبيرة إلى المكان المطلوب تدفئته.

2- ضخ الهواء عبر ممرات مثقبة لتوزيع الهواء على مستوى السقف.

2-2-3- التسخين الشمسي لأحواض السباحة المغلقة

يتألف النظام من دارتين: الأولى دارة الماء للمجمعات الشمسية والدارة الثانية دارة ماء حوض السباحة ويتم التبادل الحراري بينهما في المبادل الحراري، حيث يسحب ماء الحوض بواسطة المضخة وبعد تنقيته وتصفيته بتمريره عبر مصافي تقوم بالتقاط

المواد العالقة، يمرر خلال المبادل الحراري. ويضاف إلى الدارة مصدر حراري مساعد لرفع درجة حرارة ماء الحوض إلى الدرجة المطلوبة الشكل (2-16).



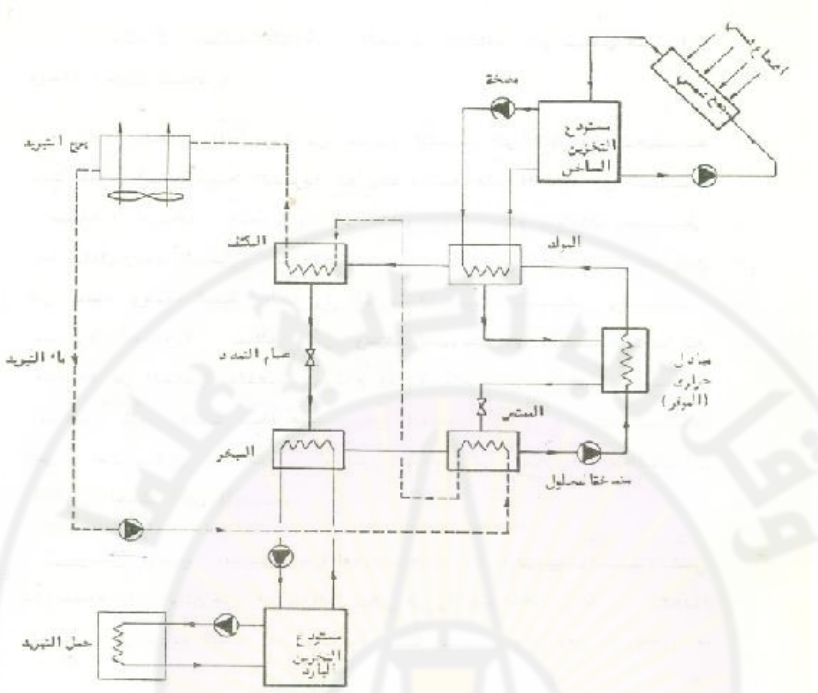
الشكل (2-16) نظام شمسي لتسخين مياه أحواض السباحة

2-2-4- التبريد الشمسي

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بواسطة خلايا الضوئية واستعمال هذه الطاقة الكهربائية في تشغيل آلة تبريد بانضغاط، إلا أن هذا الطريقة هي غير اقتصادية و تستعمل فقط من أجل استطاعات التبريد الصغيرة جداً.

في حين أنه في آلة التبريد بالامتصاص التي تحتاج إلى مصدر حراري لتسخين المولد، لذلك يمكن استخدام الطاقة الحرارية الشمسية لهذه الغاية، وهذا النظام هو الذي نال الاهتمام الأكبر وتركزت الجهود عليه في استخدامات الطاقة الشمسية لغايات التبريد.

يبين الشكل (2-17) نظاماً شمسياً للتبريد باستعمال دارة الامتصاص التي تستخدم الطاقة الحرارية الشمسية، وتتألف هذه الدارة من الأقسام الرئيسية التالية: المولد، المكثف، المبخر والممتص. بالإضافة إلى مبادل حراري ومضخة وصمام تمدد.



الشكل (2-17) التشغيل الشمسي لنظام تبريد بالامتصاص مع مستودع لتخزين الحرارة ومستودع لتخزين البرودة

تضاف الطاقة الحرارية من المصدر الشمسي إلى المولد لتسخينه حيث تنطلق أبخرة وسيط التبريد ثم يتم تكثيف هذه الأبخرة في المكثف (نتيجة لتبريدها) وتحويلها إلى سائل ويقوم صمام التمدد بخفض ضغط سائل وسيط التبريد إلى ضغط التبخير، ليتبخر سائل وسيط التبريد في المبخر ويسحب الكمية الحرارة اللازمة لتبخيره وبالتالي يولد البرودة المطلوبة، ينطلق بخار وسيط التبريد إلى الممتص حيث يتم امتصاصه في المحلول الفقير، وتتم عملية الامتصاص نتيجة لتبريد الممتص، تقوم بعدئذ مضخة صغيرة بضخ المحلول الغني إلى المولد عبر مبادل حراري بين المحلول الغني الذاهب إلى المولد والمحلول الفقير العائد إلى الممتص.

ونظراً لطبيعة الشمس المتقطعة تحتاج دارة التبريد الشمسي بالامتصاص إلى خزان حراري أو إلى مصدر حراري مساعد، ويمكن أن يضاف إليها خزان برودة لضمان عمل الجهاز بشكل مستمر. إن الدراسات المتعلقة بنظم التبريد الشمسي تناولت مواضيع عديدة أهمها:

- اختبار مناسب للزوجة المواد العاملة في دارة الامتصاص.

- تحسين عامل أداء الدارة.

- تخزين الطاقة الحرارية الشمسية.

- تخزين البرودة خفض الكلفة الأولية التأسيسية.

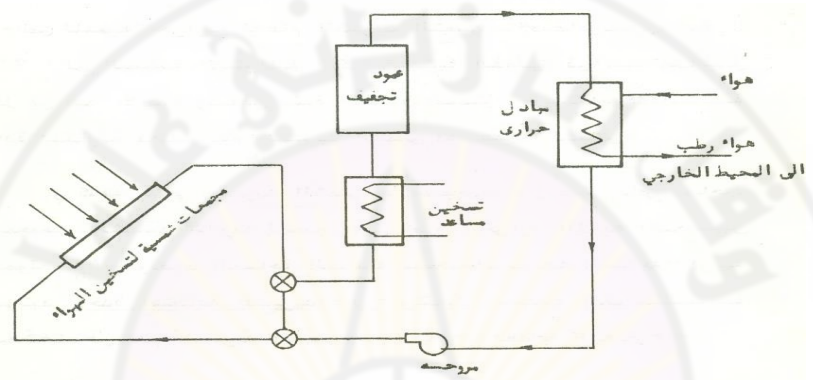
أن النسبة الحرارية لنظام التبريد الشمسي بالامتصاص تساوي إلى جداء عامل أداء دارة التبريد بمردود المجمعات وتتراوح القيمة العظمى للنسبة الحرارية لنظام التبريد الشمسي بالامتصاص بين 0.55 و 1.22 في المنطقة الاستوائية وتكون قيمتها الفعلية في بقية المناطق أقل من هذه الأرقام وتتعلق بشدة الإشعاع الشمسي، وتستخدم هذه النسبة عادة لمقارنة مختلف نظم التبريد الشمسي مع بعضها البعض.

أن كلفة نظام التبريد الشمسي بالامتصاص تتعلق بشكل خاص بمساحة المجمعات الشمسية اللازمة للحصول على كمية الحرارة اللازمة لتسخين المولد، وتعرف المساحة النوعية للمجمعات بأنها المساحة اللازمة لتوليد واحدة استطاعة التبريد KW، وتقارن المساحة النوعية للمجمعات في نظام التبريد الشمسي بالامتصاص مع بعضها البعض.

2-2-5– التجفيف الشمسي

تستعمل الطاقة الحرارية الشمسية لتجفيف المنتجات الزراعية بغية تخزينها فترة طويلة دون أن تتعرض للتلف.

الشكل (2-18) يبين أحد أنظمة التجفيف الشمسي حيث تقوم مروحة بإرسال الهواء الخارجي عبر مبادل حراري لتسخينه قبل إرساله إلى مجمعات الهواء الشمسية، بعدئذ يجتاز الهواء مسخناً حرارياً مساعداً لرفع درجة حرارته إلى درجة الحرارة المطلوبة.



الشكل (2-18) نظام تجفيف شمسي

يمر الهواء عبر عمود التجفيف لنزع الرطوبة من المنتجات المطلوبة تجفيفها وقبل طرد الهواء الرطب إلى الجو المحيط يجري تبادل حراري بينه وبين الهواء الخارجي. ويصمم سخان الهواء المساعد بحيث يستطيع تسخين هواء التجفيف في فترات عدم سطوع الشمس ، ويتم التحكم بذلك بواسطة صمامين ثنائيي الوضع كما هو مبين على الشكل.

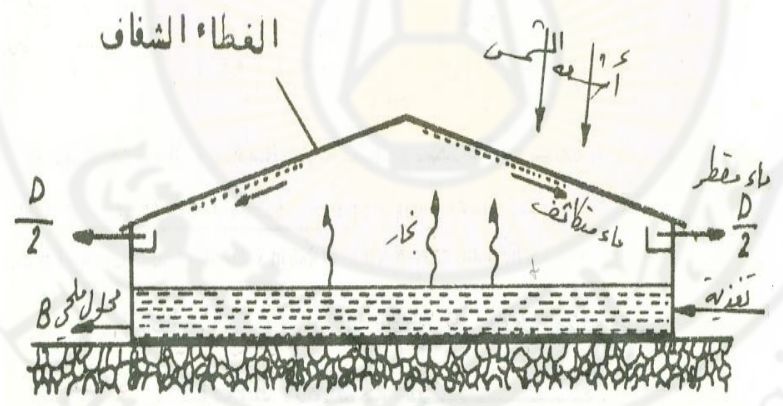
2-2-6- التقطير الشمسي

إن تقطير المياه بالطاقة الشمسية هو من أقدم الطرق التي استعملت للحصول على مياه عذبة، واكتسبت هذه الطريقة أهميتها مجدداً بعد ارتفاع كلفة الطاقة، وخاصة في المناطق التي تندر فيها المياه العذبة وتتوفر فيها الطاقة الشمسية في معظم أيام السنة.

ويعتبر المقطر الشمسي الصندوقي من أكثر المقطرات التي تستخدم الطاقة الحرارية الشمسية استعمالا نظراً لبساطة إنشائه وسهولة صنعه.

يتألف النوع البسيط للمقطر الصندوقي من وعاء مزود بغطاء شفاف يسمح بنفوذ أشعة الشمس (زجاجي 2-3 مم أو بلاستيكي 0.1 مم من النوع غير القابل للابتلال) ويحتوي الوعاء في قعره على ماء مالح بسماكة قليلة فوق قاعدة سوداء (لامتصاص أكبر كمية من الإشعاع الشمسي).

ونتيجة لارتفاع درجة حرارة الماء المالح يتبخر الماء، وبخار الماء الناتج يتكاثف على السطح الداخلي للغطاء تحت درجة حرارة متوسطة بين درجة حرارة الجو الخارجي، ونظراً لميل الغطاء ينساب الماء عليه ويجمع بواسطة مجاري جانبية الشكل (2-19). هذا ويمكن تغذية المقطر الشمسي بالماء المالح بشكل مستمر أو بشكل متقطع.



الشكل (2-19) المقطر الصندوقي الشمسي

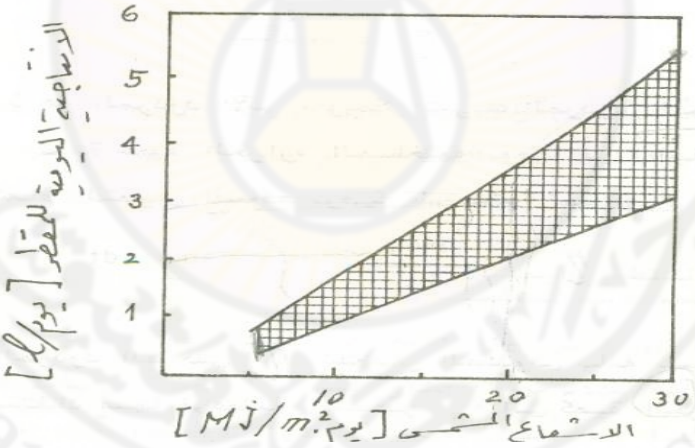
وأول مقطر شمسي بإنتاجية كبيرة تم بناؤه في التشيلي عام /1872/ حيث بلغت مساحة قاعدته 4450م2 وكانت طاقته الإنتاجية 14762 ليتر في اليوم.

2-2-6-1- إنتاجية المقطر الشمسي

تعرف الإنتاجية اليومية للمقطر الشمسي بكمية الماء العذب المنتجة يومياً من قبل واحدة السطح من قاعدة المقطر (ل / م2) وهي تتعلق بشدة الإشعاع الشمسي وبتصميم المقطر وطريقة إنشائه وخواص المواد المستعملة في صنعه.

الشكل (2-20) يبين إنتاجية المقطر الشمسي الصندوقي L/day كتابع للإشعاع الشمسي الساقط على وحدة السطح في اليوم (يوم MJ/m^2) وهي تتراوح عادة بين (3-4) ليتر في اليوم لكل متر مربع. كما يمكن استعمال القانون التقريبي التالي لحساب هذه الإنتاجية:

$$P_d = 0.0393\ H_t^{1.4}$$



الشكل (2-20) تغير إنتاجية المقطر الشمسي الصندوقي كتابع للإشعاع الشمسي

حيث:

H_t : شدة الإشعاع الشمسي الساقط يومياً على واحدة السطح $MJ/m^2.day$.

P_d : إنتاجية المقطر الشمسي $L/m^2.day$.

2-2-6-2- مردود المقطر الصندوقي

لمقارنة مختلف أنواع المقطرات الشمسية. نعرف مردود المقطر بأنه نسبة كمية الحرارة المستخدمة في عملية التبخير q_e إلى شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الغطاء G_t:

$$\eta = q_e / G_t$$

وهذا المردود هو المردود الآني، ويمكن تعريف المردود اليومي للمقطر η_d بنسبة كمية الحرارة المستخدمة يومياً في عملية التبخير إلى شدة الإشعاع الشمسي الساقط يومياً على سطح الغطاء (التكامل من 0-24 ساعة).

$$\eta_d = (3600/H_t).\int q_e.dt$$

كذلك يعرف المردود الداخلي η_i للمقطر الصندوقي بأنه نسبة كمية الحرارة المستفاد منها في عملية التبخير q_e إلى كمية الحرارة الممتصة من قبل الماء:

$$\eta_i = q_e / (f.\mu.G_t)$$

ويعتبر المردود الداخلي كمقياس لكفاءة انتقال الحرارة داخل المقطر.

2-2-6-3- العوامل التي تؤثر على أداء المقطرات الشمسية الصندوقية

أهم هذه العوامل هي:

1- شدة الإشعاع الشمسي.

2- درجة حرارة الجو المحيط.

3- سرعة الرياح.

4- العزل الحراري لجسم المقطر.

5- عمق طبقة الماء المالح في قاعدة المقطر.

6- تسرب البخار من المقطر (بسبب عدم أحكام وضع الغطاء).

7- تسرب الماء المقطر.

8- زاوية ميل الغطاء (حيث تبين أن أفضل زاوية ميل هي 20° إلى 25° عن المستوى الأفقي).

9- المسافة بين الغطاء وسطح الماء (حيث تزداد الإنتاجية كلما كانت هذه المسافة أقل).

2-2-6-4- اقتصادية التقطير الشمسي-

رأينا أن تقطير مياه البحر في المقطرات الشمسية ذات المساحات الكبيرة (عدة مئات من أمتار المربعة) يمكن أن ينفذ بسرعة وبكلفة مقبولة، ولا يتعدى الأمر سوى حفر سطوح مستوية بعمق قليل و تبطينها بمواد كتيمة (طبقات من الإسفلت أو من المطاط البوتيل)، وهكذا يتشكل حوض التبخير، والأغطية الزجاجية والمستندة إلى دعامات بيتونية تقوم بوظيفة الغطاء وبوظيفة سطح التكثيف. وقد تم تنفيذ وتشغيل العديد من هذه المقطرات في بلدان مختلفة (بشكل خاص في الولايات المتحدة، استراليا، اليونان).

وكلفة التأسيس للمقطرات ذات الغطاء الزجاجي باستطاعة تقطير تبلغ عدة مئات الأمتار المكعبة من الماء العذب في اليوم تبلغ (400) ليرة سورية من أجل ليتر ماء في اليوم، كلفة التأسيس هذه المرتفعة نسبياً بالمقارنة مع كلف التأسيس لمنشآت التقطير بالطرق التقليدية تقابلها كلفة طاقة وكلفة تشغيل منخفضة وعمر أطول نسبياً، بحيث أن كلفة الإنتاج تتراوح بين 50-100 ليرة سورية لكل متر مكعب ماء وذلك حسب حجم المنشأة وشدة الإشعاع الشمسي ومعدل إطفاء رأس المال.

ويمكن للتقطير الشمسي أن يكون اقتصادياً في البلدان المشمسة من أجل سعات تقطير حتى(200م^3/يوم) في حين أنه من أجل السعات الكبيرة لا يمكن للتقطير الشمسي أن ينافس طرق التقطير التي تستعمل الطاقات التقليدية.

ويبدو أن البلدان التي تقع على البحر الأبيض المتوسط والبحر الأحمر والخليج العربي يمكن أن تستفيد من هذه الطريقة في إنتاج الماء العذب، لاسيما أن بساطة المقطرات الشمسية وعدم الحاجة إلى عمال مهرة للإنشاء والتشغيل تجعلها جذابة للاستعمال في الأقطار النائية والمناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة والتجمعات السكانية المغيرة.

2-2-7- الأحواض الشمسية

يمثل الحوض الشمسي أبسط تقنية في التحويل المباشر للطاقة الشمسية إلى الطاقة الحرارية، وهو في الوقت ذاته لاقط للطاقة الشمسية وخزان حراري.

أن أي حوض مائي يمكنه التقاط الإشعاع الشمسي وتحويله إلى حرارة، لكن معظم الأحواض الطبيعية تفقد هذه الحرارة بسرعة بسبب الحمل الحراري الشاقولي ضمن الحوض وبسبب البخر والتوصيل الحراري عبر سطح الحوض، ولكن الحوض الشمسي ذا التدرج في تركيز الملح يحول دون حدوث تيارات الحمل الحراري الشاقولية ويمنع بالتالي حدوث البخر والتوصيل الحراري المستمر عبر سطح الحوض.

إن معظم الأنظمة الشمسية تحت درجات الحرارة المنخفضة تتألف من لواقط شمسية وحدات تخزين حراري، وتقوم الخزانات الحرارية بتخزين الطاقة لمدة يوم أو عدة أيام فقط.

في حالة الحوض الشمسي لا يمكن أن نميز بين وحدة التقاط الطاقة الشمسية ووحدة التخزين، إذا أن كتلة الماء ذاتها تخدم كلاقط للأشعة الشمسية وكوسيط تخزين حراري، كتلة الماء هذه هي كبيرة نسبياً بحيث يمكن أن تؤمن تخزيناً طويل الأمد يمتد

لعدة أشهر وأحياناً لأطول من فصل. وبشكل عام يمكن أن نصنف الأحواض الشمسية ضمن مجموعتين:

1. الأحواض الشمسية التي تنقص من ضياعات الحرارة بالحيلولة دون حركة الماء (بحيث تمنع حدوث تيار حمل حراري ضمن كتلة الماء).
2. الأحواض الشمسية التي تنقص من ضياعات الحرارة بتغطية سطوح هذه الأحواض.

وأكثر الأحواض الشمسية التي تمت دراستها بإسهاب هي الأحواض الشمسية بدون حمل حراري ذات التدرج في تركيز الملح.

2-2-7-1- الأحواض الشمسية ذات التدرج في تركيز الملح

أن الحوض الشمسي ذو التدرج في تركيز الملح هو حوض يحتوي على محول ملحي بدرجة تركيز عالية في قعر الحوض وتتناقص درجة التركيز هذه إلى قيمة منخفضة بالقرب من سطح الحوض.

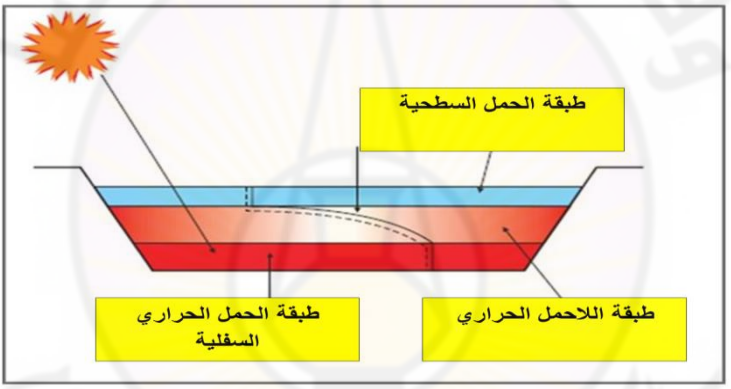
ويستعمل كلور الصوديوم Na Cl وكلور المغنسيوم $Mg\ Cl_2$ لهذه الغاية ولكن يمكن استعمال أنواع أخرى من الأملاح لإنشاء الحوض، تدخل أشعة الشمس إلى الحوض ويمتص جزء منها من قبل الماء أثناء نفوذها ويمتص الجزء الأكبر منها من قبل القعر الغامق للحوض (يمكن أن يكون هذا القعر بطانة أو غطاء أسود أو مطلي بلون أسود) وكنتيجة لامتصاص أشعة الشمس فأن الطبقات السفلية من الحوض تصبح ساخنة، أن درجات التركيز العالية للملح تكون سائدة في مناطق الحوض السفلية وهكذا فأن المياه الأعمق تحتوي على كثافة أعلى للملح من المياه الأبرد بالقرب من السطح، وكما هو معلوم تتناقص كثافة الماء الصافي عندما يسخن وإذا لم يكن هناك تدرج في تركيز الملح داخل الحوض فأن تيارات حمل حراري مستمرة من الماء الساخن ستتشكل في قعر الحوض باتجاه طبقات الماء الأبرد بالقرب من السطح.

يتألف الحوض الشمسي ذو التدرج في تركيز الملح عملياً من ثلاث طبقات كما في الشكل (2-21):

1- طبقة الحمل السطحية وهي عبارة عن محلول ملحي خفيف.

2- طبقة اللاحمل حراري وفيها تزداد درجة تركيز الملح مع العمق.

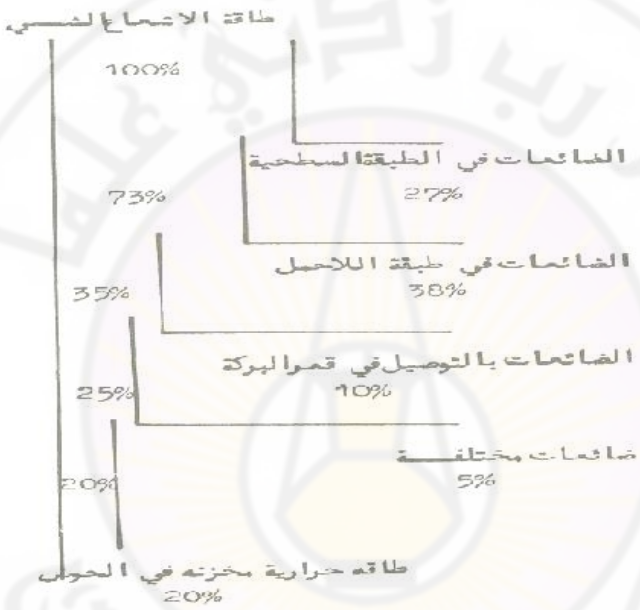
3- طبقة الحمل الحراري السفلية وهي منطقة التخزين الحراري ويكون تركيز الملح فيها ثابتاً وقريبا من درجة الإشباع.



الشكل (2-21) مقطع في الحوض الشمسي ذو التدرج في تركيز الملح

في الطبقة العلوية يحدث حمل حراري شاقولي بسبب تأثير الريح والبخر السطحي وليس لهذه الطبقة قصد مفيد ويحافظ عليها رقيقة قدر المستطاع، والطبقة التي تليها تحتوي على تركيز متزايد للملح مع ازدياد العمق بحيث تحول فيها دون حدث تيارات حمل حراري و يتراوح عمقها بين (0.8– 1.0) م. أما الطبقة الثالثة السفلية فهي طبقة ذات تركيز ملحي ثابت قريب من الإشباع وفيها تحدث تيارات حمل حراري إلا أن هذه التيارات لا تصعد إلى السطح، وهذه الطبقة تقوم بوظيفة التخزين الحراري وتتراوح سماكتها بين 1.2م إلى 2م ويتم سحب الحرارة المفيدة منها.

الشكل (2-22) يمثل موازنة الطاقة في الأحواض الشمسية ومختلف الضياعات في الطبقات الثلاثة ومنه نرى أن مقدار الطاقة الحرارية المخزنة وهي الطاقة المفيدة تساوي 20% من طاقة الإشعاع الشمسي الساقط على الحوض. هذا وقد تم في السنوات الماضية بناء وتشغيل عدد من الأحواض الشمسية في مواقع مختلفة في العالم.



الشكل (2-22) مخطط سانكي أو موازنة الطاقة للأحواض الشمسية

2-2-7-2- إمكانيات استعمال الأحواض الشمسية

يمكن استعمال الأحواض الشمسية كمصدر للطاقة الحرارية تحت درجة حرارة منخفضة لغايات التدفئة المركزية المنزلية والتدفئة الصناعية وتحضير المياه الساخنة، وكمصدر للطاقة الحرارية تحت درجة حرارة منخفضة في بعض العمليات الصناعية. كما يمكن الاستفادة منها في تحلية المياه وفي توليد الطاقة الكهربائية باستخدام دارة رانكين العضوية، كذلك يمكن استعمال هذه الأحواض في عمليات التكييف والتبريد

بتشغيل آلة تبريد بالامتصاص تستمد طاقتها الحرارية من الحوض الشمسي. وسنتطرق فيما يلي إلى أهم استخدامات الأحواض الشمسية في التدفئة وفي توليد الطاقة الكهربائية.

1- استخدام الأحواض الشمسية في التدفئة المركزية

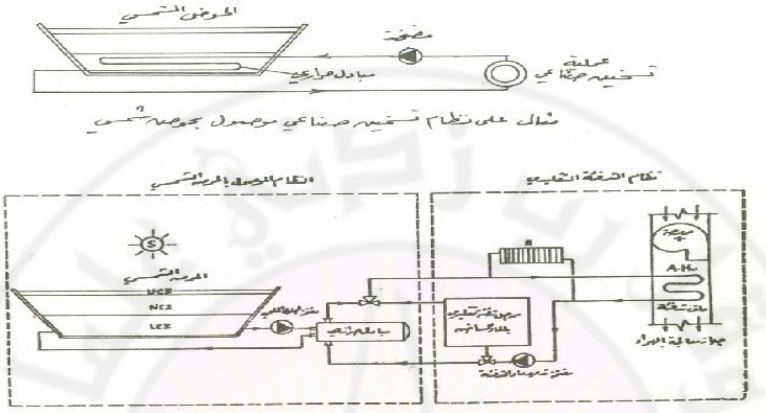
نظراً إلى الحوض الشمسي يتميز ليس فقط بالتقاط الطاقة الشمسية وبتحويل هذه الطاقة إلى طاقة حرارية بل أيضاً بإمكانية تخزين هذه الطاقة الحرارية فأن استخدامه لغايات التدفئة المركزية يبدو جذاباً. والأحواض قليلة العمق يمكن أن تؤمن كمية الحرارة اللازمة للتدفئة لمدة عدة أيام تغيب فيها الشمس، وإذا زدنا عمق طبقة التخزين السفلية فأنه يمكن تحقيق التخزين الموسمي للحرارة.

بينت الدراسات الاقتصادية لأنظمة التدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل اللواقط المسطحة، أن تخزين الطاقة الحرارية المستمدة من الشمس لمدة تزيد عن عدة أيام لن يكون عملياً و اقتصادياً، لذلك فأن الأحواض الشمسية التي تتميز بإمكانيات تخزين الحرارة لأمد طويل يمكن أن تستعمل كنظام تدفئة متكامل دون الحاجة إلى مصدر مساعد للطاقة.

أن كلفة واحدة الطاقة الحرارية من الحوض الشمسي تتعلق بحجم هذا الحوض وهي تتناسب عكساً مع هذا الحجم، لذلك فأن الأحواض الكبيرة المخصصة لتدفئة عدة مبان هي أكثر اقتصادية، كذلك فأن أبعاد الحوض الشمسي تتبع عدة عوامل منها موقع الحوض، الشروط المناخية في هذا الموقع كلفة المواد الإنشاء، مواصفات الأبنية التي سيستعمل الحوض لتدفئتها ...إلخ. الشكل (2-23) يبين نظام تدفئة يستخدم الحوض الشمسي كمصدر للطاقة الحرارية، حيث تتألف مكونات النظام الشمسي من: الحوض الشمسي، مضخة المحلول الملحي، المبادل الحراري والأنابيب وملحقاتها.

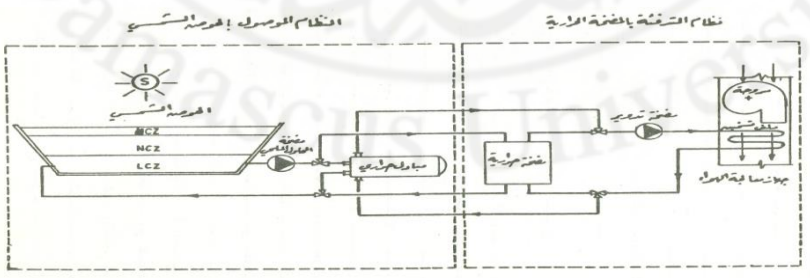
في حين أن نظام التدفئة يستخدم المبادل الحراري بدلاً من مرجل التدفئة ويمكن أن نضيف لنظام التدفئة مرجل إضافي مع وشيعة مستقلة، أو أن نعتمد طريقة للتشغيل

نستمد فيها الطاقة الحرارية من الحوض حتى تهبط درجة حرارة الحوض إلى درجة حرارة معينة ننتقل بعدها إلى تشغيل مرجل التدفئة.



الشكل (2-23) نظام تدفئة يستخدم الحوض الشمسي كمصدر للطاقة الحرارية

رأينا أن الحوض الشمسي يستطيع تخزين كمية كبيرة من الطاقة الحرارية تحت درجات حرارة معتدلة بين (30 - 90) درجة، ويمكن استعمال هذه الحرارة في طريقة التدفئة المباشرة حتى تنخفض درجة حرارة الحوض إلى 30˚ أو 35 ، عندئذ نتوقف عن سوق المحلول إلى المبادل الحراري ونرسله إلى مبخر المضخة الحرارية، وهكذا نستمر بواسطة المضخة الحرارية بسحب الحرارة من الحوض حتى ولو انخفضت درجة حرارة الحوض أقل من درجة حرارة المكان المطلوب تدفئته الشكل (2-24).



الشكل (2-24) نظام تدفئة بالمضخة الحرارية موصول بحوض شمسي

أن المضخة الحرارية تسحب الحرارة من المحيط (الهواء أو المياه الجوفية، أو باطن الأرض) بعامل أداء فعلي يتراوح بين(2، 4)، ويتعلق عامل الأداء بدرجة حرارة المنبع الحراري ويزداد بارتفاع درجة حرارة هذا المنبع لذلك فأن استعمال الحوض الشمسي كمنبع حراري سيؤدي إلى الحصول على عوامل أداء للمضخة الحرارية.

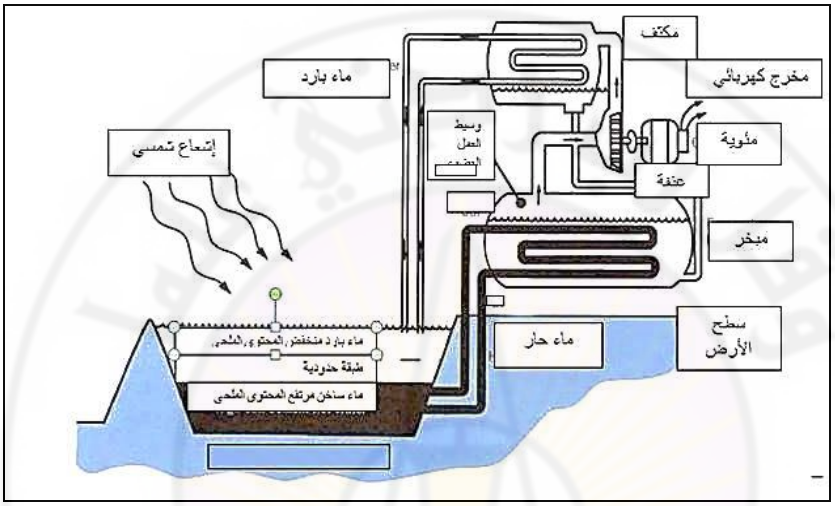
في كافة هذه الاستخدامات تلعب كلفة المنشأة ونفقات التشغيل دوراً هاماً وقد بينت الدراسات المتعلقة باستخدام الأحواض الشمسية للتدفئة أنه في حال استخدام الحوض الشمسي لتدفئة بيت مستقل فأن الكلفة ستكون عالية غير اقتصادية ونظراً إلى أن ضياعات الحرارة من الحوض تنقص نسبياً مع ازدياد نسبة مساحة الحوض إلى محيطه وكذلك تنقص كلفة التأسيس العائدة لواحدة الطاقة الحرارية المخزونة كلما ازدادت أبعاد الحوض فأن الأحواض الشمسية ستكون أكثر ملائمة لاستخدمها في تدفئة الأبنية الكبيرة أو لتدفئة المجمعات السكنية.

2- توليد الطاقة الكهربائية بواسطة الأحواض الشمسية

الشكل (2-25) يبين مبدأ عمل منشأة توليد كهرباء تستعمل الحوض الشمسي مصدر للطاقة الأولية. تقوم مضخة بسحب المحلول الملحي الساخن من أسفل الحوض وبتدويره ضمن مبادل حراري (حيث يعطي حرارته إلى وسيط العمل العضوي) ليعود بعدئذ إلى الحوض. أما وسيط العمل العضوي فيقوم بدارة مغلقة: يتبخر في المبادل الحراري (المبخر) ثم يتمدد في العنفة ويتكاثف في المكثف وتقوم مضخة أخرى بضخ سائل هذا الوسيط العضوي إلى المبخر ثانية.

وهكذا تبدو تقنية تحويل الطاقة الحرارية من الحوض الشمسي إلى طاقة ميكانيكية شبيهه بالتقنيات المطبقة في مجالات الاستفادة من مصادر الطاقة الحرارية ذات درجة الحرارة المنخفضة مثل حرارة باطن الأرض والطاقة الحرارية للمحيطات، وهي تقنية بسيطة من حيث مبدأ العمل إلا أن أبعاد الآلات الكبيرة وبالتالي كلفة التجهيزات

المرتفعة والمردود الحراري المنخفض تجعل ثمن وحدة الطاقة الكهربائية المولدة من مصدر شمسي بواسطة الأحواض الشمسية هو أضعاف ثمن هذه الطاقة عندما تولد من مصادر أخرى للطاقات البديلة.



الشكل (2-25) منشأة حرارية لتوليد الطاقة الكهربائية بوساطة الحوض الشمسي

لقد أنجزت دراسات الجدوى الاقتصادية لعدة تصاميم خاصة بتوليد الطاقة الكهربائية بواسطة الأحواض الشمسية، أحدى هذه الدراسات قام بها معهد أبحاث الطاقة الشمسية في كولورادو في لوس انجلوس لإنشاء عدة أحواض شمسية بأبعاد $1\ Km^2$ لكل حوض لتشغيل مجموعة توليد كهرباء باستطاعة 5MW وقد بينت هذه الدراسات أن كلفة التأسيس لواحدة الاستطاعة لن تقل عن 4000$.

كذلك قامت جامعة بيركلي بدراسة كلفة توليد الكهرباء من حوض شمسي مساحته $10Km^2$ يقع في جنوب كاليفورنيا باستطاعة 50MW وتبين أن كلفة توليد الكيلو واط الساعي من هذا الحوض لن تقل عن 31¢ سنت وهي تزيد عن خمسة أضعاف

كلفة الكهرباء المولدة بالطرق التقليدية. ويمكن تلخيص أهم مزايا الأحواض الشمسية بما يلي:

1- تمثل الأحواض الشمسية أرخص طريقة لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية ولتخزين هذه الطاقة الحرارية، أن كلفة واحدة السطح من الأحواض الشمسية هي أقل بكثير من أي نظام يستعمل اللواقط الشمسية المسطحة.

2- نظراً إلى أن الأحواض الشمسية ستكون أفقية ولا يمكن إنشاؤها على السطح فأنها ستحتاج إلى مساحات من الأرض كبيرة نسبياً ولهذا السبب لن يكون لها مجال استعمال في المدن.

3- يمكن استخدام الأحواض الشمسية بصورة اقتصادية للتدفئة المركزية ولتأمين الطاقة الحرارية تحت حرارة منخفضة للاستعمالات الصناعية، وبسبب إمكانياتها في تخزين الحرارة فأننا لن نحتاج إلى النفقات الإضافية العائدة لتجهيزات التخزين الحراري التي تسمح بتأمين الحرارة اللازمة للمبنى ليلاً أو عند عدم سطوع الشمس بالإضافة إلى أمكانية التخزين الحراري الموسمي.

4- أن استعمال الأحواض الشمسية لغاية إزالة ملوحة المياه هو الاستعمال الأكثر فائدة في الوقت الحاضر حيث يمكن استعمال الملح الذي نحصل عليه من عملية إزالة الملوحة لإنشاء الأحواض الشمسية ولصيانتها واستعمال الطاقة الحرارية الملتقطة من قبل الحوض الشمسي والمخزنة فيه في عمليات إزالة ملوحة المياه.

5- أن محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تستعمل الأحواض الشمسية هي بسيطة من حيث مبدأ العمل ولكنها ليست اقتصادية بسبب كلفة التأسيس العالية و المردود المنخفض.

6- أن سعر واحدة الطاقة الكهربائية المولدة من مصدر شمسي باستخدام الحوض الشمسي يبلغ عد أضعاف من أي مصدر آخر. وقد بينت الدراسات أنه يمكن تطوير

مصادر أخرى من الطاقات البديلة لغاية توليد الطاقة الكهربائية بكلفة أقل منها بواسطة الأحواض الشمسية.

2-3- الطباخ الشمسي

كان من الضروري البحث عن مصادر أخرى نظيفة ومتجددة حتى في استخداماتنا المنزلية، وخاصة في ظل نقص مصادر الغاز الطبيعي وارتفاع سعره، فظهرت تقنية الطباخ الشمسي كتقنية جديدة وفريدة من نوعها، حيث أنَّه لا يحتاج إلى أيّ نوع من أنواع الوقود ويعتمد على الطاقة الشمسية، ويمكن صناعته بواسطة مواد أولية بسيطة ومتوفرة وبتكلفة قليلة، بالإضافة إلى أنَّه لا يشغل مساحة كبيرة وسهولة نقله من مكان إلى آخر.

إن أول التجارب التي أجريت على الطباخات الشمسية كانت من قبل عالم فيزيائي ألماني، حيث قام بتصميم طباخ شمسي بسيط بعاكس واحد وطبقة واحدة، بعدها نفذ اختبار آخر في فرنسا لطهي الطعام باستخدام الطاقة الشمسية، تم فيه بناء بيت زجاجي مصغر مؤلف من خمس طبقات من الصناديق الزجاجية المرتبة فوق بعضها على طاولة سوداء واستخدم لإنضاج الفاكهة، كما طبقت فكرة أخرى أيضاً تعتمد على مبدأ دمج الفرن الحراري مع المرآة العاكسة، حيث أنشئ طباخ ذو كفاءة شمسية عالية، إلا أنه لم يكن عملياً نظراً لكبر حجمه، وبمرور السنوات تم إنشاء طباخ في الهند مجهز بثمانية مرايا تمكن من إعطاء حصص غذائية لإطعام سبعة جنود خلال ساعتين فقط، وفي الولايات المتحدة الامريكية تم ابتكار طباخ موضوع في العراء يُسخن بتأثير الأشعة الشمسية بواسطة أنابيب فراغية تحيط به، وفي داخله قسم يبلغ قطره خمس بوصات توضع فيه حاوية تتسع لثمان وجبات للطعام الشكل(2-26)، ويصلح هذا الفرن لطهي وجبات كالمشاوي والفطائر والذرة الفوشارية وغيرها، حيث يمكن أن تصل درجات الحرارة داخله الى حوالي 300 درجة مئوية.



الشكل(2-26) طباخ شمسي

2-3-1- تصنيف الطباخات الشمسية: تصنف الطباخات الشمسية تبعاً لعدة معايير:

أولاً: حسب الشكل التصميمي:

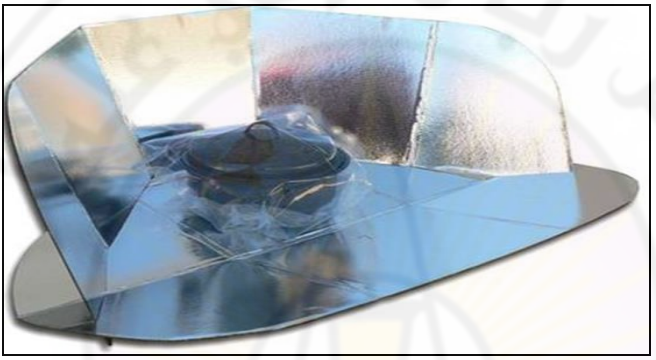
1- الطباخات الشمسية الصندوقية: وهي أبسط الطباخات، تصنع من مواد سهلة ومتوفرة مثل: الخشب أو الورق المقوى مع مادة عازلة وغطاء زجاجي بالإضافة للقصدير الشكل(2-27)، ويضاف لها عواكس لزيادة الكفاءة الشمسية. يعتمد هذا الطباخ على تجميع الحرارة بداخله، إن درجة الحرارة المناسبة للطهي فيه حوالي 150 درجة مئوية وقد ترتفع إلى 200 درجة مئوية فما فوق.



الشكل(2-27) الطباخات الشمسية الصندوقية

2- الطباخات الشمسية ذات القطع المكافئ (الطباخات المركزة لأشعة الشمس): أن هذا التصميم من الطباخات الشمسية يتضمن ثلاثة أنواع:

- النوع الأول: هو لوحة فريسنل، وهي عبارة عن لوحة مكونة من خمسة عواكس متصلة مع بعضها البعض الشكل(2-28)، وهي بسيطة وفعالة ومريحة أثناء الطهي يمكن تغطيتها بغطاء للاحتفاظ بأكبر قدر ممكن من الحرارة.



الشكل (2-28) لوحة فريسنل

- النوع الثاني: هو القمع المخروطي وهو عبارة عن قمع على شكل مخروط، مصنوع من الورق المقوى ومغلف بالقصدير، يمكن تثبيته بواسطة فتحة بعلبة أو بحفر حفرة في الأرض الشكل(2-29).



الشكل(2-29) طباخ على شكل قمع مخروطي

- **النوع الثالث:** من الطباخات ذات القطع المكافئ هو طبق الطهي الشمسي (المجمع الحراري)، ينتشر بكثرة في مناطق غرب الصين، يتكون من طبق يشبه الستالايت يقوم بتركيز الأشعة الساقطة عليه في بؤرة حرارية الشكل(2-30)، وهو ينتج حرارة تعادل حرارة النار العادية، يغطى بقطع من المرايا أو بورق الفويل أو طلاؤه بطلاء عاكس للضوء ويثبت بعوارض حديدية. تصل درجة الحرارة بداخله إلى 400 درجة مئوية فما فوق والتي تستخدم للقلي والشوي والتدخين والتحميص.



الشكل (2-30) طبق الطهي الشمسي (المجمع الحراري)

3- الطباخات الشمسية الشبه منحرفة: وهي عبارة عن لوحات خشبية مسطحة مزودة بأربعة عواكس مثبتة بواسطة عوارض من النحاس الشكل(ا2-31)، تكون درجات الحرارة فيها عالية كالطباخات المكافئة، ويعتبر هذا النوع من الطباخات الشمسية غير متداول (منتشر) على نطاق واسع.



الشكل(2-31) الطباخ الشمسي شبه المنحرف

ثانياً: حسب الحجم:

تعد الطباخات المنزلية (الطباخات الشمسية الصندوقية) صغيرة الحجم بالمقارنة بالطباخات التجارية (الطباخات ذات القطع المكافئ المزودة بعاكس واحد والشبه المنحرفة)، وعلى سبيل المثال طباخات القطع المكافئ في الهند المزود بعاكسات كروية الشكل (2-32)، تستطيع أن تطهو 30000 وجبة يومياً.



الشكل(2-32) أكبر طباخ شمسي في الهند

ثالثاً: حسب عدد العواكس:

1- الطباخ الشمسي بدون عاكس: هو صندوق معزول مع لوح زجاجي لتشكيل الغطاء الشكل(2-33)، يشكل هذا التصميم الأساس لجميع التصاميم الحالية من نوع الطباخ الصندوقي، حيث أضيفت العاكسات لزيادة الكفاءة الحرارية للطباخ.



الشكل(2-33) طباخ شمسي بدون عواكس.

2- الطباخ الشمسي بعاكس واحد: يتكون هذا النموذج من غطاء زجاجي مزدوج وعاكس واحد الشكل(2-34)، كما أنه يعمل بشكل جيد في الصيف ولكنه بحاجة الى التعزيز الإضافي خلال الشتاء، ويتيح له العمل دون الاعتماد على الزاوية التي تسقط بها أشعة الشمس وليس بالضرورة أن تكون عمودية، ولكن يجب فقط أن تنعكس أشعتها من المرأة إلى داخل الطباخ. ومن أهم مساوئ هذا النوع من الطباخات الشمسية ضرورة وقوف الشخص الذي يقوم بتحريك المرآة أو من يتولى الطهي والخروج عدة مرات لمتابعة الشمس. تتراوح درجات الحرارة داخل هذا الطباخ ضمن المجال 130- 207.



الشكل (2-34) الطباخ الشمسي بعاكس واحد.

3- الطباخ الشمسي بعاكسين: تم إيجاد مفهوم جديد للمواقد الصندوقية، حيث استخدم زوجاً من العواكس لزيادة فعالية الطباخ الشمسي عن طريق زيادة كمية الإشعاع الشمسي المنعكس إلى داخل الطباخ الشكل (2-35).



الشكل(2-35) الطباخ الشمسي بعاكسين

4- الطباخ الشمسي بثلاثة عواكس: وهو طباخ شمسي ذو ثلاث مرايا يتم ضبطها لاستقبال أشعة الشمس من الشروق إلى الغروب الشكل(2-36)، وبذلك يتم تقريباً متابعة الشمس طوال النهار دون الحاجة إلى تعديل وضع الطباخ نفسه. ولكي تعطي المرايا أفضل النتائج فإنَّ الأمر يحتاج في البداية إلى دراسات ميدانية لتحديد أنسب الأوضاع، حيث لا يوجد طرائق حسابية يمكن تطبيقها، كما يجب مراعاة اختلاف الأوضاع من فصل إلى آخر، وحلّ هذا التصميم إحدى المشاكل المهمة في الطباخات الشمسية البسيطة وهي متابعة الشمس، إلا أنه لم يستطيع توفير درجات الحرارة العالية اللازمة لإنضاج أنواع معينة من الطعام، ولم يحل مشكلة تعرض المستخدم لحرارة الشمس.



الشكل(2-36). طبّاخ شمسي بثلاثة عواكس

5- الطباخ الشمسي بأربعة عواكس: تم من تطوير النموذج السابق بجعله ذو أربعة عواكس بدلاً من ثلاث الشكل(2-37)، وهذا ما ساعد على الاستغناء بشكل نهائي عن عملية تعديل وضعية الطباخ ومكانه طوال النهار.



الشكل(2-37) الطباخ الشمسي بأربعة عواكس

6- الطباخ الشمسي بثمانية عواكس: تمَّ استخدام ثمانية عواكس في الطباخات الصندوقية الشكل(2-38)، وأعطى درجات حرارة عالية لأنه يعمل على زيادة أشعة الشمس المنعكسة إلى داخل الصندوق.



الشكل(2-38) طباخ شمسي بثمانية عواكس

2-4- تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بإحدى الطريقتين:

- التحويل المباشر للطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية وذلك باستعمال الخلايا الكهرضوئية (التحويل الكهرضوئي).

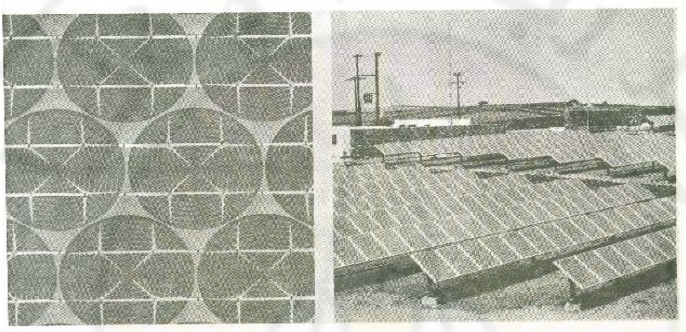
- التحويل الترموديناميكي وهو تحويل حراري للطاقة الشمسية في نظام ترموديناميكي يستعمل الآلة الحرارية العنفية والمنوبة لتوليد الطاقة الكهربائية.

2-4-1- التحويل الكهرضوئي

أن التحويل الكهرضوئي هو عملية تحويل مباشر للطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بواسطة خلايا شمسية تعتمد التأثير الكهرضوئي، ويتم تحقيق ذلك بواسطة أنصاف النواقل، ويعتبر السيلكون في الوقت الحاضر أهم مواد أنصاف النواقل المستعملة في عملية التحويل الكهرضوئي للطاقة الشمسية، حيث تم في عام 1954م دخلت عملية

تنقية السيلكون ذات مردود مقبول، كما جرى فذ ذات العام تطوير عملية تنقية السيلكون أحادي البلورة.

وابتداء من عام 1958م دخلت هذه الخلايا في مجال تطبيقات الفضاء كأفضل مصدر للطاقة التي تحتاجها الأقمار الصناعية، بعد ذلك استمرت عملية التطوير لرفع قيمة مردود خلية السيلكون الشمسية، وخفض كلفة الصنع الشكل (2-39).



الشكل (2-39) حقل خلايا شمسية لتوليد الطاقة الكهربائية

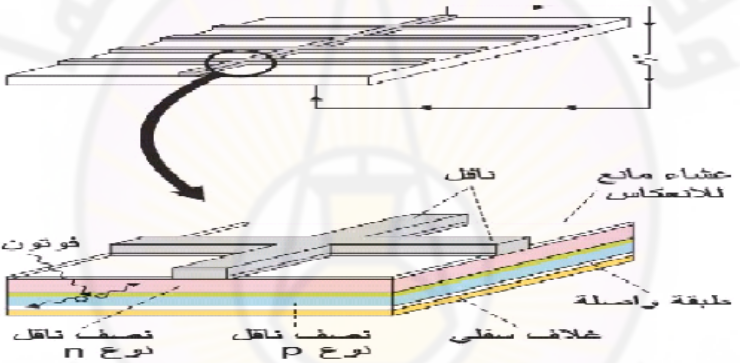
2-4-1-1- الخلية الشمسية:

تعرف الخلية الكهروضوئية بأنها أداة إلكترونية مصنوعة من أشباه الموصلات (أنصاف النواقل)، يتشكل عبرها فرق في الجهد عند تعرضها للضوء، ويتولد عنها تيار كهربائي ترتبط قيمته بمعامل امتصاصها للضوء، وعند توصيل حمل كهربائي ما (مصابيح إنارة مثلاً ..) بين طرفيها، فإن الطاقة الكهربائية الناتجة تستطيع تشغيل المصباح.

الخلايا الشمسية هي عبارة عن محولات تأخذ الطاقة الضوئية من أشعة الشمس وتحولها إلى نوع آخر من الطاقة، حيث تحول الخلايا الشمسية الاشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية، وتطرد كمية كبيرة من الحرارة، بدون أي أجزاء مؤثرة (ضوضاء أو تلوث أو إشعاع أو صيانة).

ويقصد بالتحويل الكهروضوئي تحويل الإشعاع الشمسي أو الضوئي مباشرة إلى طاقة كهربائية بوساطة الخلايا الشمسية (الكهروضوئية) بدون عمليات وسطية. وكما هو معلوم هناك بعض المواد التي تقوم بعملية التحويل الكهروضوئية، تدعى أشباه الموصلات كالسيليكون والجرمانيوم وغيرها.

تصنع الخلايا الشمسية بجمع أو ضم نوعين من أشباه المعادن، أحدهما سلبي والآخر إيجابي، حيث أن نصف المعدن الإيجابي يحتوي على أيونات سلبية، ونصف المعدن السلبي يحتوي أيونات إيجابية، وهذه الأيونات الإيجابية والسلبية تهيئ البيئة الضرورية لمرور تيار كهربائي، يتحرك ضمن الخلية الشمسية، الشكل(2-40).



الشكل(2-40) مكونات الخلية الشمسية

وتتألف الخلايا الشمسية من الطبقات التالية من الأسفل للأعلى:

1- طبقة الأساس وهي طبقة شفافة مصنوعة من الزجاج أو البلاستيك تسمح بإمرار أكبر قدر ممكن من الأشعة الشمسية إلى الطبقة التي تليها كما أنها تعمل على حماية الخلية.

2- طبقة معدنية للاتصال بالدارة الكهربائية.

3- طبقة من السيلكون نصف ناقل من النوع P، يقوم بجمع الثقوب أو الجسيمات موجبة الشحنة.

4- طبقة ثانية من السيلكون من النوع n، مصنوع بطريقة مختلفة بحيث يجمع الجسيمات سالبة الشحنة.

5- طلاء غير عاكس حيث يتم طلاء الخلية الشمسية بمواد تمنع انعكاس الفوتونات الشمسية عند سقوطها على الخلية، حيث أن السليكون يشكل طبقة لامعة تعكس الضوء، فيتم وضع طبقة رقيقة جداً على سطح شرائح السليكون لتمنع انعكاس الضوء.

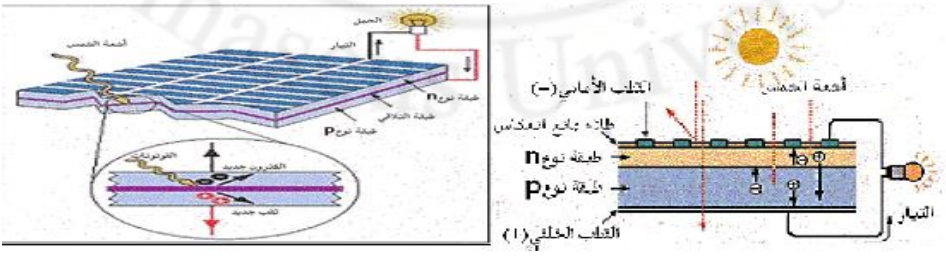
6- شبكة علوية للاتصال الكهربائي.

توضع هذه الخلايا في إطار من الزجاج لحمايته، مع وضع نقطتي توصيل موجبة على السطح الأمامي، وسالبة على السطح الخلفي.

2-1-4-2- مبدأ وآلية عمل الخلايا الشمسية:

المبدأ الأساسي لعمل الخلية الشمسية يعتمد على تحرر الكترونات ذرات المواد نصف الناقلة عند تعرضها للضوء.

إن الضوء الصادر من الشمس هو عبارة عن جزيئات الطاقة الصافية المسماة الفوتونات، وبالتالي عندما تتدفق هذه الطاقة الصافية من الشمس على الخلية الشمسية، تقوم هذه الفوتونات باختراق السيليكون، وتضرب ذراته بشكل عشوائي، مما يؤدي إلى تأيين ذرات السيليكون، حيث يؤدي ذلك إلى إفلات إلكترون خارجي من مداره، محولاً طاقته إلى طاقة حركية للإلكترون، وحركة هذه الإلكترونات بطاقتها تسمى بالتيار الكهربائي تتحرك كلها في اتجاه واحد، وعند ربط طرفي الخلية الشمسية بنقطتي توصيل على السطح العلوي والسطح السفلي للخلية، نحصل على تيار. الشكل (2-41) يوضح آلية عمل الخلايا الشمسية.



الشكل(2-41) عمل الخلايا الشمسية عند تعرضها لضوء الشمس.

إن أكثر العناصر من أشباه الموصلات استخداماً في صناعة الخلايا الشمسية هو السيلكون الذي يعرف بأنه الرمل المصهور بدرجات حرارة عالية جداً ويعود استخدامه في هذه التقنية إلى الأسباب التالية:

1- أنـه عالي التوصيل الحراري

2- الثبات الجيد مع الطقس المحيط

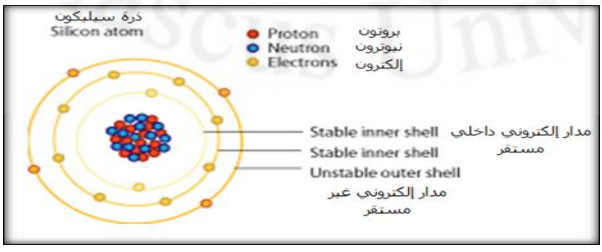
3- عازل ممتاز للكهرباء

4- عالي القدرة

والسيليكون نصف معدن، وقد يكون عازل ومعدن، ففي حالته كمعدن لا تكون إلكترونـات ذراتـه مرتبطـة بإحكـام، ممـا يـؤدي إلـى جريانهـا بسـهولة عنـدما يطبـق عليهـا ضغط كهربائي، بينما تكون إلكترونات ذراته في حالة العازل مرتبطة بشدة، ولا يحدث جريان عندما يطبق عليها الضغط الكهربائي.

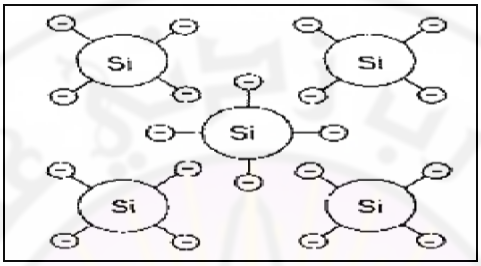
في عام 1954 تمت صناعة أول خلية كهروشمسية سيليكونية في معهد بل لابس في الولايات المتحدة الأمريكية بمردود (6 %).

تتكون الخلية الكهروشمسية من طبقة رقيقة من مادة السيليكون، هذه المادة هي إحـدى مـواد أشـباه النواقل المعروفة. تمتلك ذرة السيليكون 14 الكترون موزعة على ثلاثة مستويات طاقية الاول والثاني الأقرب للنواة يكونان ممتلئان تماماً بالإلكترونات. والمستوى الثالث أو المستوى الخارجي يحتوي على أربعة الكترونات فقط، أي يكون نصفه ممتلئ والنصف الآخر فارغ، حيث أن المدار يكتمل بـ ثمانية الكترونات الشكل(2-42).



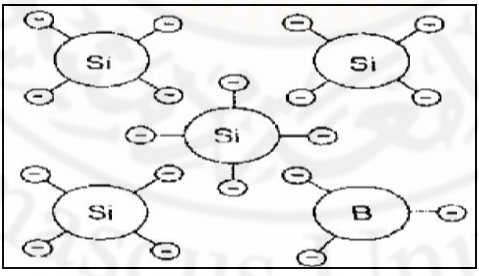
الشكل (2-42) ذرة السيليكون.

وتسعى ذرة السيليكون لأن تكمل النقص في عدد الالكترونات في المستوى الخارجي، ولتفعل ذلك فإنها تشارك أربع الكترونات من ذرات سيليكون مجاورة الشكل (2-43)، وبهذا ترتبط ذرات السيليكون بعضها البعض في شكل تركيب بلوري في رابطة تساهمية (تشاركية) ، وهذا التركيب البلوري له فائدة كبيرة في الخلية الشمسية .



الشكل(3-43) ارتباط ذرة سيليكون مع أربع ذرات محيطة مجاورة

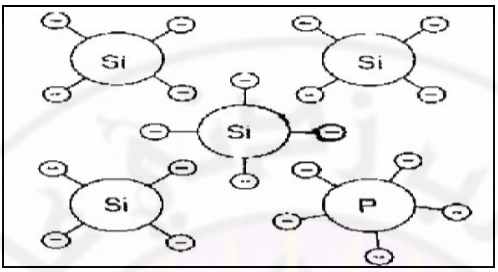
لتوليد الشحنة الموجبة في الخلية الكهروشمسية يتم إضافة ذرات عناصر أخرى (تسمى عملية تطعيم) وهذه الذرات الاضافية نسميها شوائب، وهي ضرورية لعمل الخلية الشمسية. تدخل ذرات البورون التي تمتلك ثلاثة إلكترونات تكافؤية في تركيب السيليكون الصافي. ترتبط هذه الذرات مع ذرات السيليكون ويتشكل ثقب إيجابي الشحنة بدلاً من الإلكترون الرابع المفقود. تسمى مادة السيليكون مع شوائب البورون ناقلاً إيجابياً أومن النوع (p)، الشكل (2-44).



الشكل (2-44) ناقل من النوع (p)

لتوليد الشحنة السالبة في الخلية الكهروشمسية يتم إضافة ذرات الفوسفور بنسبة بسيطة جداً تصل إلى 1:0.0000001، تدخل ذرات الفوسفور التي تمتلك خمسة

إلكترونـــات تكافؤيـــة فـــي تركيـــب السـيليكون الصـــافي، تـرتبط هـذه الـذرات مـع ذرات السيليكون ويتشكل إلكترون سلبي الشحنة. تسمى مادة السيليكون مع شوائب الفوسفور ناقلاً سلبياً أو من النوع (n) الشكل(2-45).



الشكل (2-45) ناقل من النوع (n)

تصنع الخلايا الكهروشمسية بوضع طبقة من النوع (n) و طبقة من النوع (p) معاً، بهذا نكون قد حصلنا على المأخذ الموجب و المأخذ السالب للخلية الكهروشمسية.

2-4-1-3- أنواع الخلايا الكهروشمسية:

1- الخلايا السيليكونية:

- الخلايا السيليكونية أحادية البلورة: معظم الخلايا السليكونية الأحادية البلورية المتوفرة في الأسواق ذات كفاءة تقـارب 15%، وتعـرف الكفاءة بأنها النسبة المئوية من الطاقة الشمسية الساقطة على اللوح الكهروشمسي التي يتم تحويلها إلى كهرباء. وبالرغم من ميزة الكفاءة العالية التي تختص بها الخلية الكهروشمسية الأحادية البلورة فإن سعرها مرتفع جداً لكونها مصنعة من سليكون أحادي البلورة وعالي النقاوة حيث طريقة التصنيع عالية التكاليف وتحتاج إلى عمال مهرة. ويتم حالياً تصنيع بعض الخلايا من سليكون أقل نقاوة، وهذه الخلايا تكون أرخص سعراً وتنتج بكلفة أرخص باستخدام عمليات مختلفة قليلة الكلفة لكنها ذات كفاءة أقل وعمر زمني أقل.

- الخلايا السليكونية المتعددة البلورات: بالرغم من كون الخلايا الكهروشمسية المتعددة البلورات أرخص وأسهل تصنيعاً من الخلايا الأحاديـة البلورة بسبب النقاوة الأقل للمادة الأولية إلا أنها أقل كفاءة، حيث تصل كفاءة الخلايا السليكونية المتعددة البلورات إلى

12% أو أكثر بقليل، وذلك كون حاملات الشحنة (الإلكترونات والثقوب) المولدة من قبل فوتونات الإشعاع الشمسي يمكن أن تتجمع على الحدود بين الحبيبات داخل السليكون المتعدد البلورات، وقد وجد أن كفاءة هذه الخلايا تتحسن عند عملية تصنيع المادة بطريقة تكون فيها الحبيبات كبيرة الحجم، ويتم ذلك بتبريد السليكون المذاب ببطء ثم توجه الخلايا من الأعلى إلى الأسفل، وذلك للسماح للإشعاع الشمسي بالتغلغل بعمق خلال الحبيبات.

- **الخلايا السليكونية العشوائية:** يمكن تصنيع الخلايا العشوائية بطريقة أرخص من طرق تصنيع الخلايا السليكونية الأحادية والمتعددة البلورات، وهذه الخلايا تسمى بالخلايا السليكونية العشوائية (A-Si) حيث تكون ذرات السليكون فيها أقل ترتيباً من النوع البلوري. ففي السليكون العشوائي لا ترتبط كل ذرة ارتباطاً كاملاً مع الذرات المجاورة، إنما تترك ما يسمى بالرباط المتدلي، وتستطيع امتصاص إلكترونات إضافية عند إجراء عملية الطلاء،

ومن سلبيات هذه الخلايا قلة كفاءتها مقارنة بالخلايا السليكونية البلورية الأحادية والمتعددة البلورات، وأعلى كفاءة تم الحصول عليها مخبرياً لا تتجاوز (21%).

- **الخلايا السليكونية الشريطية:** يتم في هذه الطريقة إنتاج شريط من السليكون الأحادي البلورية باستخدام سليكون متعدد البلورية أو من سليكون أحادي مذاب.

2- خلايا الغاليوم ارسنايد:

ليس السليكون المادة الوحيدة الملائمة للاستخدام في تصنيع الخلايا الكهروشمسية، فهناك مواد أخرى يمكن استخدامها كالغاليوم ارسنايد، وهي ملائمة جداً للاستخدام في تطبيقات الخلايا الشمسية لكونها ذات معامل امتصاص عال للضوء، كما تتمتع بكفاءة جيدة ويمكن أن تعمل تحت ظروف درجة حرارة عالية نوعاً ما بدون تناقص في أدائها كالخلايا السليكونية وبعض أشباه النواقل التي تعاني من هذه المشكلة.

3- خلايا الكوبراندیوم ديسلنايد:

هي مواد من أشباه النواقل مركبة من النحاس والأنديوم والسلينايد (CIS). وقد استخدمت في تصنيع خلايا وصلت كفاءتها مخبرياً إلى (21%).

4-خلايا الكادميوم تليرايد (CdTe):

هي مواد من أشباه النواقل مناسبة لاستخدام الخلايا الكهروشمسية تتألف من الكادميوم والتليرايد. ومن محاسن هذه الخلايا إمكانية تصنيعها باستخدام عملية بسيطة ورخيصة من الطلاء الكهربائي. وقد وصلت كفاءة هذه الخلايا إلى (10%) بدون تناقص في الكفاءة عند الاستخدام. لكن من مساوئها أن الكادميوم مادة سامة.

2-4-1-4-الخصائص الكهربائية للخلايا والألواح الكهروشمسية:

يتألف اللوح الكهروشمسي من عدد من الخلايا التي تكون موصولة على التسلسل والتفرع مع بعضها البعض ضمن لوحة واحدة. تكون الطاقة الكهربائية المتولدة من الخلية الكهروشمسية بشكل تيار مستمر(DC) وتعتمد شدة هذا التيار على بارامترين (مؤشرين)، الأول هو الأشعة الشمسية الساقطة، والثاني هو التيار والفولط المطلوب للحمل. ويعتمد مردود اللوح الكهروشمسي على مردود هذه الخلايا.

وتعرف الخلية الشمسية ذات المساحة ($100cm^2$): بأنها بطارية شمسية تقوم بإنتاج فولطية مقدارها(0.5v) وتيار يتناسب مع شدة الإشعاع الشمسي يصل مقداره ضمن المجال (2.5-3 A) في حالة شدة الإشعاع الشمسي القصوى.

2-4-1-5- مردود الخلية الكهروضوئية:

يعتبر المردود البارامتر الأكثر استخداماً لمقارنة أداء خلية كهروضوئية مع أخرى، وهو نسبة طاقة الخرج من الخلية إلى طاقة الدخل من الشمس. وعلى الرغم من أن المردود يعكس أداء الخلية نفسها إلا انه يتغير حسب طيف وشدة الإشعاع الشمسي الوارد وكذلك درجة حرارة الخلية، لذلك يتم قياسه في الشروط الاختبار النظامية وهي:

- شدة الإشعاع الشمسي $G=1000W/m^2$
- درجة حرارة الخلية $T=25^OC$
- كتلة الهواء Air mass :AM=1.5 ويمثل بالعلاقة:

$$\eta = \frac{P_{max}}{G \times S} = \frac{V_{OC} \times I_{SC} \times FF}{G \times S}$$

$$\eta = \frac{V_{OC} \times I_{SC} \times FF}{P_{in}}$$

- أهم عناصر الضياع من الخلية:

1- امتصاص غير كامل للفوتونات .

2- الطاقة الفائضة: حيث يشكل مع المعامل الأول مصدر التوافق بين الجهد والتيار حيث تمتص فقط الالكترونات التي تفوق طاقتها، بينما تضيع الالكترونات الأخرى حيث تبلغ بالنسب للسيليكون (5-23%).

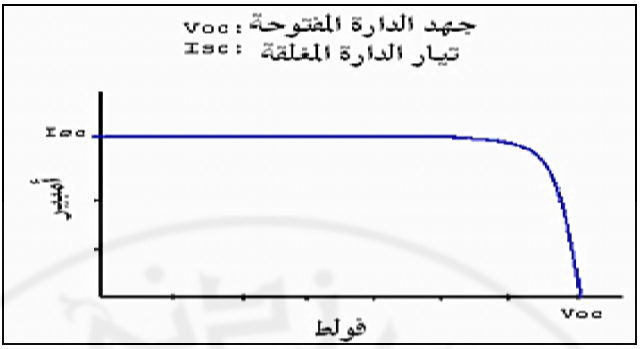
3- انعكاس على السطح: تمتص المكونات جزءاً فقط من التدفق الوارد بينما ينعكس الجزء الأخر على السطح ويمكن تقليل أهميته بعلاج ملائم للسطح (طبقة ضد الانعكاس).

4- مردود التجميع: يتوقف على البنية المستعملة و معامل الامتصاص وبشكل خاص على صفة المكن (النقاوة، العيوب، الخصائص الكهربائية)

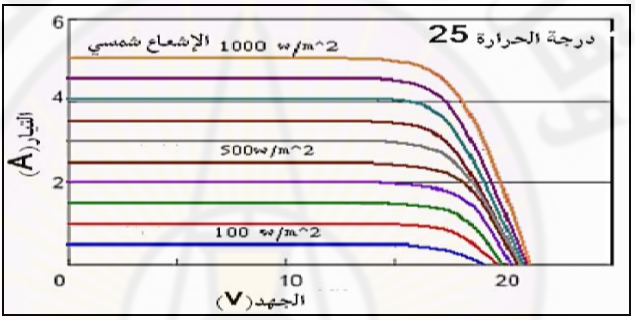
- مخطط (I-V) للخلية الشمسية في الشروط المثالية:

تتحدد الخلية الكهروشمسية بفرق جهد دارتها المفتوحة وتيار دارتها المغلقة الشكل (2-46). فرق جهد الدارة المفتوحة هو الفولط الذي تعطيه الخلية الكهروشمسية عندما لا يمر في الدارة أي تيار، وهو الفولط الأعظمي الذي تعطيه الخلية الكهروشمسية من الإشعاع الشمسي.

أما تيار الدارة المغلقة فهو التيار المار في الخلية الكهروشمسية إلى دارة خارجية بدون حمل أو مقاومة، وهو التيار الأعظمي الذي تستطيع الخلية الكهروشمسية توليده من الإشعاع الشمسي (تيار القصر). إن الجهد المتولد من الخلية الكهروشمسية يبقى ثابتاً عند كل مستويات الإشعاع الشمسي الساقط، لكن التيار المتولد يتغير بشكل مباشر تبعاً لقيم الإشعاع الشمسي الساقط عند كل لحظة زمنية، الشكل(2-47).

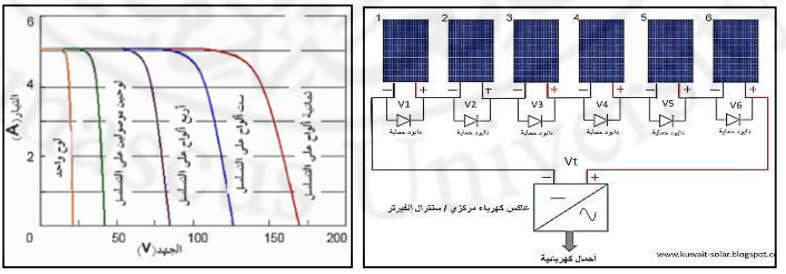


الشكل(2-46) مخطط (I-V) لخلية كهروشمسية مثالية



الشكل (2-47) تغير قيم التيار تبعاً للإشعاع الشمسي وثبات قيم الجهد

- **ربط الألواح الكهروشمسية على التسلسل**: في الحالة المثالية عند ربط مجموعة من الألواح الكهروشمسية المتماثلة عددها (n) على التسلسل فإن فرق جهد الدارة المفتوحة يساوي عدد الألواح مضروباً بفولط لوح واحد الشكل(2-48)، حسب المعادلة التالية:



الشكل(2-48) طريقة ربط الألواح الشمسية على التسلسل والخاصية المثالية للألواح الكهروشمسية المربوطة على التسلسل

$$V_{sg} = n \cdot V_{oc1} = n \cdot V_{oc2} = n \cdot V_{oc3} = ---= n \cdot V_{ocn} \rightarrow \ (I = 0)$$

أما عندما يكون التيار (I >0) أي عند وجود حمل كهربائي فإن:

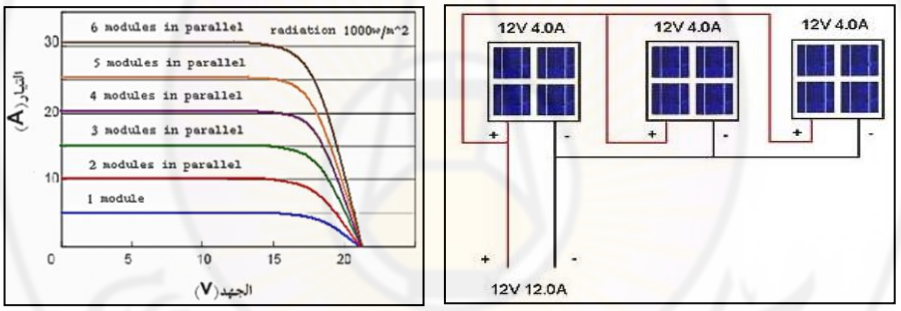
$$V_{sg} = \sum_{1}^{n} V_n = V_1 + V_2 + V_3 + ---+ V_n \qquad \rightarrow (I > 0)$$

- ربط الألواح الشمسية على التفرع:

في حال ربط عدد (n) من الألواح الشمسية المتماثلة على التفرع فإن الفولط الناتج يساوي فولط لوح واحد، الشكل (2-49)، والتيار الناتج يساوي مجموع التيارات الخاصة لكل لوح (1----n) حسب المعادلة:

$$I_{sg} = \sum_{1}^{n} I_n = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

$$V_{sg} = V_1 = V_2 = V_3 = - - -= V_n$$



الشكل (2-49) الخاصة المثالية للألواح الكهروشمسية المربوطة على التفرع

- نقطة القدرة العظمى:

هي النقطة التي تكون عندها القدرة المتولدة من الخلية الكهروشمسية أكبر ما يمكن، فهي نقطة القمة بين خط التيار وخط الجهد على مخطط (I-V) التي تعطي أكبر مساحة على هذا المخطط. التغير في شدة الإشعاع الشمسي الساقط ودرجة حرارة الخلية الكهروشمسية يؤدي إلى تغيير موقع نقطة القدرة العظمى. وتحسب نقطة القدرة العظمى (MPP) للوح الشمسي من العلاقة التالية:

$$P_{md\text{-}max} = V_{md} \ . \ I_{md}$$

$$\left.\begin{array}{l} V_{md} = n_{cl} \ . \ V_{cl} \\ I_{md} = m_{cl} \ . \ I_{cl} \end{array}\right\} \Rightarrow P_{md\text{-}max} = m_{cl} \ . \ n_{cl} \ . \ V_{cl} \ . \ I_{cl}$$

حيث

$P_{md\text{-}max}$: هي القدرة العظمى الخارجة من اللوح الكهروشمسي.

V_{md}: هو الفولط الخارج من اللوح الكهروشمسي عند نقطة (MPP).

I_{md} : هو التيار الخارج من اللوح الكهروشمسي عند نقطة (MPP).

V_{cl} : هو الفولط الخارج من خلية واحدة.

I_{cl} : هو التيار الخارج من خلية واحدة.

n_{cl} : عدد الخلايا المربوطة على التسلسل في لوح واحد.

m_{cl} : عدد الخلايا المربوطة على التفرع في لوح واحد.

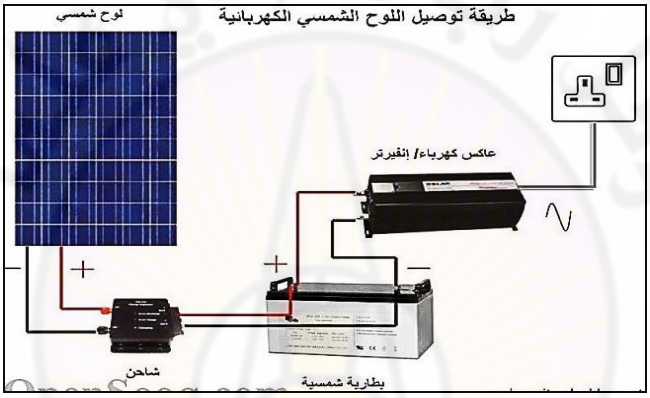
يكون تيار الحمل الكهربائي المستمر(DC) وفولطه على مخط (I-V) بشكل خط مستقيم مائل، فعند زيادة الطاقة الكهربائية الأولية يرتفع التيار بنسبة ثابتة بالنسبة للفولط. فإذا تم تصميم المولد الكهروشمسي لتوليد (24) فولتاً والحمل يتطلب (12) فولتاً فقط فإن الحمل سيستجر الطاقة التي تقابل(12) فولتاً، وبالتالي سيكون هناك ضياع في الطاقة.

بالإضافة إلى الاختلاف في شكل منحني (I-V) بين الحمل الكهربائي وخط القدرة للخلايا الكهروشمسية، هناك اختلاف مستمر في مستوى تيار الطاقة الكهروشمسية الذي يتغير بدوره حسب التغير في مستوى الإشعاع الشمسي الساقط المتوفر على مدار اليوم، وبالتالي يتغير موقع نقطة الطاقة العظمى بشكل مستمر على مخطط (I-V).

لذلك يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار في أثناء تصميم النظام الكهروشمسي مساواة خط الحمل الكهربائي على مخطط (I-V) مع نقاط القدرة العظمى لتصميم نظام يعمل بكفاءة عالية بشكل عام.

2-4-1-6-مكونات المنظومة الشمسية:

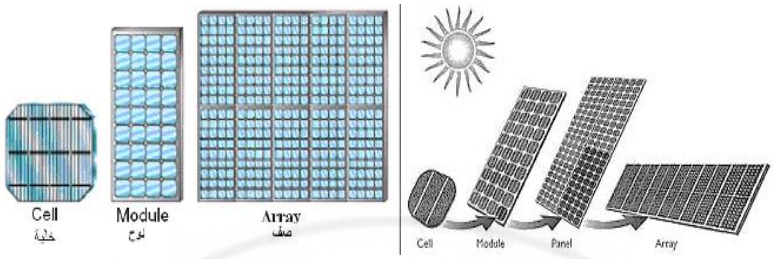
يتكون نظام الخلايا الشمسية بشكل أساسي من الألواح الشمسية – البطاريات(المدخرات) - منظم الشحن – محول التيار الشكل (2-50).



الشكل (2-50) مكونات المنظومة الشمسية

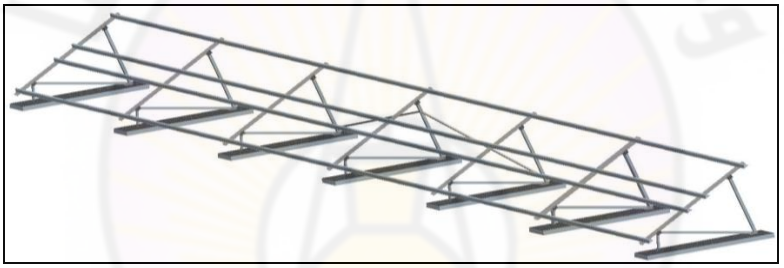
1- الألواح الشمسية: تعتبر الألواح الشمسية العنصر الرئيسي في أنظمة الطاقة الشمسية، حيث تكمن فيها تكنولوجيا تحويل الطاقة الضوئية الي طاقة كهربية. واللوح الشمسي عبارة عن مجموعة من الخلايا الشمسية المتصلة مع بعضها بالتوالي أو بالتوازي وموضوعة في إطار واحد.

عند تجميع الخلايا الشمسية تشكل ما يسمى الوحدة (الموديول)، وعند تجميع الموديولات مع بعضها البعض تشكل اللوح الشمسي، وتسمى مجموعة الألواح الشمسية مجتمعة ما يسمى بالصفوف أو المصفوفات في حالة المشاريع الضخمة ومحطات توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية، الشكل(2-51)، التي تركب مع مجموعة من المعدات الأخرى لتشكل ما يسمى بالمنظومة الشمسية، وتوضع عادة في منطقة خالية من ظل الأبنية والأشجار باتجاه الشمس وبزاوية مناسبة.



الشكل (2-51) تجميع الخلايا الشمسية مع بعضها البعض

2- إطار التثبيت: وهو الإطار الذي يتم تثبيت الألواح الشمسية عليه الشكل (2-52)، وله أهمية كبيرة في تحديد المساحة والمكان وزاوية الميل اعتماداً على وضع المبنى والمكان الجغرافي.



الشكل (2-52) الإطار الذي يتم تثبيت الألواح الشمسية عليه

3- منظم الشحن: وظيفته منع ارتداد التيار وتنظيم عملية الشحن أي تنظيم الجهد والتيار الداخل الى البطارية حتى نحافظ عليها من التلف، حيث يزداد العمر العملي للبطاريات إذا تلقت العناية وذلك بعدم الإفراط بشحن البطارية أو عدم إفراغها كثيراً، وهذه هي المهمة الأساسية لمنظم الشحن.

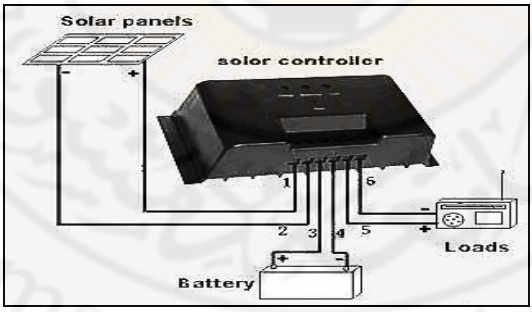
وبمعنى آخر عندما تشحن البطاريات بالكامل فإن المتحكم بالشحن لا يسمح للتيار بالاستمرار بالتدفق إلى البطاريات، وأيضاً عندما تفرغ البطاريات إلى مستوى قد حدد مسبقاً تحت سيطرة قياس الجهد الكهربائي، فإن منظم الشحن لن يسمح بإفراغ المزيد من التيار من البطاريات حتى تشحن البطارية مرة أخرى، فجهاز التحكم بالشحن ضروري لضمان حياة البطارية الطويل.

يجب أن تتبع التعليمات الكهربائية في الأجهزة المتزايدة وتوزيع الأسلاك وصناديق التوصيل ومعدات الأرضية والحماية في التيار وعدم اتصال التيار المباشر والتيار المتناوب وملحقات أخرى.

ملاحظة: لشحن بطارية رصاصية حمضية 12V يلزم موديول ذو توتر $18V=V_{mp}$ وذلك للأسباب التالية:

1- يخسر الموديول 2.8V تقريباً بسبب ارتفاع درجة الحرارة إلى 60°C.
2- يحدث هبوط توتر بمقدار 2.8V تقريباً عبر ديودات الحجز.
3- يحدث هبوط توتر بحدود 1V عبر منظم الشحن.
4- يمكن أن يحدث هبوط توتر ما بسبب نقصان شدة الضوء.
5- يجب أن تشحن البطارية إلى 14V أو حتى 14.5V للوصول إلى حالة اكتمال الشحن.

ويعتبر أهم الأجزاء حيث يملك ست مخارج **مخرجين** توصل مع الخلايا، **ومخرجين** مع البطاريات لتنظيم الشحن، **ومخرجين** مع الأجهزة التي تعمل بالتيار المستمر الشكل (2-53).



الشكل (2-53) منظم الشحن تظهر عليه أهم الخواص الكهربائية والمخارج

4- البطاريات (المدخرات): الهدف الرئيسي لبطاريات الطاقة الشمسية هو تخزين الطاقة الكهربية لكي يتم استخدامها في الأوقات التي لا تكون الشمس ساطعة فيها، كالليل والأوقات التي تكون السماء ملبدة بالغيوم، ومعظمها تكون بجهد 12 فولت الشكل (2-54).



الشكل (2-54) نماذج مختلفة للبطاريات

لا يقتصر دور المدخرات على تخزين الطاقة فحسب، وإنما يتعدى ذلك إلى استخدامها في تكييف الاستطاعة مع الأحمال، حيث تقدم المدخرات تياراً عابراً أعلى بكثير من التيار الآني الذي يقدمه حقل PV، وكذلك الأمر يمكن باستخدام المدخرات تأمين التوتر للحمل ضمن الحدود المسموحة. وأهم معايير اختيار المدخرات المستخدمة في النظم الكهروضوئية: ذات تكلفة منخفضة، عمر طويل نسبياً، مردود تخزين عالي، تفريغ ذاتي صغير وسهلة التركيب والصيانة.

تتألف البطارية من مسريين سالب وموجب، يفصل بينهما غشاء لمنع التماس الكهربائي، ومحلول كهرليتي لنقل الشوارد في عمليتي الأكسدة والإرجاع، اللتين تحدثان على مساري البطارية الشكل (2-55).



الشكل (2-55) مقطع في بطارية حامضية يبين مكونات البطارية وأقطابها

وتقسم البطاريات إلى نوعين: **الأول** لا يمكن شحنه ويستعمل لمرة واحدة فقط، **والثاني** يمكن إعادة شحنها، ويقسم هذا النوع إلى عدة فئات: البطاريات الحمضية كبطارية رصاص حمض، بطاريات قلوية مثل نيكل والكادميوم، بطاريات الليثيوم التي

تستخدم معدن أو أملاح الليثيوم كمسرى سالب، وأكاسيد أو خلائط من عدة معادن كمسرى موجب، وهي الأحدث على مستوى العالم وكذلك بطاريات الكهرليت المصهور التي تتميز بوزن وحجم صغيرين، درجة حرارة العمل 400-700 درجة مئوية، مما يجعل مشكلة الحفاظ على الحرارة في البطارية هو الأساس في تصميم هذه البطاريات. يستخدم معدن الصوديوم في هذه البطاريات منذ بدء الستينات وذلك لوزنه الخفيف، وهو ينصهر بالدرجة 98 درجة مئوية، وتعمل هذه البطارية بالدرجة 270 درجة مئوية، ويستخدم الكهرليت كمادة للمسرى الموجب. وجسم هذه البطارية عبارة عن أنبوب سيراميك، وغشاء مؤلف منβ ألومينا.

يكمن السبب في تفضيل بطاريات المعادن القلوية، مثل الليثيوم والصوديوم، لأن شدة التيار المتولد عنها أعلى من ذلك المتولد عن بطاريات حمض رصاص، فبالعودة إلى قوانين فارادي، حيث أن كل كولوم يساوي تقريباً 96500 أمبير. ثانية، يحرر أو يرسب مكافئ غرامي واحد من المادة.

5- محول التيار أو المعرج: بما أن التيار المولد عن طريق الخلايا الكهروضوئية هو تيار مستمر، وعلى الرغم من وجود بعض الأحمال التي تعمل مباشرة بالتوتر المستمر، إلا أنه في حالة الربط مع الشبكة العامة أو عند الحاجة لاستخدام الطاقة المولدة لتغذية أحمال متناوبة (أدوات كهربائية)، فإنه من الضروري إجراء تكييف لهذه الاستطاعة. ويمكن تحويل التيار المستمر إلى متناوب باستخدام المعرجات. الشكل (2-56).



الشكل (2-56) نماذج مختلفة لمحولات التيار

6- أجهزة القياس الأخرى وتشمل:

- **فولتميتر واميتر:** استخدم مقياس متعدد رقمي لقياس التيار الخارج من الخلية، وآخر لقياس الفولتية الخارجة ومن ثم دراسة خصائص التيار-الفولتية.

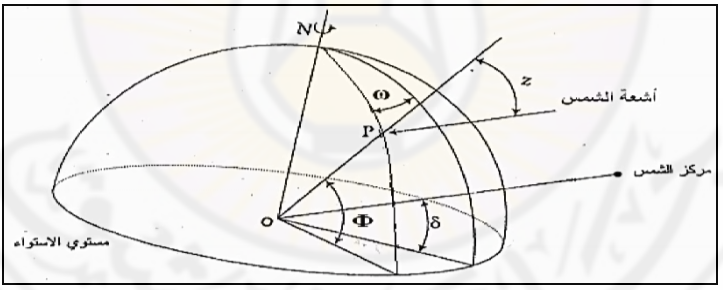
- **محرار رقمي:** استخدم محرار رقمي لقياس درجة حرارة الخلية.

- **مقياس شدة الفيض الشمسي**: استخدم جهاز لقياس شدة الفيض الشمسي الساقط على الخلية بوحدة w/m^2.

2-4-1-7- الزوايا الشمسية:

عند تركيب الخلايا الضوئية في منطقة ما لابد أولا من حساب زوايا الإشعاع الشمسي في هذه المنطقة، ومعرفة الطريقة المثلى لتثبيتها. ويمكن تقسيم هذه الزوايا إلى:

1- زاوية الانحراف الشمسي δ: هي الزاوية بين المستوي الاستوائي وبين الخط الواصل بين مركز الأرض ومركز الشمس، الشكل (2-57) ، وتتراوح قيمة هذه الزاوية بين 23.45+ و 23.45- .



الشكل (2-57) زاويتي الانحراف الساعي ω، الانحراف الشمسي δ

وتختلف قيمة هذه الزاوية من يوم لآخر وتحسب من العلاقة:

$$\delta = \pi 18023.45 o \sin 2\pi 365284 + n$$

حيث:

n : رقم اليوم في السنة حيث في 1 كانون الثاني يكون n =1

يوجد معادلة أدق لحساب زاوية الانحراف وهي:

$$\delta = \sin -1\sin 23.450\sin 2\pi n - 81365$$

من أجل التطبيقات الشهرية: تحسب زاوية الانحراف الوسطية في كل شهر من السنة باعتبار الأيام النموذجية التي يتضمنها الجدول (1).

الجدول (1) الأيام النموذجية لحساب الزوايا الشمسية

التاريخ	رقم يوم السنة
كانون الثاني 17	17
شباط 15	46
آذار 17	76
نيسان 15	105
أيار 15	135
حزيران 11	162
تموز 18	199
آب 17	229
أيلول 15	258
تشرين الأول 15	288
تشرين الثاني 14	318
كانون الأول 12	346

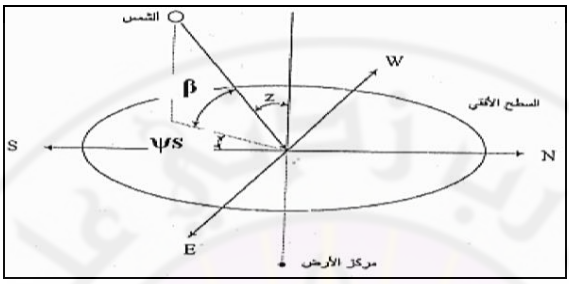
2- الزاوية الساعية ω: هي عدد الدرجات التي تتحركها الشمس في مسارها اليومي عبر السماء. بالتعريف تكون الزاوية الساعية صفراً عند الظهيرة. ونظراً لأن الأرض تدور 15^0 في الساعة، فإن الساعة الزمنية انطلاقاً من الظهيرة تقابل حركة زاوية للشمس في السماء مقدارها 15^0. الزاوية الساعية سالبة في الصباح وموجبة بعد الظهر، وتحسب الزاوية الساعية عند الشروق أو الغروب بحل معادلة زاوية الارتفاع لأجل a=0:

$$\cos\omega s = -\tan\delta$$

- ولإيجاد الزاوية الساعية بالساعات انطلاقاً من الظهيرة نستخدم العلاقة:

$$\omega s = \pm 24360\cos -1\tan\emptyset\tan\delta$$

3- زاوية الارتفاع الشمسي β: هي الزاوية بين أشعة الشمس والمستوي الأفقي. الشكل (2-58). هذه الزاوية تساوي الصفر لدى شروق الشمس وغروبها، و90 عندما تكون الشمس فوق الراصد مباشرة.



الشكل (2-58) زوايا الارتفاع الشمسي والسمت الشاقولي والأفقي

- زاوية السمت z: هي الزاوية بين أشعة الشمس والشاقول.

$$\beta = 90 - z$$

تحسب زاوية الارتفاع من العلاقة:

$$Cosz = sin\beta = cos\emptyset cos\delta cos\omega + sin\emptyset sin\delta$$

4- زاوية الارتفاع الأعظمية as: هي الارتفاع الأعظمي للشمس في السماء في زمن معين في السنة، وهذه الزاوية الأعظمية تحدث في الظهيرة وتتبع لخط العرض و زاوية الانحراف. تعطي العلاقة التالية زاوية الارتفاع في الظهيرة لموقع في نصف الكرة الشمالي:

$$assolar\ noon = 90 - \emptyset - \delta$$

حيث:

Ø: زاوية خط العرض لمكان الراصد، وهي موجبة لمواقع نصف الكرة الشمالي.

Ø-δ: زاوية السمت في الظهيرة.

ولأجل نصف الكرة الجنوبي:

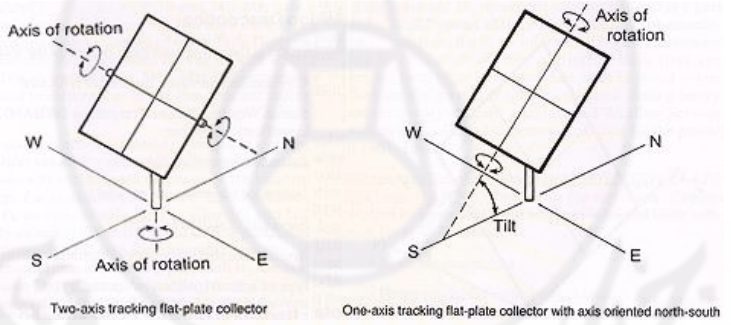
$$assolar\ noon = 90 + \emptyset$$

5- زاويــة الأزيمــوت الشمســي (الســمت الأفقــي) γs أو Ψs: هــي الزاويــة المقاســة فــي المســتوي الأفقــي بــين الجنــوب ومســقط أشــعة الشــمس، و الاتجــاه نحــو الغــرب يعــد موجبــاً، الشــكل (2-59) (أو شــمال الراصــد لمواقــع نصــف الكــرة الجنــوبي). وتكــون زاويــة الأزيمــوت مســاوية 90 عنــد الشــروق و 90- عنــد الغــروب وصــفراً في الظهيرة، وتعطى بالعلاقة:

$$\sin\gamma = \sin\Psi = \cos\delta \times \sin\omega\cos a$$

حيث:

γ : زاوية ميل السطح، وهي الزاوية بين السطح والمستوي الأفقي.



الشكل (2-59) زوايا ميول وحدات الخلايا الشمسية PV cells على المستوى الأفقي والرأسي

أصبح حساب هذه الزوايا من العمليات البسيطة لتوفر مواقع الكترونية عديدة تقوم بحسابها مع الاشعاع الشمسي الكلي وهذا أمر في غاية الأهمية لاختيار التركيب الأمثل للخلايا الشمسية في الموقع الأنسب.

ويتم حساب زوايا الاشعاع الشمسي للمنطقة المدروسة وطريقة توضع الموديولات حسب فصول السنة، الجدول (2).

وجد بالدراسات المناخية والجغرافية أن أية منظومة شمسية (خلايا فوتو فولطية او سخانات شمسية) توجه ناحية خط الاستواء وعلى زاوية ميل على الأفقي تساوي

تقريباً (خط العرض الواقع بـه الموقع)، وفـى الشتاء يتم زيادة (10°) فوق خط عرض المكان في حالة السخانات الشمسية لزيادة الكفاءة.

الجدول (2) تغير زاوية توضع اللوح الشمسي حسب المنطقة والفصل

الفصل من السنة	الصيف	الربيع - الخريف	الشتاء
الشكل التمثيلي			
الزاوية	71 درجة	56 درجة	32 درجة

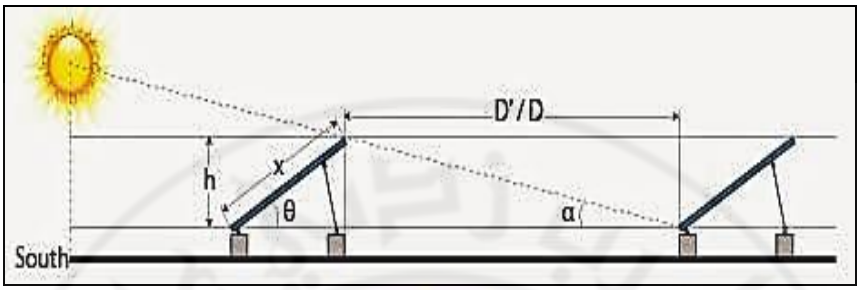
2-4-1-8- حساب المسافة بين صفوف الألواح الشمسية:

يعتبـر الظـل هـو العـدو الأكبـر عنـد تصـميم مشـروعات الألـواح الشمسـية الكهروضوئية لتوليد الكهرباء، ففي أي بلد عربي من المتوقع على الأقل ست ساعات عمل كاملة في اليوم. إذا وقع الظل على أحد أركان اللوح شمسي يجد ذلك من طاقته الكاملة. لذلك يجب حساب المسافة بين الألواح بدقة حتى نضمن أنه في أسوأ الظروف لن يغطي ظل الألواح على بعضها البعض.

وقبل البدء بحساب المسافة بين صفوف الألواح الشمسية يجب إجراء الحسابات اعتماداً على أسوأ الأوقات في السنة، وفي هذه الحالة أكبر مسافة ظل قد يلقيها اللوح الشمسي خلفه هي في الشتاء وتحديداً في يوم 21 ديسمبر، حيث تكون زاوية ميل الشمس بأقل قيمة لها، وهذه الزاوية هي الموضحة في الشكل (2-60) بالرمز الفا α، وهذه الزاوية نسميها الحد الأدنى لزاوية الارتفاع الشمسي.

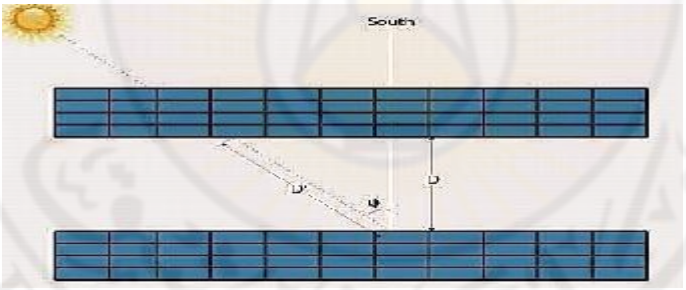
ولأن الظل ليس في اتجاه واحد فقط، بل يعتمد على اتجاه آخر وهو زاوية ميل الشمس ناحية الشرق أو الغرب سواء في بداية النهار أو آخره، فمثلاً لو كنا نتوقع للنظام

أن يعمل ست ساعات يومياً بطاقته الكاملة فذلك يعني أنه سيعمل ثلاث ساعات قبل ساعة الذروة (الظهيرة) وثلاث ساعات بعد ساعة الذروة.



الشكل (2-60) زاوية ميل أشعة الشمس بأدنى قيمة لها

بفرض ساعة الذروة هي الثانية عشرة ظهراً، يتم حساب زاوية ميل الشمس في الساعة التاسعة صباحاً أو الثالثة مساء وستكون زاوية الميل متطابقة في الحالتين ويكون الحساب في الحالتين صحيحاً. وهذه الزاوية موضحة بالرمز زيتا ψ في الشكل (2-61)، وتسمى هذه الزاوية زاوية السمت.



الشكل (2-61) زاوية السمت.

1- حساب القيمة h ارتفاع اللوح :

$$h = x \sin\theta \text{ tilted sola arrays}$$

حيث:

x :عرض اللوح أيضا والزاوية سيتا هي زاوية الميل

2- حساب 'D مسافة الظل المائلة:

$$D' = h / \tan\alpha$$

3- حساب المسافة بين الألواح:

$$D = D' \times \cos(180 - \varphi)$$

2-4-2- التحويل الترموديناميكي:

يتألف نظام التحويل الترموديناميكي في المحطة الشمسية من:

1- نظام التقاط الأشعة الشمسية المباشرة وعكسها (حقل المرايا): وهو مجموعة مرايا عاكسة تابع حركة الشمس وتعكس الأشعة إلى المجمع اللاقط.

2- نظام استقبال الأشعة الشمسية وتحويلها إلى طاقة حرارية تنتقل إلى الوسيط الناقل للحرارة: وهذا النظام هو عبارة عن مجمع لاقط مركب في أعلى برج خاص عال يتلقى الأشعة الموجهة آلية وتنتقل الحرارة منه إلى وسيط ناقل للحرارة، أو إلى وسيط العمل مباشرة في الدارة الترموديناميكية (البخار أو الهواء).

3- مضخات تدوير الوسيط الناقل للحرارة إلى الخزان الحراري.

4- مضخات تدوير الوسيط الناقل للحرارة بين الخزان الحراري والمبادلات الحرارية لوسيط العمل.

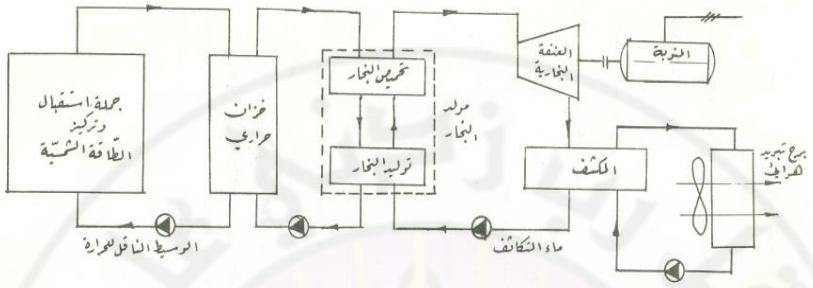
5- مجموعة الآلة الحرارية العنفية والمنوبة والمكثف.

6- نظام تبريد المكثف: ويشمل برج التبريد ومضخات سوق ماء تبريد المكثف (ويكون المكثف من النوع المبرد بالهواء في الأماكن التي لا تتوفر فيها المياه).

7- نظام التحكم و القيادة.

الأشكال (2-62) و(2-63) يبينان دارة محطة توليد كهرشمسية مركزية ذات مستقبل برجي وتستعمل الصوديوم المنصهر لنقل الحرارة من المجمع المركب على

البرج إلى الخزان الحراري وبخار الماء كوسيط عمل في العنفة البخارية، وتستعمل برج تبريد هوائي لإعادة تبريد مياه تبريد المكثف.



الشكل (2-62) محطة توليد كهرشمسية مركزية ذات مستقبل برجي تستعمل الصوديوم المنصهر لنقل وتخزين الحرارة وبخار الماء كوسيط عمل



الشكل (2-63) محطة توليد كهرشمسية مركزية ذات مستقبل برجي تستعمل الصوديوم المنصهر لنقل وتخزين الحرارة وبخار الماء كوسيط عمل

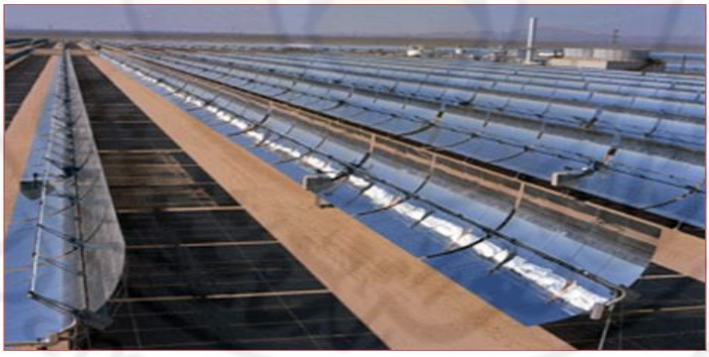
في حالة استعمال بخار الماء كوسيط عمل (يتم توليده في البرج الشمسي) فأن المبادل الحراري المركب في أعلى البرج يقوم بوظيفة مولد البخار ويساق البخار إلى العنفة البخارية الموصولة بالمنوبة والمركبة في المحطة بالقرب من قاعدة البرج. ويكن استعمال الهواء كوسيط عمل مع عنفة غازية في هذه الحالة يقوم المبادل الحراري

المركب في أعلى البرج بوظيفة حجرة الاحتراق في مجموعة العنفة الغازية حيث تضاف الطاقة الحرارية إلى الهواء المضغوط.

ويمكن استخدام أنظمة مختلفة لالتقاط الأشعة الشمسية المباشرة وعكسها (حقل المرايا)، وأهم هذه الأنظمة:

1- **الأنظمة التي تكون اللواقط فيها على شكل قطع مكافئ:**

يتم تركيز أشعة الشمس من خلال مرايا مستطيلة منحنية (مقوسة)على شكل حرف (U) تقريباً، وهذه المرايا تمال نحو الشمس حيث تقوم بتركيز ضوء الشمس على الأنبوب الموجود في الوسط، حيث يمر في هذا الأنبوب الوسيط الناقل للحرارة (الزيت مثلاً) هذا الزيت المتدفق خلال الأنبوب يسخن بدوره وينقل الحرارة بوساطة مبادل حراري إلى المياه التي تقوم بعملية توليد الطاقة الكهربائية عن طريق نظام تقليدي لإنتاج الكهرباء الشكل (2-64).

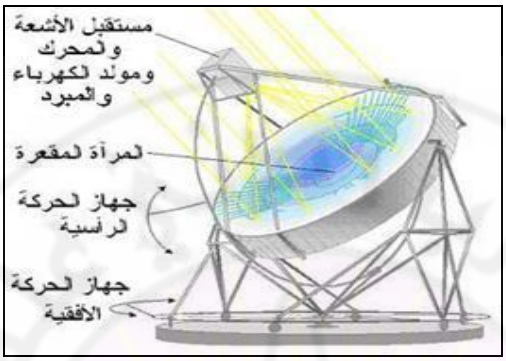


الشكل(2-64) نظام لواقط شمسي على شكل قطع مكافئ

2- **النظام ذو الصحن المتحرك المقعر :**

يستخدم في هذا النظام صحن عاكس مشابه للصحن مستقبل الإشارات كبير الحجم، يتم تجميع وتركيز حرارة الشمس في نقطة المحرق، ومن ثم ترسل إلى المستقبل

الذي يمتص الحرارة ويحولها إلى السائل الموجود فيه، الذي يتمدد ضمنه فنتيجة لذلك يحرك العنفة التي تنتج طاقة ميكانيكية تدور المولدة لإنتاج الكهرباء الشكل (2-65).



الشكل(2-65) نظام لواقط شمسي ذو الصحن المتحرك المقعر

وقد اقترحت حلول متعددة (نظرية) للاستفادة من الطاقة الشمسية في محطات توليد الطاقة البخارية وذلك على شكل محطات مختلفة، و قد بينت الدراسات الاقتصادية أن هذه الحلول هي غير عملية نظراً لارتفاع كلفتها التأسيسية والوفر الذي يمكن أن يحصل عليه في استهلاك الوقود لم يكن مبرراً اقتصادياً.

وتبقى المحطات الشمسية ذات المستقبل المركزي البرجي (المستقبل مركب على برج عال) هي المعتمدة لإنشاء محطات توليد الطاقة الكهربائية الشمسية.

وتم في السنوات العشر الماضية تركيب عدة نظم استقبال برجية مستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية، بعضها أنشئ لغايات تجريبية وبعضها الأخر لحساب الجدوى الاقتصادية لهذه المحطات ولتعيين كلفة الطاقة الكهربائية المولدة فيها، وتتراوح استطاعتها بين عدة مئات KW وعدة MW وأكبر استطاعة مركبة حالياً هي 10 MW في كاليفورنيا. وفيما يلي نذكر أهم المشاريع التي نفذت:

- **مشروع Themis الفرنسي:** ويقع جنوب فرنسا باستطاعة 2 MW ويحتوي على 200 هليوستات بمساحة $54\ m^2$ تعكس الإشعاع الشمسي إلى مستقبل برجي بارتفاع 100 m ويستعمل الملح المنصهر لنقل الحرارة.

- **مشروع Eurolios الايطالي**: ويقع في جزيرة صقلية باستطاعة 1 MW يحتوي على 182 هليوستات بمساحة $32\ m^2$ والمستقبل البرجي يقع على ارتفاع 55 m ويستخدم بخار الماء كوسيط ناقل للحرارة ووسيط عمل.

- **مشروع Sun Shine الياباني:** وهو محطة تجريبية لتوليد الكهرباء ركبت في جزيرة شيكوكو باستطاعة1 MW وتستخدم 807 هليوستات بمساحة $16\ m^2$ لكل منها والمائع المستعمل هو بخار الماء.

- **المشروع الشمسي الأمريكي:** وهو أكبر مشروع لتوليد الطاقة الكهربائية بواسطة الطاقة الشمسية وباستطاعة 10 MW ويقع في ولاية كاليفورنيا وهو قيد التشغيل منذ عام 1982 و يحتوي على 1818 هليوستات بمساحة $\mathbf{39.2\ m^2}$ لكل منها والمستقبل مركب على برج ارتفاعه 80 m . وتستعمل المحطة البخار كوسيط ناقل لحرارة وكوسيط عمل.

- **مشروع Almeria (في اسبانيا):** وهو محطة تجريبية باستطاعة 500 KW تستعمل الصوديوم المنصهر 530 °C كوسيط ناقل للحرارة ووسيط تخزين الحرارة وبخار الماء كوسيط عمل في العنفة البخارية. الشكل رقم **1.3.2** يبين مبدأ عمل هذه المحطة.

- **مشروع GAST** (محطة البرج الشمسي المبرد بالغاز) وهو مشروع قيد التصميم بتمويل من وزارة البحث والتكنولوجيا الألمانية باستطاعة **20 MW** ويستعمل الهواء كوسيط عمل ووسيط ناقل للحرارة في مجموعة عنفة غازية، وتضاف إلى مجموعة العنفة الغازية عنفة بخارية يتم توليد البخار بواسطة مولد بخار مسترجع للحرارة. يستفيد من حرارة غازات الإفلات في العنفة الغازية بحيث تكون الدارة من النوع الدارة المركبة

Combined Cycle**.** وبينت الدراسة انه يمكن تسخين الهواء في المستقبل **Receiver** المركب في أعلى البرج حتى درجة الحرارة °**800** بحيث يمكن الحصول على مردود مرتفع لمجموعة العنفة الغازية ذات الدارة المفتوحة وترتفع قيمة مردود المحطة مع إضافة العنفة البخارية. الشكل (2-66) يبين حقل المرايا الشمسية والبرج الشمسي ومبدأ عمل المحطة.



الشكل (2-66) حقل المرايا الشمسية والبرج الشمسي ومبدأ عمل المحطة

الفصل الثالث

طاقــة الريـــاح

طاقة الرياح هي طاقة حركية نظيفة متجددة لا تنضب، متغيرة حسب الفصول وحسب اليوم، لا يمكن ادخارها مباشرة بل يتم تحويلها إلى طاقة ميكانيكية أو إلى طاقة كهربائية باستعمال أنظمة المراوح الهوائية (طواحين الهواء).

استعملت طاقة الرياح منذ قديم الزمان وبشكل واسع في تحريك السفن الشراعية ثم استعملت لتوليد الطاقة الميكانيكية لأغراض الضخ، ويمكن أن نذكر هنا أنه في مطلع هذا القرن كانت في هولندا آلاف من المراوح الهوائية باستطاعة 20 Kw تقريباً لكل منها تستخدم لضخ المياه في عمليات استصلاح الأراضي.

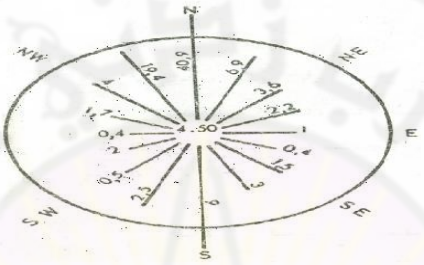
في الوقت الحاضر لا تزال مساهمة طاقة الرياح في موازنة الطاقة ضئيلة أن كان هناك بعض واضعي خطط الطاقة يرون في طاقة الرياح مصدراً مستقبلياً للطاقة، وهناك بعض البلدان مثل الدانمرك، الولايات المتحدة، انكلترا وألمانيا قطعت شوطاً كبيراً في مجال استغلال طاقة الرياح لتوليد الكهرباء، حيث غطت الطاقة الكهربائية المولدة بواسطة الرياح 10% من استهلاك الدنمرك من الكهرباء عام 2000.

وللاستفادة من طاقة الرياح على أفضل شكل لابد من دراسة خصائص هذه الطاقة، ومواصفات الرياح التي تتدخل بشكل رئيسي في مجالات تحويل الطاقة وبشكل خاص في مجال تصميم المراوح وتركيبها وتقييم أدائها واستثمارها.

3-1- خصائص طاقة الرياح

3-1-1- اتجاه الريح و سرعته: تحت تأثير تغيرات الضغط الجوي يتحرك الهواء بشكل مستمر، ونطلق أسم الرياح على تيارات الهواء الناتجة عن ذلك، وتعرف الرياح باتجاهها

وسرعتها، ويحدد اتجاه الريح بالجهة التي يهب منها أما سرعته فتقاس بأجهزة قياس خاصة، وتقوم محطات الأرصاد الجوي بشكل مستمر بتسجيل اتجاه الريح وسرعته، ويمكن بالاستناد إلى هذه التسجيلات التي تتم كل ساعة ولكل شهر من السنة رسم ما يطلق عليه اسم وردة الريح الشكل (3-1) يبين نموذجاً لوردة رياح في أحد المراصد.

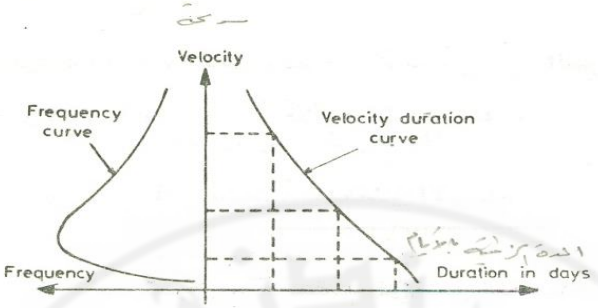


الشكل (3-1) وردة الرياح

3-1-2- الدراسة الإحصائية للرياح: من تسجيلات أجهزة قياس سرعة الرياح يمكن رسم كل مخطط استمرار سرعة الرياح ومخطط التواتر المتوسط، أن تنظيم هذه المخططات هو هام و ضروري جداً من أجل تصميم أية منشأة لاستغلال طاقة الرياح.

1- منحي استمرار سرعة الرياح السنوي: يعطى على المحور الأفقي الزمن الذي تكون فيه سرعة الريح تزيد عن قيمة معينة و تسجل قيمة هذه السرعة على محور التراتيب، ونستمر في إنشاء هذا المخطط لعدة سنوات متتالية حتى نحصل على مخطط استمرار الرياح المتوسط لعدة سنوات، ونستفيد من هذا المخطط لتحديد كمية الطاقة التي يمكن توليد من قبل منشأة رياح الشكل (3-2).

2- منحي استمرار التواتر السنوي: يمكن استنتاج هذا المخطط من المخطط السابق ويعطي هذا المخطط المدة في السنة الذي تقل فيه سرعة الريح عن حد معين وليكن 3-4 m/s، هذا الزمن هو الفرق بين الاحداثيين الأفقيين الموافقين للسرعة 3 m/s و 4 m/s والاحداثي الشاقولي لمخطط استمرار سرعة الريح.



الشكل (3-2) منحي استمرار سرعة الرياح السنوي

3- مدة سكون الريح: أن الفترة السنوية لسكون الريح جداً لأنها تبين الفترة الزمنية اللازم تغطيتها من قبل وحدة التخزين عندما يتم استخدام منشأة الرياح لوحدها لتوليد الطاقة الكهربائية .

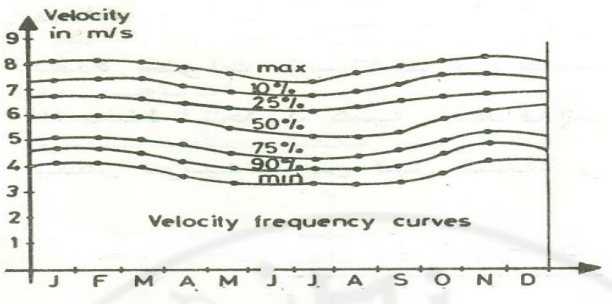
ومن المفيد أن نذكر هنا أن المنشآت التي تستخدم لرفع الماء لا يمكن أن تعمل بريح نقل سرعتها من 3m/s كذلك لا تعمل عنفات الرياح السريعة عندما تقل سرعة الرياح عن 5 m/s.

4-التغير الفصلي للرياح: قد يكون من المفيد في بعض التطبيقات أن نعرف بدقة كيف تتغير سرعة الرياح خلال سنة كاملة ولهذه الغاية تحسب سرعة الريح المتوسطة في كل شهر خلال عام كامل ثم يتم رسم التواترات كما هو مبين في الشكل(3-3).

5- منحني استمرار القدرة: يسمح منحني استمرار السرعة برسم منحني استمرار القدرة المتوفرة كتابع لعدة الأيام، وذلك بأخذ مكعب السرعة وضربه بالعامل K= 0.37:

$$E = \int P.dt = K.\int V^3.dt$$

هذه القدرة المتوفرة تمثل القيمة النظرية لطاقة الرياح في موقع معين و يعبر عن الطاقة السنوية KWh/m^2.



-1

الشكل(3-3) التغير الفصلي للرياح

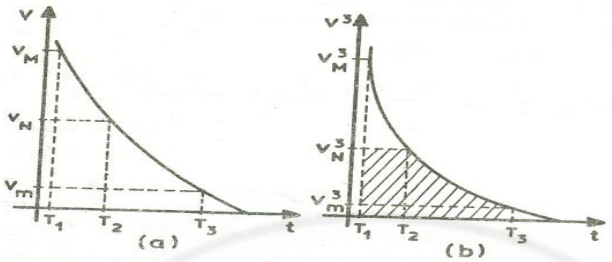
3-1-3- طاقة الرياح المتوفرة فعليا

في الواقع لا تستطيع آلة الرياح أن تلتقط كافة الطاقة المتوفرة نظرياً لأسباب عديدة أهمها:

عندما تزداد سرعة الهواء تبتدئ العنفة بتقديم الطاقة بعد بلوغ سرعة الريح قيمة معينة V_m تسمى سرعة البدء. تحت هذه السرعة تكون القدرة المتوفرة على محور الآلة مساوية للقدرة المستهلكة بسبب ضياعات المجموعة بدون حمل.

بعدئذ وبعد أن تستمر السرعة في الازدياد تصل إلى قيمة معينة V_N نسميها سرعة الريح المقدرة أو السرعة الاسمية وهذه القيمة تقابل السرعة التي تولد فيها الآلة الاستطاعة المقدرة أو الاستطاعة الاسمية لها. حيث أنه من أجل سرعات تزيد عن هذه القيمة تقوم جملة التحكم والعيار بالحفاظ على الاستطاعة ثابتة.

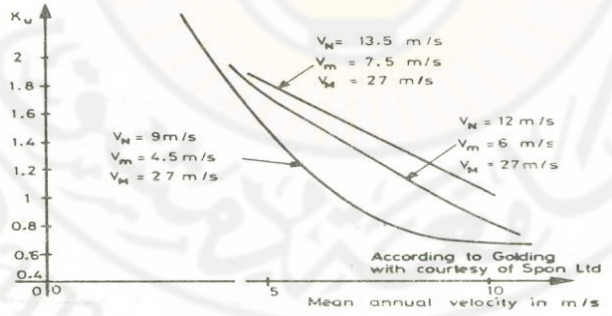
وإذا استمرت سرعة الرياح في الازدياد يمكن أن تبلغ قيمة قصوى V_M تسمى سرعة الإيقاف حيث يتم إيقاف الآلة عندما تتجاوز السرعة هذه القيمة للحفاظ على التجهيزات بحيث لا تعطى الآلة أية طاقة. أن مقدار الطاقة الفعلية المتوفرة هي متناسبة مع السطح المظلل المبين على الشكل (3-4) وتحسب بجداء المساحة مقدرة (KWh / m^2) بعامل يعبر عن المردود الكلي للآلة.



الشكل (3-4) مقدار الطاقة الفعلية المتوفرة للعنفة

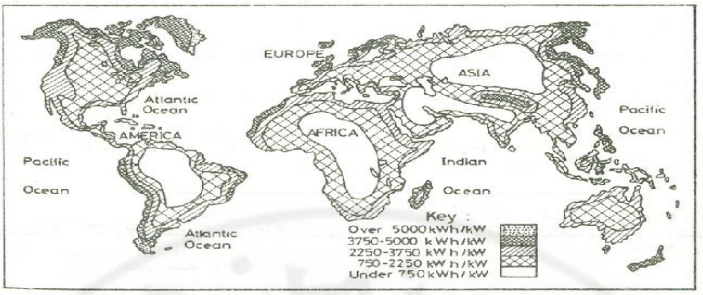
أن النسبة بين الطاقة الفعلية المتوفرة والمولدة من قبل آلة رياح معينة ومقدار الطاقة الذي يمكن توليده باعتبار سرعة الرياح ثابتة تسمى عامل الطاقة القابل للاستعمال السنوية الوسطية K_u.

وأن تغيرات العامل K_u كتابع لسرعة الريح السنوية المتوسطة درست من قبل E . W. Golding لمحطات رصد متعددة في أوربا الغربية ومن أجل قيم مختلفة للسرعات الاسمية V_N و هي مبينة بالشكل (3-5).



الشكل (3-5) تغيرات العامل K_u كتابع لسرعة الريح السنوية المتوسطة

في حين أن الشكل (3-6) يعطي الطاقة السنوية المتوفرة في مختلف أجزاء العالم بالكيلو وات الساعي في السنة لكل كيلو وات من استطاعة آلة الريح المركبة. و ذلك من اجل سرعة اسمية قدرها 11m/s .



الشكل (3-6) الطاقة السنوية المتوفرة في مختلف أجزاء العالم

3-2- طاقة الرياح

تعطى الطاقة الحركية لكتلة هواء قدرها m وسرعتها V بالعلاقة:

$$E = 5m\ V^2 ،0$$

حيث: V سرعة الريح (m/s)، وm كتلة الهواء التي تصطدم سطحاً قدره S من شفرات الدولاب الهوائي وبذلك تكون:

$$m = \rho\ .s\ .\ v$$

وعملياً لا يمكن تحويل كل طاقة الرياح إلى طاقة ميكانيكية لان الحمل سيخفض السرعة لدى صدمها الشفرات إلى الصفر. وقد قام العالم Betz، بعد دراسة نظرية، باستنتاج نسبة التحويل الأعظمي فوجد أنها تساوي 0.593 من طاقة الرياح. أن طاقة الرياح P_a تتناسب مع مكعب السرعة بالعلاقة:

$$P_a = 0.37 \left(\frac{V}{10} \right)^3$$

حيث:

P: الاستطاعة KW لكل m^2 من المساحة المتعامدة مع اتجاه الريح V السرعة (m/s).

ونظراً إلى أن سرعة الريح تتغير بشكل كبير بين يوم وآخر ومن فصل إلى فصل فأن الطاقة التي سنحصل عليها من طاقة الرياح ستكون متغيرة باستمرار. يعتمد مردود توليد الطاقة بواسطة الرياح على:

1- تصميم الدولاب.

2- سرعة الدوران التي يعبر عنها عادة كنسبة السرعة المحيطية لشفرات المروحة إلى سرعة الريح.

وقد رأينا أنه هناك سرعتان للريح:

1- سرعة دنيا لا يمكن تحتها توليد أية طاقة بسبب ضياعات الاحتكاك.

2- سرعة عظمى تسمى السرعة التصميمية، بحيث يتم التحكم بالطاقة المولدة عن طريق التحكم بسرعة الدوار.

وعندما تزيد سرعة الريح عن السرعة العظمى التصميمية نلجأ إلى إمالة شفرات الدولاب الهوائي على محورها لإنقاص السطح الفعال المواجه للريح ونتيجة لذلك تنخفض الطاقة المولدة عند زيادة السرعة عن السرعة العظمى التصميمية، وعندما تبلغ سرعة الريح 30 m/sec تنطوي الشفرات لتجنب حدوث أضرار لها.

لذلك نقول أن نظام توليد الطاقة باستعمال الرياح يصل إلى قيمته المثلى عند السرعات المتوسطة 10-14m/sec وتكون الطاقة المولدة في هذه الحالة متناسبة مع مكعب السرعة، وغالباً ما نختار سرعة 14m-sec كسرعة تصميمية وعند هذه السرعة يمكن تحويل 70-80% من طاقة الرياح إلى طاقة حركية يضيع منها حوالي 20% في جملة نقل الحركة ذات المسننات من محور الدولاب إلى المنوبة الكهربائية.

أما الطاقة القابلة للتحويل عند بقية سرعات الريح فتتبع طيف استمرار سرعة الريح ونتيجة لذلك فأن المردود الكلي لنظام توليد الكهرباء بطاقة الرياح هو عملياً بين 3% و 7% الجدول (3-1).

الجدول (3-1) الطاقة القابلة للتحويل

	كنسبة مئوية من الطاقة الكلية المتوفرة	كنسبة مئوية من الطاقة الأعظمية القابلة للتحويل
طاقة الرياح الكلية	% 100	
الطاقة العظمى القابلة للتحويل نظرياً	% 60	% 100
مع مردود قدره 60% للنظام تحت السرعة التصميمية (مردود الدوار 0،75 مردود جملة نقل الحركة 0،80)	% 36	% 60
تكامل الطاقة في مجال طيف السرعات (المردود 8-20 %)	% 3.....7	% 5.....12

بالإضافة إلى سرعة الريح لدينا ما نسميه جودة أو نوعية الريح فالرياح ذات السرعة المتغيرة بشكل كبير يصعب الاستفادة منها في توليد الطاقة في حين أن الرياح ذات السرعة الثابتة تمثل الحالة المثالية التي لا نصادفها إلى نادراً في الحياة العملية، لذلك فأن أهمية الاستفادة من طاقة الرياح تعتمد على السرعة، الموقع والارتفاع.

مع الإشارة إلى أن هذه العوامل ليست مستقلة عن بعضها، فسرعة الرياح قرب سطح الأرض يمكن أن تتأثر بالأبنية أو التضاريس الأرضية، كذلك تزداد هذه السرعة مع الارتفاع عن سطح الأرض، ويلاحظ أن معدل زيادة السرعة هو متقارب في مختلف المواقع، وإذا كانت هذه السرعة معروفة (أو مقاسة) عند ارتفاع معين فأنه يمكن حسابها من أجل أي ارتفاع آخر.

يتضح مما تقدم أن جريان الرياح يتأثر بعوامل عديدة منها ما يتعلق بالمواقع ومنها ما يتعلق بالطقس ومنها ما يتعلق بالارتفاع لذلك فأن الملاحظات التالية يمكن أن تكون بشكل عام مفيدة:

1- أن أفضل موقع للاستفادة من طاقة الرياح هو على شاطئ المحيطات ومقدار الطاقة الوسطية هو بحدود $2400KW.m^{-2}$ في السنة وتنخفض السرعة كلما ابتعدنا عن الشاطئ بحيث انه على بعد $5Km$ تصبح السرعة مساوية لسرعتها في المناطق الداخلية.

2- أن ثاني أفضل المواقع لإنشاء مراكز توليد طاقة الرياح هو في الجبال، ومقدار الطاقة الوسطية سنوياً هو $1600KW.m^{-2}$ وتغير هذه الطاقة مع الارتفاع.

3- أن أدنى مستوى لطاقة الرياح نصادفه في المناطق المستوية الداخلية بحيث أن مقدار الطاقة لا يزيد عن $750KW.m^{-2}$ سنوياً أي أقل من ثلث الطاقة التي نحصل عليها على الشاطئ.

4- أن كمية طاقة الرياح القابلة للتحويل هي جيدة في المناطق الجاف وكذلك في المناطق المعتدلة والباردة في حين أنه لا تتوفر أية طاقة رياح في المناطق الاستوائية الرطبة، كذلك لا يمكن الاستفادة من هذه الطاقة في البلدان التي تهب فيها الرياح على شكل أعاصير.

3-3- أداء مراوح الهواء

نظراً إلى أنه لا يمكن الاستفادة إلا من جزء من الطاقة الحركية للرياح فأننا نسمي عامل التحويل أو مردود المروحة نسبة الاستطاعة الميكانيكية على محور الروحة P إلى طاقة الهواء P_a الذي يجتاز مروحة قطرها D وبسرعة V:

$$C_P = P/ P_a$$

$$P_a = 0,5\ \rho\ V^3\ л\ D^2/4$$

حيث:

P_a – طاقة الرياح (W).

ρ - الكتلة الحجمية للهواء و قيمتها الوسطية $1.25\ Kg/m^3$.

D - قطر المروحة (m).

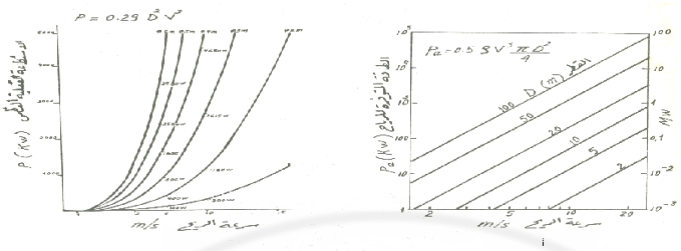
V - السرعة الوسطية للهواء (m/sec).

وقد رأينا قيمة نسبة التحويل العظمية تساوي 0.593، لذلك فأن الاستطاعة المروحة تكون:

$$P = 0.593 \times 0.5 \times \rho\ .\ V^3\ л\ D^2/4$$

$$P = 0,29\ D^2V^3$$

الشكل (3-7- أ) يعطي الطاقة المتوفرة في الهواء الذي يمر عبر المروحة حسب العلاقة (3). أما الشكل (3-7- ب) فيعطي الاستطاعة الميكانيكية العظمى التي يمكن الحصول عليها حسب العلاقة الأخيرة.



الشكل (3-7) الطاقة المتوفرة في الهواء الذي يمر عبر المروحة والاستطاعة الميكانيكية العظمى

أن عامل التحويل أو مردود المروحة يتعلق بنموذج المروحة وتصميم الدوار وزاوية ميل ريش المروحة، ونسمي عامل التشغيل λo نسبة السرعة المحيطة لنهاية شفرات المروحة إلى سرعة الرياح.

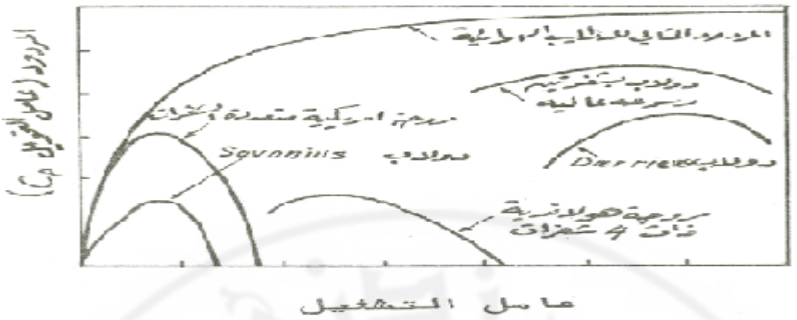
$$\lambda o = U/ V = R.\omega / V$$

حيث:

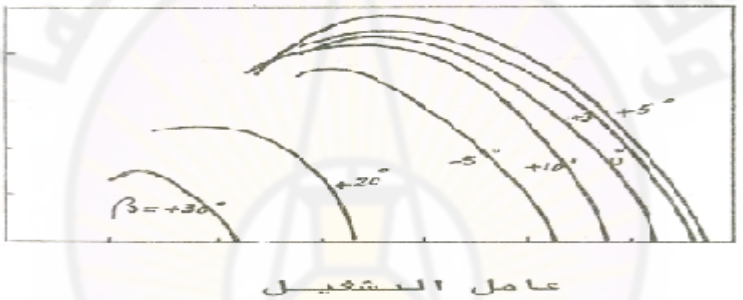
R - نصف قطر المروحة.

ω - السرعة الزاوية.

أما الشكل (3-8) فيبين مردود الطاقة كتابع لنسبة سرعة الشفرات إلى سرعة الريح (عامل التشغيل) لأهم أنواع الدواليب الهوائية. ويتضح من الشكل (3-9) أن أعلى أداء نحصل عليه من المراوح ذات الشفرتين.



الشكل (3-8) مردود الطاقة كتابع لنسبة سرعة الشفرات إلى سرعة الريح



الشكل (3-9) أعلى أداء نحصل عليه من المراوح ذات الشفرتين

الشكل (3-10) يبين رسم فني لمجموعة توليد الكهرباء تعمل بطاقة الرياح باستطاعة 3MW تشرف على تصميمها هيئة الطاقة البريطانية ضمن برنامج تطوير الاستفادة من طاقة الرياح، وتأمل الشركة المصممة أن تستطيع خلال 4 سنوات من تسويق محطات جاهزة باستطاعات تتراوح بين 100KWو 5MW.

3-4- خصائص أنظمة طاقة الرياح

سنلخص فيما يلي أهم خصائص طاقة الرياح:



الشكل (3-10) مجموعة توليد الكهرباء تعمل بطاقة الرياح

1- تحتاج أنظمة طاقة الرياح إلى مساحات كبيرة، إذ أن كمية الطاقة التي تتلقاها المراوح التي قطرها يتراوح بين 1m و 3m لا تتجاوز 30-3000w.

2- أن أنظمة الرياح هي ذات وزن أجمالي كبير نسبياً إذ تشمل هذه الأنظمة عادة البرج، المروحة، علبة السرعة، المولد والمحاور الخ ..... ووسطياً يبلغ هذا الوزن (100-110Kg) لكل 1KW من الاستطاعة المقدرة.

3- تحدث أنظمة طاقة الرياح عند تشغيلها ضجيجاً يمكن سماعه على مسافة بعيدة لاسيما في المنشآت الكبيرة.

4- تحتاج أنظمة طاقة الرياح إلى صيانة مستمرة.

5- كلفة التأسيس لأنظمة طاقة الرياح هي عالية نسبياً.

6- طاقة الرياح هي طاقة نظيفة لا تسبب تلوثاً للبيئة، وهي طاقة متجددة إلا أنها غير منتظمة ويختلف مدى توفرها من يوم إلى آخر، وأن الاستعمال الاقتصادي لهذه الطاقة محصور في الأماكن التي توفر فيها الرياح بشدة كافية.

3-5 – أنواع آلات الرياح المستعملة

تصنف المراوح الهوائية ضمن مجموعتين رئيسيتين:

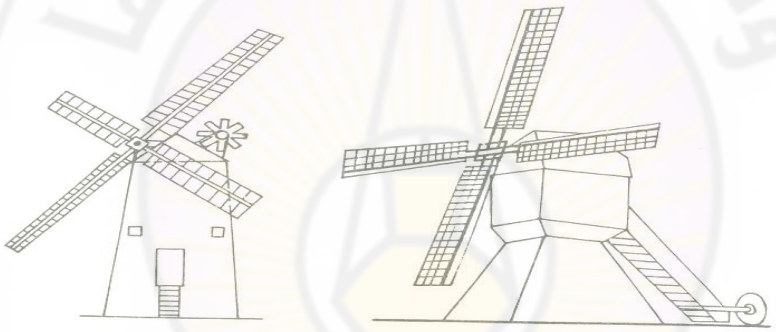
- الآلات ذات المحور الأفقي.

- الآلات ذات المحور الشاقولي.

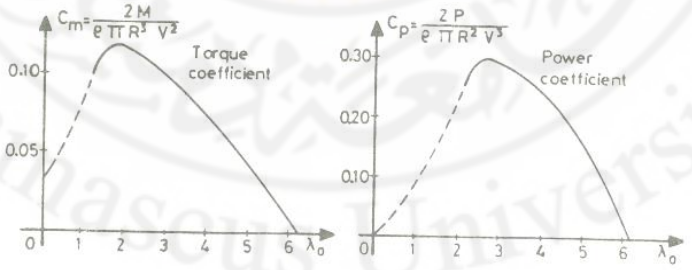
3-5-1– الآلات ذات المحور الأفقي

1- طواحين الهواء التقليدية القديمة

الشكل (3-11) يعطي نموذجين لطواحين الهواء التقليدية القديمة. إما الشكل (3-12) يبين منحي تغير عامل العزم، ومنحني تغير عامل الاستطاعة كتابع إلى λo .



الشكل (3-11) نموذجين لطواحين الهواء التقليدية القديمة



الشكل (3-12) منحي تغير عامل العزم، ومنحني تغير عامل الاستطاعة كتابع إلى λo

وقد تبين أن المردود يبلغ قيمة عظمى من أجل:

$$\lambda_0 = \pi.D.N / 60. V = 2,7$$

وهذا يقابل قيمة للعامل $C_P = 0.3$ أي 50 % من عامل Betz

$$C_{pBetz} = 16 / 27 = 0,595$$

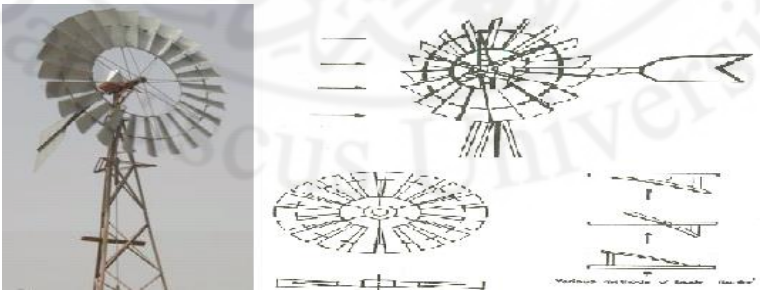
وتحت هذه الشروط فان القدرة العظمى التي يمكن توليدها كتابع للقطر وسرعة الريح تساوي:

$$P = 0.15 \ D^2 . V^3$$

2- العنفات الهوائية البطيئة

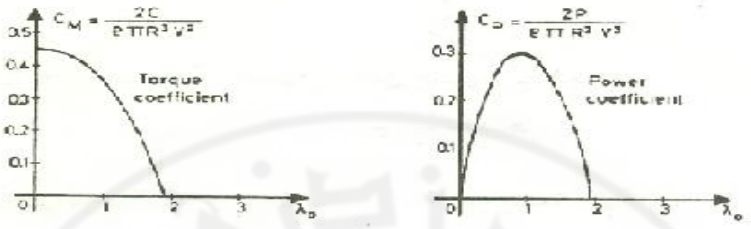
ظهرت العنفات الهوائية البطيئة ذات الشفرات المتعددة منذ عام 1870 في الولايات المتحدة ثم في أوربا، وتغطي الشفرات التي يتراوح عددها بين 12-24 شفرة كافة مساحة الدولاب ويقوم جناح الذيل فيها بتحويل اتجاه الدولاب بحيث يبقى موجهاً دوماً للريح.

الشكل (3-13) يبين نموذجاً لهذه العنفات البطيئة، أما الشكل (3-14) فيحتوي على منحي عامل العزم ومنحي عامل الاستطاعة كتابع إلى λ_0. وقد تبين أن الاستطاعة العظمى نحصل عليها من أجل:



الشكل (3-13) العنفات البطيئة

$$\lambda_0 = \pi.D.N / 60. V = 1$$



الشكل (3-14) منحي عامل العزم ومنحي عامل الاستطاعة كتابع إلى λ_0

و هذا يقابل سرعة دوران $N = 19.V / D$ أما قيمة C_P فتكون مساوية 0.3 وبذلك تكون علاقة الاستطاعة:

$$P = 0.15\ D^2\ V^3$$

حيث:

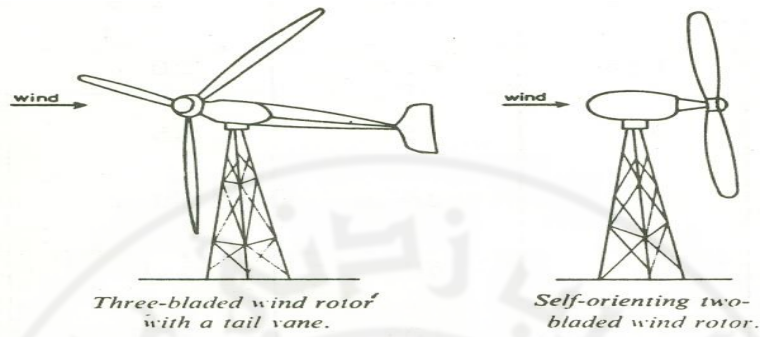
p- الاستطاعة Watts، D- القطر m، V - السرعة m/s .

3- العنفات الهوائية السريعة

في هذا النوع من العنفات الهوائية يكون عدد الشفرات أقل و يتراوح بين (2-4) شفرة، ومن أجل نفس الاستطاعة تكون هذه العنفات أقل وزناً إلا أن أقلاعها هو أصعب وتحتاج إلى سرعة هواء لا تقل عن 5 m/s لكي تبدأ بالدوران، الشكل (3-15) يبين نموذجين من هذه المراوح، الأول بثلاث شفرات مع جناح وذيل والثاني بشفرتين و ذي توجيه ذاتي.

وقد تبين أن الاستطاعة العظمى نحصل عليها من أجل:

$$\lambda_0 = \pi.D.N / 60. V = 6$$



الشكل (3- 15) نموذجين للمراوح، الأول بثلاث شفرات مع جناح وذيل والثاني بشفرتين وذي توجيه ذاتي

وهذا يقابل سرعة دوران N تساوي 115 وقد تكون قيمة $C_P = 0.4$ وبذلك تكون علاقة الاستطاعة:

$$P = 0.2\, D^2\, V^3$$

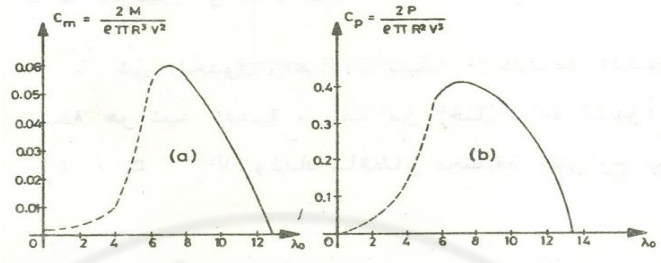
وفي التطبيقات العملية نستعمل العلاقة السابقة سواء أكانت المروحة ذات شفرتين أو ثلاث شفرات أو أربعة.

يبين الجدول (3-2) الاستطاعة القصوى التي يمكن الحصول عليها من عنفة هواء أفقية سريعة من أجل سرعة الهواء $V = 10m/s$ وسرعة للهواء $V = 7\ m/s$ وذلك بأقطار مختلفة تتراوح بين 2m و 50m.

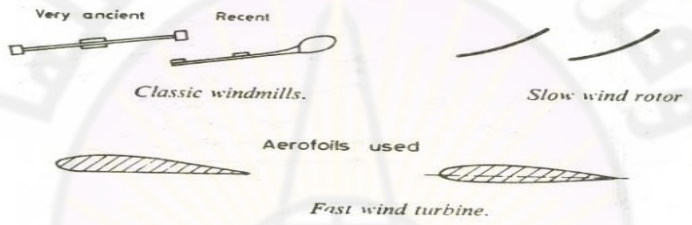
والشكل (3-16) يعطي عامل العزم وعامل الاستطاعة كتابع إلى λ_0 للعنفات الهوائية السريعة. أما الشكل (3-17) فيبين مقاطع أجنحة العنفات الهوائية ذات المحور الأفقي.

الجدول (3-2) الاستطاعة القصوى التي يمكن الحصول عليها من عنفة هواء أفقية سريعة

القطر D (m)	سرعة الدوران		الاستطاعة العظمى P KW	
	V=7 m/s	V=10m/s	V=7 m/s	V=10m/s
2	470	670	0.27	0.80
4	235	335	1.07	3.2
6	155	220	2.4	7.2
8	120	168	4.4	12.8
10	95	134	6.7	20.0
15	62	90	15	45
20	47	67	26.8	80
30	31	45	60	180
40	23	33	107	320
50	19	27	168	500



الشكل (3-16) عامل العزم والاستطاعة كتابع إلى λ_0 للعنفات الهوائية السريعة



الشكل (3-17) مقاطع أجنحة العنفات الهوائية ذات المحور الأفقي

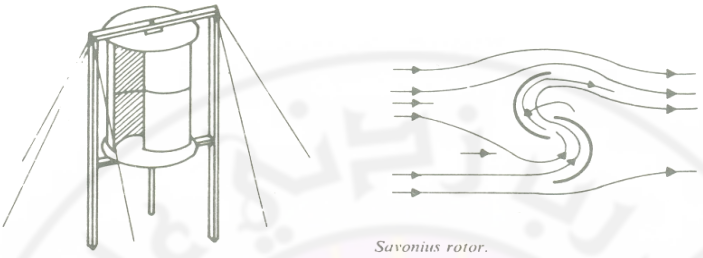
أن أكثر أنظمة التوجيه استعمالاً هي: جناح، الذيل، الدولاب الهوائي المساعد، أنظمة التوجيه الآلية وأنظمة التوجيه اليدوية. وتحتاج هذه العنفات إلى تجهيزات عيار للمحافظة على سرعة دوران ثابتة للدوار مهما تغيرت سرعة الريح وقد استعملت تصاميم عديدة لهذه الغاية.

3-5-2- الآلات ذات المحور الشاقولي

يمكن اعتبار الآلات ذات المحور الشاقولي هي أولى آلات الرياح التي استعملت منذ عهد الدولة الفارسية، وفي الوقت الحاضر توجد أنواع عديدة منها سنكفي بشرح أهمها:

1- دوّار سافونيوس

اخترعت هذه الآلة من قبل مهندس فنلندي عام 1924، الدوّار يتألف من نصفي اسطوانة مركبين كما هو موضح في الشكل (3-18).



الشكل (2-18) دوّار سافونيوس

وفي السبعينات اكتسب هذا الدوّار أهمية خاصة بعد إجراء تجارب عملية عليه في جامعة كندية حيث تم قياس عزم الإقلاع كتابع لوضعية الدوّار بالنسبة للريح وتم تحديد الاستطاعة المولّدة.

2- دوّار داريوس:

ويوجد منه أنواع عديدة أهمها أنظر:

- دوّار داريوس الأسطواني.

- دوّار داريوس على شكل قطع مكافئ.

- دوّار داريوس على شكل جزع مخروط.

قام مدير مخبر المجلس لبحوث الطيران في كندا بإجراء الدراسات النظرية والأبحاث التجريبية لنماذج مختلفة من دوّار داريوس، ومن تم بالاستناد إلى النتائج صنع أعداد من المراوح الهوائية تستعمل هذا الدولاب (على شكل قطع مكافئ) لتوليد الكهرباء الشكل (3-19).



الشكل (3-19) أنواع دوّار داريوس

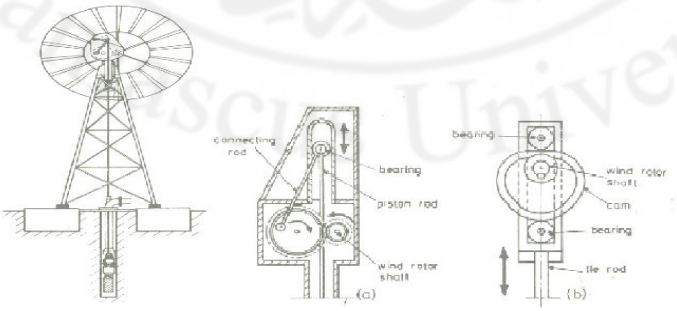
3-6- استخدام طاقة الرياح:

انحصر استعمال طاقة الرياح في الوقت الحاضر بضخ المياه وتوليد الكهرباء.

3-6-1- ضخ المياه بواسطة طاقة الرياح

1- باستعمال المضخات المكبسية وطواحين الهواء ذات السرعة المنخفضة

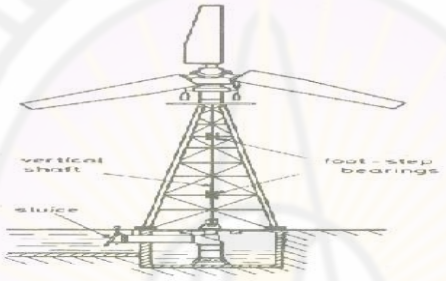
إن مضخات المكبسية تعتبر ملائمة للاستعمال في ضخ المياه نظراً إلى أن هذه المضخات تعمل بشكل جيد تحت سرعات منخفضة، وتستعمل المضخات ذات الفعل الوحيد لهذه الغاية. الشكل (3-20) يبين عنفة هوائية بطيئة تحرك مضخة مكبسية، ويحتوي على تفاصيل نقل الحركة من محور دوّار العنفة الهوائية إلى قضيب المكبس.



الشكل (3-20) عنفة هوائية بطيئة تحرك مضخة مكبسية

2- باستعمال المضخات النابذة و طواحين الهواء ذات السرعة العالية

إن طواحين الهواء ذات المحور الأفقي والسرعة العالية (وبسبب عزم الإقلاع المنخفض لها) هي غير ملائمة لتحريك المضخات المكبسية مباشرة. وقد تبين انه يفضل استعمال المضخات النابذة أو المضخات الحلزونية نظراً إلى أن عزم الإقلاع لهذه المضخات هو منخفض بالإضافة إلى أن سرعة دورانها هو نسبياً عال الشكل (3-21)، الذي يبين طاحونة هواء سريعة تستعمل لضخ المياه.



الشكل (3-21) طاحونة هواء سريعة تستعمل لضخ المياه

3- باستعمال الضخ الكهربائي

في هذه الحالة يتم توليد الكهرباء بواسطة مولدة موصولة مع دوّار العنفة الهوائية السريعة وتقوم المولدة بتغذية المحرك الكهربائي الموصول بالمضخة وهذا الحل يناسب حالات الضخ من أعماق كبيرة ولاسيما عندما تكون سرعة الهواء أكبر من 5-6 m/s، ويمكن في هذه الحالة تركيب العنفة الهوائية في مكان مرتفع كما يمكن أن لا يكون قريباً من البشر للحصول على استطاعة أكبر. وللحصول على نتائج جيدة يفضل تركيب مجموعة بطاريات لتخزين الطاقة الكهربائية بحيث يمكن تشغيل مضخة المياه في الفترات التي لا تكون فيها الرياح منتجة.

3-6-2- توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح:

يعتبر توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح اقتصادياً في المواقع المعزولة والقرى البعيدة عن شبكة الارتباط الكهربائية، والعنفات الهوائية المستعملة لتوليد الكهرباء هي بشكل عام آلات من النوع السريع التي لها شفرتان أو ثلاث شفرات و ذلك للأسباب التالية:

1- من أجل ذات القطر تكون عنفات الريح السريعة أخف وزنا وبالتالي أرخص من العنفات البطيئة.

2- نظراً إلى أنها تدور بسرعة أعلى فأن نسبة التحويل لعلبة السرعة ستكون أخفض.

3- أن العزم اللازم لإقلاع مولّدة كهربائية هو صغير وكذلك عزم الإقلاع للعنفة السريعة هو ذاته منخفض إلا أنه كاف لتحريك المولدة لذلك فأن هذه العنفات هي مناسبة لهذا الاستخدام.

تستعمل عادة ثلاث أنواع من المولدات هي: مولدة تيار مستمر، مولدة تيار متناوب ومولدة التحريض (مولدة غير متوافقة).

من أجل المنشآت ذات الاستطاعة الصغيرة استعملت في الماضي مولدات التيار المستمر، و لكنه في الوقت الحاضر مولدات التيار المتناوب هي الأكثر استعمالاً وتستعمل المقومات لتحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر. أما في المنشآت كبيرة الاستطاعة فأن المنوبات التحريضية هي الوحيدة المستعملة.

3-7- نظام عمل توربينات الرياح:

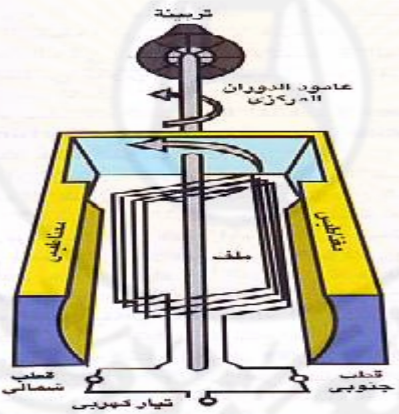
عند تحرك الرياح واصطدامها بشفرات العنفة الهوائية، تقوم بتحريك (تدوير) هذه الشفرات، وذلك عند وصول الرياح إلى سرعة معينة تسمى السرعة الابتدائية، والتي تكون قادرة على تحريك هذه الشفرات.

تنتقل الحركة الدورانية لشفرات العنفة إلى المحور الدائر (عمود الدوران المركزي)، الذي يمتد داخل المولد، وتتحول فيه الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية.

3-5-1- أجزاء المولد

يتألف المولد من جزأين أساسيين: جزء ثابت عبارة عن مغناطيس، وجزء متحرك عبارة عن امتداد المحور الدائر داخل المولد بين قطبي المغناطيس، والذي تلتف عليه وشيعة معدنية غالباً ما تكون نحاسية.

يشكل المغناطيس الموجود داخل المولد حقلاً أو مجالاً مغناطيسياً، وعند دوران امتداد المحور الدائر داخل المولد، الذي هو عبارة عن الجزء المتحرك في المولد، سوف يعمل على قطع خطوط المجال المغناطيسي وتغيير التدفق وبالتالي توليد تيار كهربائي الشكل (3-22).



الشكل (3-22) نظام عمل توربينات الرياح

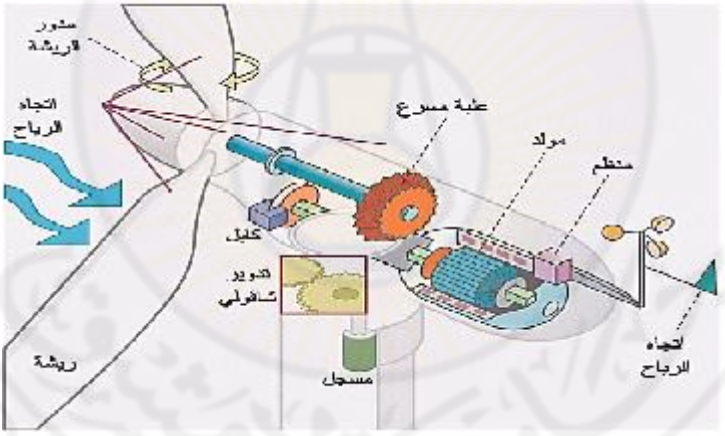
حسب قانون فاراداي القائل: بأن تغير التدفق لمجال مغناطيسي يصنعه مغناطيس بين قطبيه، يؤدي إلى توليد تيار كهربائي في عملية تسمى التحريض الكهرطيسي. وبالتالي يمكن استجرار التيار الكهربائي المتولد إلى حمل كهربائي (بطارية تخزين مثلاً)، أو ربطها إلى منوبة، ثم إلى الشبكة العامة مباشرة.

لكـن قطـع خطـوط المجـال المغناطيسـي يحتـاج لسـرعات دوران عاليـة للوشـيعة الملتفـة علـى امتـداد المحـور الـدائر داخـل الملـف، وبالتـالي يجـب زيـادة سرعة الدوران على مدخل المولد عن طريق تركيب علبة سرعة قبل المولد.

3-7-1- أجزاء العنفة الهوائية المستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية الشكل (3-23):

1- **الشفرات** : وهي الجزء الأساسي في امتصاص طاقة الرياح، وتمتلك تصميم دقيق جداً. وفي بداية تصميم العنفات كان مصممو الشفرات هم عبارة عن مصممو أجنحة الطائرات. وبتطور العلوم أصبحت هناك تخصصات تدرس تصميم شفرات العنفات الريحية بشكل خاص.

2- الدائر : وهو عبارة عن القطعة الواصلة بين الشفرات والمولد و الحاملة للشفرات.



الشكل (3-23) أجزاء العنفة الهوائية المستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية

3- زاوية ميلان الشفرات : وهي زاوية تميل بها الشفرات، وذلك للتحكم بطاقة الرياح الممتصة من قبل العنفة، وتدخل هذه الزاوية بحسابات دقيقة ومعقدة جداً لا يمكن للإنسان التحكم بها، وإنما يضع المصمم طريقة عملها ويترك للنظام الآلي التحكم بها بعيداً عن تدخل الإنسان. وعادة ما ترتبط هذه الزاوية عن طريق تغذية خلفية من حساسات تشير إلى سرعة الرياح الحالية.

4. المكابح : وهو نظام كبح العنفة الريحية، وهو جزء أساسي لا يمكن الاستغناء عنه بأي شكل من الأشكال، حيث يتدخل هذا ليوقف دوران العنفة عند سرعات محددة من الرياح، والتي لا يمكن للعنفة العمل عندها وعادة ما تحددها الشركة الصانعة ولكنها عادة تكون بحوالي **25** متر بالثانية.

عند الحديث عن المكابح لا بد من الإشارة أن نظام الكبح هو نظام هام جداً وخطر جداً، وإن أي تعطل لنظام الكبح قد يؤدي إلى نتائج كارثية على حياة البشر أولاً وعلى العنفة الريحية، حيث من الممكن أن تتطاير أجزاء العنفة الريحية بحال ازدادت سرعة الرياح إلى رياح عاصفة ولم تتوقف العنفة عن الدوران.

5- محور الدوران المنخفض السرعة : وهو عبارة عن المحور الموصول بشكل مباشر مع الدائر، ويكون ذو سرعة منخفضة، فهو يدور بنفس سرعة الهواء دون زيادة أو نقصان.

6- علبة السرعة :وهي عبارة عن مسننين مختلفين في القطر وذلك لزيادة السرعة على دخل المولد الكهربائي. من الجدير بالذكر هنا أن علبة السرعة المذكورة هي أبسط أشكال علب السرعة، والتي لا تستخدم في العنفات الريحية عالية التقنية التي تصنع حالياً، فبالنسبة لعلب السرعة المنتجة حالياً فقد تتكون من عدد من التروس التي تتعشّق بشكل آلي حسب سرعة الرياح لتحافظ على سرعة معينة على دخل المولد الكهربائي، وحتى أنه في بعض العنفات الريحية يتم الاستغناء عن علبة السرعة وذلك بإدخال أنظمة تحكم وقيادة تتعلق بالمولد، وهي معقدة إلى حد ما ولن نخوض بها.

7- **المولد الكهربائي :** وهو عبارة عن وسيلة لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، وتختلف المولدات المستخدمة في العنفات الريحية، حيث تستخدم مولدات التيار المستمر باستطاعات صغيرة، وتستخدم المولدات التزامنية والمولدات التحريضية في الاستطاعات الكبيرة.

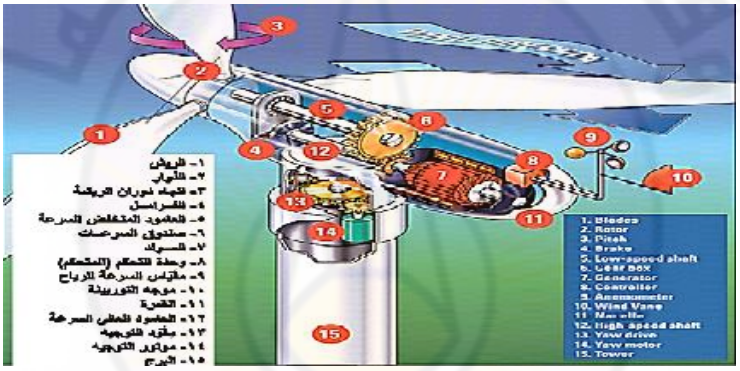
8- المتحكم : يعطي المتحكم أوامر الكبح والإقلاع وتغيير اتجاه العنفة والإنذار وغيرها، ولكن في الواقع العملي فإن المتحكم هو عبارة عن نظام تحكمي ضخم جداً يحوي على

عدد كبير من الحساسات المرتبطة بجملة من المعالجات التي تتحكم بمتغيرات العنفة من اتجاه وكبح وإقلاع وغيرها.

9- مقياس سرعة الرياح : وهو مقياس يحدد سرعة الرياح الحالية.

10- حساس اتجاه الرياح : عبارة عن حساس يتحسس لاتجاه الرياح.

11- القمرة : وهي تحوي على علبة السرعة ، المولد ، الحساسات وغيرها ويمكن تعريفها على أنها الحجرة الواقعة في أعلى البرج الشكل (3-24).



الشكل (3-24) القمرة

12- محور الدوران ذو السرعة العالية : وهو عبارة عن دخل علبة السرعة، وبالتالي يكون خرج علبة السرعة عبارة عن محور السرعة العالية، والذي يكون بدوره دخل للمولد وبسرعة مناسبة.

13- مسنن الاتجاه : وهو عبارة عن مسنن يتحكم باتجاه القمرة وذلك لجعل العنفة تمتص أكبر استطاعة ممكنة من الهواء.

14- محرك الاتجاه : وهو المحرك الذي يقود مسنن الاتجاه.

15- البـرج : وهـو الاسـطوانة الحاملـة لكافـة الأجـزاء السـابقة، والـذي يـتم تثبيتـه على الأرض بقاعدة إسمنتية ضخمة بحالة العنفات المنشأة على اليابسة.

3-7-2- العناصر الحسابية للعنفات الريحية

1- معامل الأداء للعنفة الريحية (مردود العنفة الريحية): نظراً لأنه لا يمكن الاستفادة إلا من جزء من الطاقة الحركية للرياح، فإننا نعرف عامل التحويل أو مردود المروحة بأنه نسبة الاستطاعة الميكانيكية على محور المروحة P (مقدرة بالكيلو واط ساعي لكل متر مربع من المساحة المتعامدة مع اتجاه الرياح ذات السرعة vمقدرة بـ م/ثا) إلى طاقة الهواء Pa الذي يجتاز مروحة قطرها D و بسرعة V، وبالتالي يعطى بالمعادلة التالية:

$$C_p = P / P_a$$

يتعلق عامل التحويل أو المردود للمروحة بنموذج المروحة، وتصميم الدوار، وزاوية ميل ريش المروحة، وعملياً لا يمكن تحويل كل طاقة الرياح إلى طاقة ميكانيكية، وقد قام Betz بعد دراسة نظرية باستنتاج نسبة التحويل الأعظمية فوجد أنها تساوي Cp=0.593 من طاقة الرياح . لذا فإن استطاعة المروحة الأعظمية تكون:

$$P = 0.593 \times 0.5 \times \rho \cdot V^3 \pi D^2/4$$

$$P = 0,29.V^3,D^2$$

2- معامل التشغيل للعنفة الريحية: يعرف معامل التشغيل بأنه نسبة السرعة المحيطة لنهاية شفرات المروحة إلى سرعة الرياح، ويعطى بالمعادلة:

$$\lambda_0 = RW / V = \pi.D.N / 60. V$$

حيث:

R: نصف قطر المروحة.

W -السرعة الزاوية.

V- سرعة الرياح م/ثا.

N- عدد الدورات التي تدورها شفرات العنفة خلال دقيقة

تعطى القيمة المثالية لمعامل التشغيل بالمعادلة ($4\pi/n$) حيث n: عدد شفرات العنفة. يتم مقارنة قيمة معامل التشغيل المحسوبة مع قيمة معامل التشغيل المثالية ويجب أن لا يزيد الفرق بين القيمتين عن ± 0.5.

إذا كان الفرق بين القيمة المثالية والقيمة المحسوبة لمعامل التشغيل أكبر من القيمة المذكورة، فهذا يدل على خلل في عمل العنفة.

3- قطر العنفة: عندما يراد تصميم مزرعة ريحية أو تركيب عنفة ريحية منزلية، يكون قطر العنفة أو طول شفرة العنفة اختيارياً لأنه يتبع لمجموعة من العوامل:

أ- الإمكانيات المادية المتوفرة

ب- الغرض من استخدام العنفة

ج- الاستطاعة الكهربائية المراد توليدها من العنفة إذا كان الهدف توليد الكهرباء.

4-عدد الدورات التي تدورها العنفة خلال واحدة الزمن: يمكن معرفة عدد الدورات التي تدورها العنفة خلال واحدة الزمن من خلال معرفة قطر العنفة والسرعة المحيطية للعنفة:

السرعة المحيطية للعنفة = المسافة التي تقطعها العنفة خلال دورة واحدة / زمن الدورة الواحدة. وبما إن المسافة التي تقطعها العنفة خلال دورة واحدة = محيط العنفة = $2\pi r$، حيث r طول شفرة العنفة، وبالتالي يكون عدد الدورات التي تدورها العنفة خلال واحدة الزمن ولتكن دقيقة واحدة = 60 / زمن الدورة الواحدة

3-7-3- تحديد سعة بطارية الادخار

يوجد شرطان لتحديد سعة بطارية الادخار كما يلي:

1- الشرط الأول:

$$C \rangle 30.n.P_m / E$$

حيث:

P_m: القدرة المتوسطة المستهلكة لدى الاستعمال Watt

n: عدد الأيام المتتالية التي لا تكون فيها الريح منتجة .

C: سعة البطارية بـ Ah .

E: تخزين البطارية بـ Volt .

2- الشرط الثاني: هو أن لا تزيد شدة تيار الشحن عن C /10 وذلك كي لا تتضرر البطارية أثناء الشحن.

$$C \geq 10\ I_m$$

3-8- اقتصاديات منشآت توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح:

لتحديد كلفة واحدة الطاقة الكهربائية K Wh المولدة بواسطة طاقة الرياح، ينبغي أخذ كلف التأسيس وكلفة التشغيل بعين الاعتبار، و تشمل كلف التأسيس: تصميم المنشأة، ثمن المنشأة، كلفة النقل، الأساسات، نفقات الوصل، التركيب والتجريب.

أما كفلة التشغيل (الكلفة السنوية) فتتألف من كلف: الصيانة، خدمة رأس المال ونفقات متفرقة. وفي بعض الحالات قيمة الأرض ومبنى التشغيل، ويتم تعين كلفة الكيلو وات الساعي المولد بالاستناد إلى كمية الطاقة المولدة سنوياً من قبل المنشأة. وتجدر الإشارة هنا أن الاستطاعة المتوسطة لمنشآت الريح في الدنمرك التي كانت في عام 1980تتراوح بين 30-55 KW ارتفعت في عام 1990 إلى 200-450W ورافق ذلك ازدياد جاهزية هذه المنشآت، كذلك انخفضت كلفة توليد الكهرباء بواسطة طاقة الرياح في الدنمرك من 0.17 عام 1980 إلى 0.053$/ KWh عام 1990.

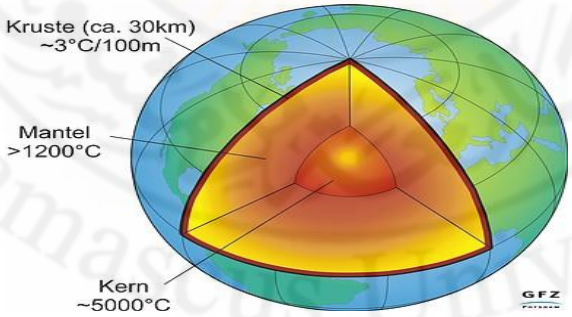
الفصل الرابع

الطاقـــة الجيوحرارية

4-1-مصدر الحرارة الجوفية

تحت قشرة الأرض تقع طبقة منصهرة تسمى الطبقة المَغِلّفة (الدثار) وتحت هذه الطبقة يقع لب الأرض الشكل (4-1)، ويخمن أن درجة حرارة قاعدة قشرة الأرض هي 200-1000 °C .

أن جزءاً فقط من كمية الحرارة الهائلة التي تحتويها قشرة الأرض يمكن أن يستفاد منها، ولقد قدرت الكمية الكلية للحرارة الجوفية المتوفرة على افتراض نظرياً سحب الحرارة من عمق أعظمي قدره 32 Km من سطح الأرض فأن كمية الحرارة ستساوي 3×10^{21} Kw h وإذا افترضنا أن سحب كمية الحرارة سيستغرق 1000سنة فأن كمية الطاقة المتوفرة سنوياً من هذا المصدر ستكون 3×10^{18} Kw h و هذا يساوي 10000مرة احتياجات الطاقة السنوية في العالم حالياً.

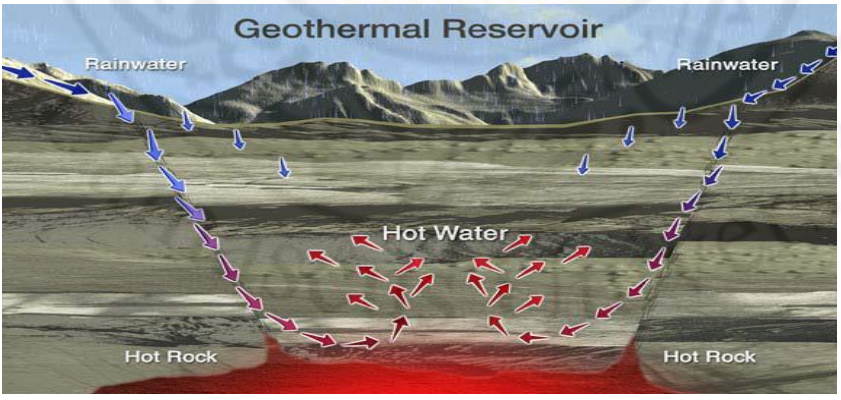


الشكل (4-1) طبقات الأرض

وهكذا يبدو لنا أن مصدر الطاقة هذا هو مصدر لن ينضب، ولكن حتى الوقت الحاضر لم تقترح خطة واعدة لجلب كمية الحرارة هذه إلى سطح الأرض بغية الاستفادة منها على نطاق واسع.

ويعتقد أن مصدر الحرارة في باطن الأرض هو نتيجة التحطم المستمر للعناصر المشعة الموجودة بداخلها، الأمر الذي يجعل نواة الأرض (اللب) في حالة منصهرة دوماً، وتنتقل هذه الحرارة باتجاه السطح بأشكال مختلفة، إلا أن هذا التدفق الحراري هو في معظم المناطق صغير جداً. هذا وتعتبر الطاقة الجيوحرارية أحد مصادر الطاقات البديلة إلا أنه مصدر غير متجدد.

أن الماغما الحارة هي المسؤولة عن توليد الماء الجوفي الساخن والبخار الجوفي وتسربه عبر الشقوق إلى سطح الأرض، وتمثل الشقوق خطوط هروب لكتلة الماء المتسربة والتي تلامس طبقات الصخور الحارة وتتحول إلى ماء ساخن أو إلى بخار. يبين الشكل (4-2) الذي يمثل حقل حرارة جوفية ويبين كيف يتحول الماء المتسرب إلى الأعماق إلى ماء ساخن أو بخار يخرج إلى سطح الأرض عبر الشقوق على شكل ينابيع حارة أو بخار جوفي.



الشكل (4-2) حقل حرارة جوفية

ويتدفق البخار الجوفي (الطبيعي) على سطح الأرض في مواقع عديدة من الكرة الأرضية، ففي (جنوب فلورنسا) استعمل البخار في القرن التاسع عشر لتوليد الطاقة الميكانيكية، ثم ومنذ عام 1913 لتوليد الطاقة الكهربائية، واليوم تولد ايطاليا استطاعة كهربائية قدرها 400MW من البخار الطبيعي.

وفي الولايات المتحدة، وفي منطقة شمال سان فراسيسكو تحفر الآبار العميقة للحصول على البخار الأرضي الذي يستعمل في محطات بخارية لتولد الطاقة الكهربائية.

4-2- منابع الطاقة الجيوحرارية

أذا حفرنا في عمق القشرة الأرضية نلاحظ أن درجة الحرارة تزداد وسطياً بمقدار 25-30 °C لكل Km، وقد تصل الزيادة في بعض المناطق (مثل المناطق البركانية ومناطق الزلازل) إلى 80°C لكل Km (ونقول أن التدرج الحراري في هذه المنطقة هو 80°C / Km)، وتغطى هذه المناطق حوالي 10% من سطح الأرض. وأهم مواقع حقول الحرارة الجوفية في العالم هي:

1- الشاطئ الغربي لأمريكا من الآسكا إلى التشيلي.

2- الحافة الغربية للمحيط الهادي من نيوزيلندة إلى اليابان عبر اندونيسيا والفلبين.

3- الوادي الانهدامي في إفريقيا (من كينيا واوغندا وإثيوبيا).

4- حوض البحر الأبيض المتوسط.

وينبغي أن نشير هنا إلى أن كل حرارة جوفية لا تعد مصدراً مفيداً للطاقة الجيوحرارية إلا أذا سمحت الظروف الجيوحرارية بتشكل خزانات جيوحرارية، وهذه الخزانات هي شبيهة بالمكامن الصخرية التي يتجمع فيها النفط أو الغاز الطبيعي أي صخور مسامية مغطاة بطبقة غير نفوذة، فالماء الجوفي المسخن يرشح نحو الأعلى إلى الخزان حيث يتجمع تحت الغطاء الصخري وإذا ما احتوى هذا الغطاء على تشققات فأن

الماء أو البخار يتسرب إلى سطح الأرض مشكلاً ينابيع ساخنة (ماء ساخن أرضي أو بخار أرضي).

وتتعلق درجة حرارة مياه الينابيع الجوفية بعمقها، ونظراً إلى أنها نادراً ما تتواجد بشكل طبيعي في أعماق تزيد عن 4Km فأن درجة حرارتها تبقى أقل من 300 C° وتكون نقطة غليانها أكبر من 100 C°إذا كانت تحت ضغط أكبر من الضغط الجوي.

4-3- تقنيات استثمار الطاقة الجيوحرارية

يوجد طريقتان للاستفادة من حرارة باطن الأرض:

1- استخدام الماء الحار أو البخار المتشكل بصورة طبيعية: وقد استفاد الإنسان من مصدر الطاقة هذا منذ 2000 سنة حيث استخدمت الينابيع الحارة للاستحمام. ويستفاد منها اليوم في تدفئة المباني السكنية، تدفئة البيوت الزجاجية الزراعية، تجفيف المنتجات الزراعية، توليد الطاقة الكهربائية بواسطة العنفات البخارية.

وتوجد في الطبيعة مواقع عديدة يتصاعد منها البخار من جوف الأرض، واستعمل هذا البخار منذ عهد الرومان لغايات التدفئة وفي الحمامات، وخلال القرن التاسع عشر كان هناك في Larderello حقل بخار استعمل للتدفئة ولتوليد الطاقة الميكانيكية. ويستعمل البخار الطبيعي الجوفي لغاية توليد الكهرباء في كل من الولايات المتحدة، إيطاليا، نيوزيلندة، روسيا، تركيا، اليابان، ايسلاندة والمكسيك. ويتم حالياً في ل كاليفورنيا توليد الكهرباء من الحرارة الجوفية في محطات استطاعتها 2000 MW.

ويمكن الوصول إلى الخزانات الجيوحرارية الطبيعية بحفر الآبار التي يتدفق منها الماء الساخن أو البخار، ويمكن استعمال المضخات لسحب المياه الدافئة في الحالات الأخرى.

2- استخلاص الحرارة من الصخور الجافة والحارة: يمكن الاستفادة من الحرارة الجوفية بشكل واسع في المستقبل بحفر آبار عميقة تصل إلى الصخور الجافة الحارة، ويمكن ضخ الماء في هذه الآبار للحصول على ماء ساخن أو بخار، إلا أن كلفة هذه العملية ما زالت مرتفعة بالإضافة إلى أن أماكنً محدودة فقط (هي عادة المناطق البركانية) يمكن أن تكون ملائمة للاستغلال التجاري لهذه الطاقة.

وقد اقترح العلماء في مخبر لوس الاموس Los Alamos العلمي في الولايات المتحدة أجراء تجربة توضيحية لمشروع الاستفادة من الحرارة الجوفية تتضمن حفر بئر عميقة (حتى عمق 8Km) تصل إلى طبقات الصخور الحارة الجافة وضخ الماء ليلامس الصخور الحارة وليتحول إلى بخار ينساب من بئر ثانٍ إلى سطح الأرض ويستعمل هذا البخار في محطة توليد طاقة بخارية.

وحسب المبدأ المقترح من قبل علماء Los Alamos سيتم تبطين الثقب المحفور بأنابيب فولاذية مزودة بثقوب على ارتفاع عدة مئات من الأمتار فوق قعر البئر. وتقوم مضخة عالية الضغط (1000 Bar) بإرسال الماء تحت هذا الضغط لتجبر الماء على التسرب عبر الثقوب الموجودة في الصخور ولتحدث تشققات فيها، وهكذا تتشكل لدينا منطقة صخور حارة متشققة، ويحفر بئر ثانٍ على بعد 1000m تقريباً من البئر الأول، ويضخ الماء بعدئذ من البئر الأول ليجول عبر شبكة التشققات التي كانت قد تشكلت ويتحول إلى بخار يصعد إلى السطح عبر البئر أو الثقب الثاني الشكل (4-3)، الذي يوضح تقنية الاستفادة من الحرارة الجوفية المستمدة من طبقة الصخور الجافة الحارة لتوليد الطاقة الكهربائية حسب المبدأ المقترح من علماء لوس الاموس. ويشير هذا الاقتراح عدة أسئلة تحتاج إلى بحث عميق وهي:

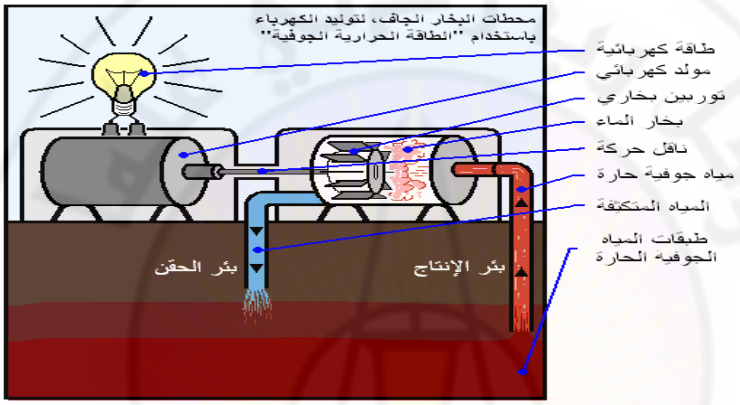
- هل ستنتشر تشققات الصخور كما هو متوقع لها؟

- هل ستنتج فعالية زلزالية عن هذه العملية؟

- هل ستؤدي البئر المستنفذة إلى هبوط على سطح الأرض؟

- هل يمكن التحكم بالإصدارات الغازية من البئر؟

- هل تسبب الأملاح المعدنية المنحلة والتي سيحملها الماء الساخن (البخار) معه تآكلا للأجزاء المعدنية من النظام؟



الشكل (4-3) تقنية الاستفادة من الحرارة الجوفية (اقتراح لوس الاموس)

أن الشوائب ينبغي أن تزال من وسيط العمل في دارة توليد الطاقة ولكن التخلص منها سيشير تحدياً جديداً. كذلك الفيض المنبعث من الماء الساخن أو من أنظمة البخار يمكن أن يلوث المياه الجوفية أو المياه السطحية مثل الأنهر و البحيرات، لهذا تشترط القوانين والأنظمة في الولايات المتحدة أن يعاد حقن الموائع المعترض عليها (والتي مصدرها باطن الأرض) ثانية إلى جوف الأرض، ويعتبر التخلص من الأملاح والشوائب التي فصلت عن البخار الجوفي من أهم المشاكل التي ترافق استعمال الحرارة الجوفية، والضرر الذي يمكن أن تسببه للطبيعة وللبيئة يكمن في أننا نجلب إلى سطح الأرض كميات كبيرة من الأملاح وغيرها من المواد الكيميائية بمعدات غير طبيعية في حالة الاستطاعات الكبيرة. أن محطة توليد الطاقة الكهربائية قد تبث في الجو ملوثات أقل

بكثير من الملوثات الناتجة عن حرق الوقود الاحفوري إلا أنها تصدر إلى الجو كميات أكبر بكثير من كبريت الهيدروجين.

ومن المخاوف التي يثيرها استعمال الحرارة الجوفية احتمال حدوث هبوط في الطبقات الأرضية نتيجة سحب المائع على شكل ماء ساخن أو بخار من جوف الأرض، وحدوث تقلصات في الصخور العميقة نتيجة سحب الحرارة بالإضافة إلى زيادة احتمال وقوع هزات أرضية وزلازل نتيجة حقن الماء البارد في الطبقات العميقة من مناطق الصدوع.

أن إمكانيات الاستفادة من الحرارة الجوفية تبدو جذابة لدرجة أننا نتسأل لماذا بقي موضوع الاستفادة منها وتطويرها بطيئاً حتى الآن؟ ويمكن الإجابة على هذا التساؤل بما يلي:

1- كان علينا حتى اليوم الاستفادة من الحرارة الجوفية حيث نجدها متوفرة، إن تجهيزات نقل هذه الطاقة من مواقع تواجدها و توفرها إلى مواقع الاستفادة منها هي مكلفة.

2- أن تقدير الاحتياطي من الطاقة الجيوحرارية كان أقل مما يستحق، ولكن نظراً إلى أن الماغما البازلتية تحت حرارة عالية هي متوفرة في كل مكان يمكننا أن نتصور (حتى في حالة غياب حقول البخار الجوفي أو المياه الساخنة الجوفية) إمكانية استخراج الطاقة الحرارية من باطن الأرض بطريقة حفر الآبار العميقة واستعمال تقنيات استخراج الحرارة مباشرة من هذه الطبقة.

أن كلفة الطاقة الحرارية الجوفية يمكنها أن تنافس كلفة الطاقة من مصادر أخرى، على سبيل المثال: أن كلفة الطاقة الكهربائية المولدة من البخار الجوفي في شمال كاليفورنيا هي بحدود 0.05$/KW-h بالمقارنة مع الكلفة الوسيطة للطاقة الكهربائية من المصادر التقليدية في كاليفورنيا التي هي بحدود 0.07$ / KW-h.

4-4- أمثلة على استثمار الطاقة الجيوحرارية

1- المثال الأول: منشأة تستعمل الطاقة الحرارية الجوفية لتوليد الكهرباء والتدفئة

أن محطة توليد الطاقة الكهربائية التي تستعمل الحرارة الجوفية في Monte Amiata (ايطاليا) باستطاعة $15MW_e$ هي قيد الاستثمار منذ عام 1968، وتستخدم البخار الأرضي الذي مصدره آبار جوفية بعمق 700m حتى 1000m، وشروط هذا البخار هي: درجة الحرارة 184 °C، الضغط 9.3 bar، مع محتوى عال للغازات غير القابلة للتكاثف (بشكل رئيسي CO_2) يبلغ 18% وزناً.

أن مقدار الطاقة الحرارية التي يمكن الاستفادة منها لتوليد الطاقة الكهربائية يبلغ 314 GJ/h وهذا يعادل 68000 طن مكافئ من البترول سنوياً كانت ستسهلك لتوليد هذه الطاقة الكهربائية.

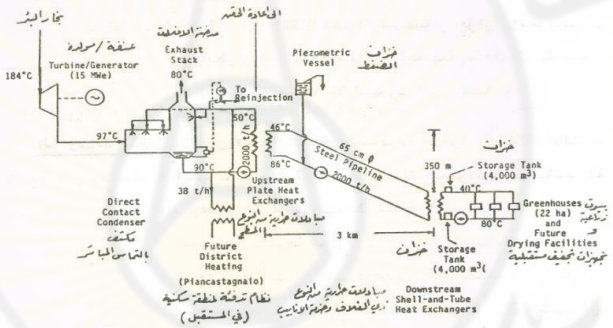
تستعمل المحطة مكثف من الطراز ذي التماس المباشر (مكثف بالمزج) وتبلغ درجة حرارة مياه التكاثف 90 C° الأمر الذي يبرر الاستفادة من محتوى هذه المياه من الطاقة الحرارية. ولهذه الغاية أضيف إلى المشروع مبادلات حرارية للاستفادة من هذه الطاقة الحرارية لغاية تدفئة البيوت الزراعية البلاستيكية ولتدفئة منطقة سكنية قريبة من محطة توليد الطاقة.

ونظراً إلى أن مياه التكاثف الساخنة تحتوي على الكبريت والكلور وغاز CO_2 فأنها تسبب تآكلاً شديداً إذا ما استعملت مباشرة، لذلك لجئ إلى استعمال مبادلات حرارية من النوع اللوحي المسطح ومن النوع الاسطواني ذي الغلاف وحزمة الأنابيب. الشكل (4-4) يمثل مخطط عمليات استرجاع الحرارة من مياه التكاثف ونظام نقل الطاقة الحرارية. لذلك يستعمل المنشأة عدة دارات حرارية هي:

1 - الدارة الأولى: وهي دارة مياه التكاثف، وتحتوي على مكثف بالتماس المباشر لتكثيف بخار الإفلات من العنفة البخارية ومبادل حراري غزارة المائع $2000m^3$ /h أن

الأنابيب في هذه الدارة ينبغي أن تكون مقاومة لتآكل لذلك اختير البلاستيك المضغوط المقوى بالصوف الزجاجي لصنع هذه الأنابيب.

2 - الدارة الثانية: وتقوم بنقل الطاقة الحرارية من محطة توليد الطاقة الكهربائية إلى البيوت الزراعية وتحتوي عل مبادل حراري سطحي وأنابيب فولاذية معزولة بقطر 65 Cm تنقل 2000t/h من الماء الساخن (بدرجة حرارة ماء) الذهاب°C 86 وماء الإياب °C 46 باستطاعة حرارية $1.13\ MW_{th}$ (314 GJ/h) إلى مبادل حراري أسطواني من الطراز ذي الغلاف وحزمة الأنابيب يستعمل لتسخين مياه التدفئة العائدة للبيوت الزراعية.



الشكل (4-4) مخطط عمليات استرجاع الحرارة من مياه التكاثف ونظام نقل الطاقة الحرارية

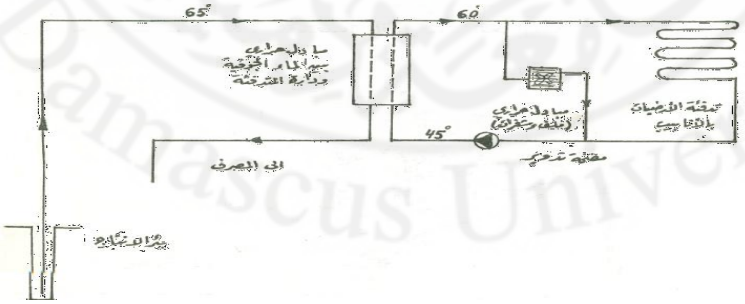
3- الدارة الثالثة: وتؤمن الماء الساخن تحت درجة حرارة °80C لتدفئة البيوت الزراعية، بواسطة أنابيب فولاذية عادية معزولة بسرعة 2 m/s وتحت ضغط 1.5 bar – 1 bar، وتقود المياه تحت درجة حرارة °40C إلى مبادل الحراري، تحتوي هذه الدارة على خزان معزول بسعة $4000m^3$ لتخزين الماء الساخن تحت درجة حرارة °80C وخزان ثان معزول أيضاً وبذات سعة التخزين للماء الراجع تحت درجة حرارة °40C، وتستعمل الطاقة الحرارية المخزونة لمجابهة طلب الذروة ولضمان الاستمرار

في تدفئة البيوت الزراعية في حال حدوث عطل أو لدى توقف منشأة توليد الطاقة الكهربائية عن العمل لسبب ما. هذه المنشأة تعطي مثالاً جيداً على الاستعمال المشترك للطاقة الحرارية الجوفية لغاية توليد الطاقة الكهربائية والاستفادة من الطاقة الحرارية للتدفئة.

2- المثال الثاني: منشأة تستعمل الطاقة الحرارية الجوفية للتدفئة

في فرنسا تتوفر مياه دافئة بدرجة حرارة C° 65-60 في منطقة باريس على عمق 2000m وقد أمكن استغلال هذه الطاقة الحرارية لغايات التدفئة. وبعد المشروع الرائد في Melun الذي وضع قيد الاستثمار عام 1970 أضيف إليه ثلاثة مشاريع مشابهة لتدفئة 13000 شقة سكنية تقع حول مدينة باريس وبينت الدراسات أن كلفة التشغيل (شاملة إطفاء الرأسمال) كانت أقل %[16-13] من كلفة التدفئة بالطرق التقليدية.

الشكل (4-5) يبين مبدأ عمل نظام تدفئة مركزية باستخدام الحرارة الجوفية، وتجدر الإشارة هنا إلى ضرورة استعمال مبادلات حرارية بين المياه الجوفية الدافئة ووسيط التدفئة، وإلى أن نظام التدفئة المستعمل هو النظام ذو درجة الحرارة المنخفضة الذي تكون فيه درجة الحرارة وسيط التدفئة بين °50 و °60.



الشكل (4-5) بعض أنظمة التدفئة باستخدام الحرارة الجوفية

الجدول (1-4) يبين الموصفات الفنية لمشروع تدفئة ضاحية قرب باريس بالطاقة الحرارية الجوفية:

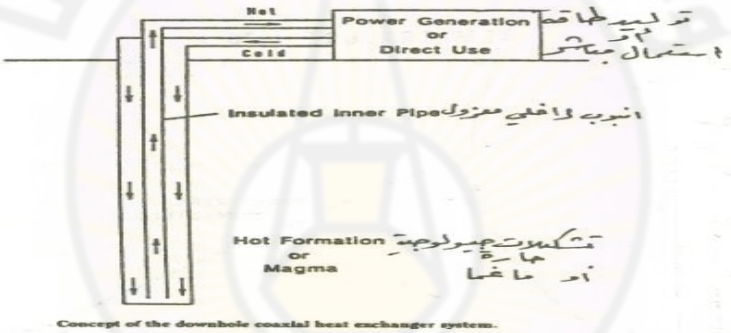
الجدول (1-4) الموصفات الفنية لمشروع تدفئة ضاحية قرب باريسة الجوفية

عدد البيوت التي تم تدفئتها بهذا المشروع	5809
غزارة المياه الجوفية الدافئة	280 m^3 /h
درجة حرارة هذه المياه	69 °C
عمق آبار السحب	1871m
عمق آبار أعادة الحقن	1952m
الضغط	9.4 bar
استطاعة المبادلين الحراريين بين مياه التدفئة و المياه الجوفية	9.6 MW
طول شبكة توزيع الحرارة	12 Km

3- المثال الثالث: نظام المبادل الحراري المحوري المركب في البئر

رأينا أن من المشاكل المتعلقة باستخدام الطاقة الجيوحرارية تتعلق في انطلاق الغازات والتي تسبب تلوث البيئة والتآكل، لذا اقترحت أنظمة عديدة للاستفادة من

الحرارة الجوفية مع تجنب نقل الملوثات إلى سطح الأرض وأهم هذه الأنظمة هي نظام المبادل الحراري المحوري المركب في البئر حيث يتم سحب الحرارة فقط من البئر. ويمكن استخدام هذا النظام الموضح في الشكل (4-6) في مجالات استخدام متعددة لتوليد الطاقة أو للاستعمال المباشر للطاقة الحرارية. وذلك ليس فقط في خزانات الحرارة الجوفية ذات الإنتاجية المنخفضة التي تولد كميات قليلة من البخار أو الماء الساخن لغايات التدفئة أو لتوليد الطاقة بل أيضاً في التشكيلات ذات درجات الحرارة العالية وبشكل خاص تلك القريبة من الصخر البركاني المنصهر Magma أو حتى من الماغما ذاتها.



الشكل (4-6) مبدأ استعمال نظام المبادل الحراري المحوري المركب في البئر

ولنظام المبادل الحراري ضمن البئر عدة مزايا:

1- تقنية استخراج الحرارة هي الأكثر فعالية بين كافة الطرق التي تستعمل البئر الوحيد.

2- مجالات استخدام هذا النظام هي واسعة.

3- نظراً إلى أننا نسحب الطاقة الحرارية فقط من البئر، فأن الماء الذي يدور في النظام يبقى نظيفاً ويمكن استعماله مباشرة لغايات متعددة.

4-5- الطاقة الجيوحرارية في سورية

أن الدراسات المتوفرة في القطر، من مسح جيولوجي ومسح جيوفيزيائي مغناطيسي هي ذات طابع محلي، ولم توجه إلى دراسة مصادر الطاقة الحرارية الجوفية بشكل مفصل، واقتصرت على التعرض إلى بعض الظواهر السطحية التي تشير إلى إمكانية توفر هذه المصادر.

وقد تم التعرف على بعض ينابيع المياه المعدنية الساخنة ذات المحتوى العالي من الأملاح ومركبات الكبريت وذلك في عدة مناطق من القطر.

وهذه الينابيع عرفت منذ القديم واستخدمت في الماضي للاستحمام أو للاستشفاء وتتراوح درجة حرارة مياه هذه الينابيع بين °25 و °49 أم محتوى الأملاح فيها فيتراوح بين 2 و 2.5 غرام في الليتر. وأشهر هذه الينابيع:

1- نبع السخنة (30°C).

2- نبع أبو رياح (55°C).

3- حمامات الشيخ عيسى (في وادي العاصي شمال جسر الشغور) (30-40°C).

4- ينابيع الحمة بالقرب من نهر اليرموك في الجنوب وعددها 5 وتتراوح درجة حرارتها حوالي 49 °C.

ولا تتوفر الدراسات والقياسات في المنطقة الهامة الواقعة على امتداد الفالق العربي – الإفريقي الكبير (منخفض الغاب – سلسلة جبال الساحلية – منخفض عفرين) لمعرفة وجود خزانات ذات صخور ساخنة قد تكون مهمة في المستقبل للاستفادة منها كمصدر للطاقة في سورية.

الفصل الخامس

طاقة المد والجزر

المد والجزر ظاهرة طبيعية يومية تحصل في جميع بحار العالم ومحيطاته، أما مصدر طاقة المد والجزر فهو قوى الجاذبية لنظام الأرض – القمر – الشمس. إذ أن حركة القمر حول الأرض بالإضافة إلى دوران الأرض حول محورها، واختلاف الخصائص الفيزيائية من حيث الحجم والوزن لكل من الأرض والقمر والشمس فان قوى الجاذبية بين الشمس والأرض تختلف عنها بين الأرض والقمر، وأن اختلاف قوى الجاذبية المؤثرة هذا يشكل العامل الأساسي في حركة المد والجزر.

إن تغير منسوب مياه البحر يومياً بفعل حركتي المد والجزر يحدث كل 12 ساعة و 24 دقيقة، ويختلف ارتفاع المد من منطقة إلى أخرى، ففي البحر الأبيض المتوسط لا يرتفع المد إلا قليلاً ولكن في بعض الخلجان يصل ارتفاع المد حتى 17 متر.

وقبل عدة قرون استخدم الإنسان مصدر طاقة المد في تشغيل الطواحين المائية وكانت الفكرة تقوم على حجز المياه حين ارتفاعها في أحواض طبيعية، حيت يتم إثناء حركة المد إغلاق البوابات لحجز المياه في الأحواض، ثم فتح بوابات موجودة على قنوات تصل بين الأحواض والطواحين لتشغيل هذه الطواحين.

وتتركز الجهود حالياً على استغلال ظاهرة المد والجزر (في الأماكن التي تتوفر فيها) لتوليد الطاقة الكهربائية. ويستند مبدأ عمل هذه المحطات على حجز المياه أثناء ارتفاع منسوب مياه البحر أثناء المد في أحواض طبيعية بحيث تبقى في مستوى أعلى من مستوى مياه البحر في حالة الجزر، والاستفادة من فاروق الارتفاع لهذه المياه في تشغيل العنفات المائية لتوليد الطاقة الكهربائية.

أن الشروط الرئيسية التي ينبغي أخذها بعين الاعتبار عند دراسة إمكانية استغلال طاقة المد والجزر هي:

1 - أن يكون هناك فارق بين منسوبي المياه وقت المد والجزر.

2 - أن تتوفر مناطق طبيعية ملائمة لتشكيل حوض مائي بحيث لا يتطلب الأمر سوى إنشاء سد (سدود) بأبعاد معقولة وكلفة قليلة.

3 - موقع المنطقة الجغرافي الذي يلعب دوراً في تحديد ما إذا كان من الملائم إنشاء محطة توليد الطاقة في هذا الموقع، مثلاً قرب هذا الموقع أو بعده عن المراكز السكانية أو الصناعية والعوامل الاقتصادية المتعلقة بنقل الطاقة الكهربائية المولدة والاستثمارات المطلوبة لذلك.

4 - أن لا يتعارض مشروع طاقة المد مع الطرق الملاحية القائمة إذ أن بناء الحواجز والسدود وإغلاقها وفتحها يؤثر على الملاحة البحرية وقد يتطلب الأمر في بعض الحالات إعادة تنظيم الملاحة في المنطقة المدروسة.

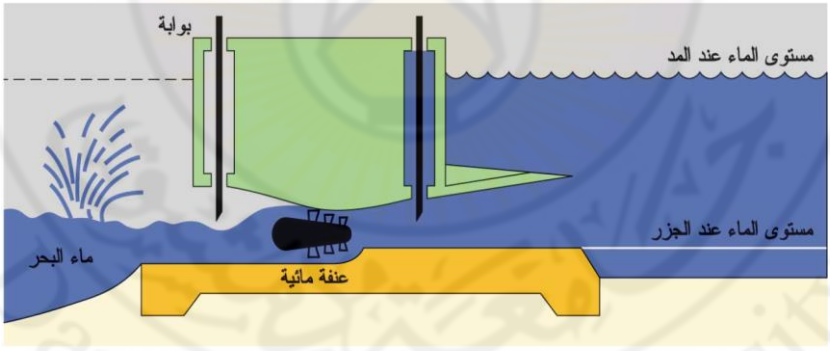
وقد يكون لبناء السدود والحواجز المائية جوانب إيجابية تتجلى في أن هذه السدود تقوم بربط أجزاء من اليابسة تسهل العبور من نقطة إلى أخرى باجتياز جسر قصير بدلاً من سلوك الطرق المحاذية للشواطئ الطويلة نسبياً فيما لو لم توجد مثل هذه الجسور.

1-5- محطات التوليد:

هناك أشكال مختلفة من محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل على حركة المد والجزر، وأهم هذه الأشكال التي تلائم موقع المحطة ونمط الاستهلاك هي:

1-المحطات وحيدة الخزان أحادية المفعول: وتتألف المحطة من حوض واحد يتم إنشاؤه بواسطة بناء سد وحاجز، ويتم تركيب محطة التوليد على هذا الحاجز على عدد من

المنافذ يتم فتحها أو إغلاقها حسب شروط العمل الشكل (5-1). أن امتلاء الحوض يتم بواسطة ارتفاع مستوى ماء البحر أثناء المد حيث تكون فتحات دخول الماء إلى الحوض مفتوحة، وعندما يصل مستوى الماء إلى أعلى منسوب له يتم إغلاق هذه الفتحات أو المنافذ، بعدئذ يأخذ مستوى ماء البحر بالانخفاض بينما يبقى مستوى ماء الخزان ثابتاً، وعندما يصبح الفرق بين منسوبي الماء في الحوض والبحر كافياً يتم توجيه مياه الحوض لتمر عبر العنفات المائية التي تأخذ بالعمل وبتوليد الطاقة الكهربائية، ويتم تشغيل العنفات المائية طالما بقي الفرق بين منسوب المياه في الحوض ومنسوب البحر ملائماً لهذا التشغيل، بعد ذلك يوقف جريان المياه من الحوض إلى البحر عبر العنفات، ويلي ذلك فترة انتظار يرتفع خلالها منسوب مياه البحر إلى مستوى أعلى من مستوى الماء في الحوض عندها يتم فتح منافذ دخول الماء ليصار إلى إملاء الحوض ثانية. وهكذا نرى أن عملية إملاء الحوض وتفريغه وبالتالي عملية توليد الطاقة الكهربائية في هذا النوع من المحطات هو ذو طبيعة متقطعة.



الشكل (5-1) المحطات وحيدة الخزان أحادية المفعول

2- المحطات وحيدة الخزان ثنائية المفعول: وهذا الطراز متطور من المحطات السابقة يتم فيها الاستفادة من حركة المياه في كلا الاتجاهين، أي توليد الطاقة الكهربائية أثناء إملاء الحوض وأثناء تفريغه، ويتطلب هذا النوع من المحطات عنفات مائية تعمل بحركة

المياه بغض النظر عن اتجاه الحركة، ويتم ذلك بتعديل اتجاه شفرات العنفات بما يلاءم مع اتجاه جريان المياه.

مبدأ عمل هذه المحطة يعتمد على ارتفاع مستوى مياه البحر حتى يبلغ مستوى أعلى من مستوى المياه في الحوض، عندئذ يتم فتح المنافذ وتدخل مياه البحر إلى الحوض عبر العنفات المائية حتى تصل المياه إلى أعلى مستوى لها عندئذ يتم أقفال المنافذ، ويتم تشغيل مضخات لرفع كميات إضافية من مياه البحر إلى الحوض لرفع مستوى المياه فيه. وتبقى المحطة في حالة انتظار حتى ينخفض مستوى ماء البحر عند الجزر عندئذ توجه مياه الحوض إلى العنفات المائية التي تقوم بتوليد الكهرباء وهكذا تستمر الدورة بحيث يتم الحصول على الطاقة الكهربائية بفعل حركة المياه في كلا الاتجاهين.

وقد تم تنفيذ عدة مشاريع مهمة للاستفادة من طاقة المد والجزر كان أهمها:

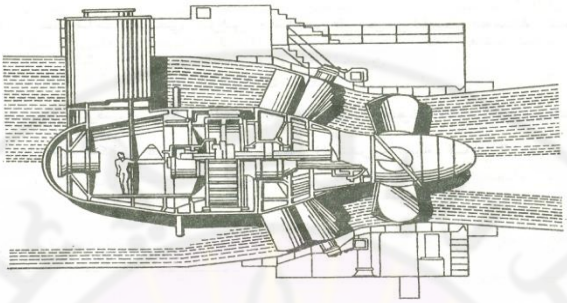
- مشروع La Rance:

أقيم هذا المشروع عند مصب نهر لارانس الذي يصب في بحر المانش شمالي فرنسا حيث يصل فرق الارتفاع بين أعلى و أخفض مستوى للمياه بفعل المد والجزر حوالي13،5m وكما هو معروف فأنه خلال 24 ساعة و50 دقيقة يحدث مدان وجزران، وأثناء المد الأعظمي تبلغ غزارة الماء التي تدخل مصب نهر لارانس $18 \times 10^3\ m^3/s$ وهي غزارة كبيرة.

صمم المشروع ليكون مزدوج الفعالية ويبلغ عرض السد الذي أنشئ 750m ويشكل خلفه بحيرة مساحتها $22\ Km^2$ بسعة $184 \times 10^6\ m^3$ واستخدام للإملاء والتفريغ 6 بوابات بعرض 15m وارتفاع 10m للواحدة.

جهز المشروع بحوالي 24 مجموعة كهربائية باستطاعة 10MWللمجموعة الواحدة (الاستطاعة الكلية للمشروع 240MW)، وصممت المجموعة على شكل آلة مائية قلوبة Reversible ضمن غلاف مغلق Capsule ذات محور أفقي (وتحتوي

ضمن الغلاف على المنوبة)، وأطلق على هذا التصميم اسم " GroupeBulbe " المجموعة على شكل كبسولة كما في الشكل (5-2).



الشكل (5-2) تصميم " GroupeBulbe " على شكل كبسولة

ويعتبر هذا التصميم تطوراً للنماذج السابقة التقليدية حيث كانت المنوبة تركب فوق العنفة الشاقولية وكانت العنفة المائية تحتاج إلى حلزون، ويتغير اتجاه الماء مرتين، ونظراً إلى أن ارتفاع السقوط هو صغير فأن أي ضياع سيؤثر على المردود. وأمكن اختصار أبعاد المنشأة وتبسيطها وبالتالي خفض كلفتها. وأهم العوائق الأساسية للاستفادة من طاقة المد والجزر هي:

1- الطاقة غير الثابتة لموجات المد خلال اليوم الواحد.

2- اهتزازات نظام المد والجزر وفق أطوار القمر وتغير ارتفاع موجة المد خلال أسبوعين وفقاً لأطوار القمر.

3- كلفة الإنشاء المرتفعة.

4- مشاكل التآكل الذي يسببها ماء البحر.

2-5- طاقة الأمواج:

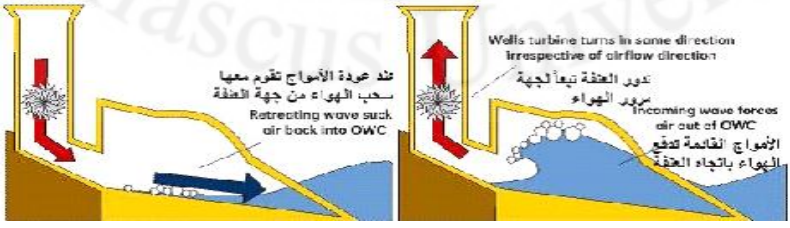
تمت الاستفادة من طاقة من أمواج البحر، وذلك بصنع معدات خاصة توضع على سطح الماء، حيث تقوم الأمواج برفعها وخفضها باستمرار. وهذا يؤدي إلى توليد حركة ميكانيكية، يمكن تحويلها إلى طاقة كهربائية تُنقل عبر أسلاك للاستفادة منها. ويمكن الاستفادة من طاقة الأمواج السطحية باستخدام عدة طرائق:

1- وحدة لتوليد الكهرباء تعوم على سطح المياه، وبسبب تحريك الأمواج لهذه الوحدة فإن هذه الحركة الميكانيكية يمكن تحويلها إلى طاقة كهربائية يستفاد منها الشكل (4-3).

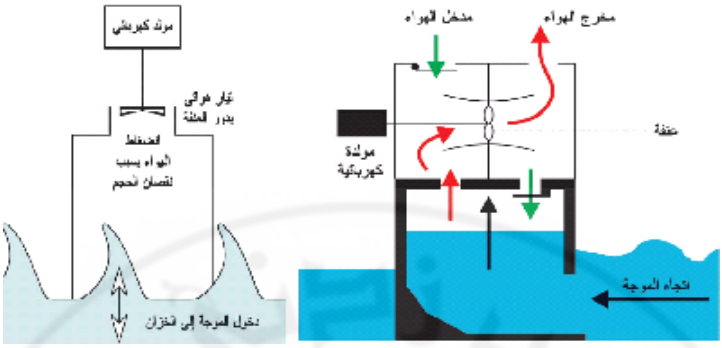


الشكل (5-3) وحدة لتوليد الكهرباء تعوم على سطح المياه

2- باستخدام عنفات تركب بشكل ثابت أمام الموجة: يعتمد هذا النظام على تحريك العنفة بوساطة تيار الهواء الذي تدفعه الموجة باتجاهها الشكل(5-4) والشكل (5-5).



الشكل(5-4) عنفة تركب بشكل ثابت أمام الموجة



الشكل (5-5) عنفة تركب بشكل ثابت فوق الموجة

الفصل السادس

تخزين الطاقــة

أن مصادر الطاقة على سطح الأرض هي متوفرة بشكل كبير وأهمها: الوقود الاحفوري، المصادر المائية، طاقة الرياح، الطاقة الشمسية، الوقود النووي وطاقة الكتلة الحية. ويتعلق أمر الاستفادة منها ليس فقط باستخراجها أو التقاطها أو بتحويلها إلى أشكال أخرى بل بنقلها وتخزينها أيضاً.

أن الطبيعة تقوم ومنذ ملايين السنين بتخزين الطاقة المستمدة من الشمس، فالفحم والبترول والغاز الطبيعي ليست سوى طاقة مخزنة على شكل وقود احفوري، فلنحاول إذن تقليد الطبيعة، ولو على مقياس أصغر، بعملية تخزين الطاقة.

فإذا ما أخذنا مثلاً موضوع الاستفادة من الطاقة الشمسية، نرى أن هذه الطاقة بطبيعتها المتقطعة وغير الثابتة تتطلب حلولاً خاصة لمشاكل تخزينها، ويكتسب موضوع تخزينها أهمية متزايدة نظراً إلى أن التوسع في استخدام الطاقة الشمسية يتوقف على إيجاد حلول هندسية اقتصادية ملائمة لتخزينها.

6-1- تخـزين الطـاقة:

يوجد أربع طرق أساسية تقنية (غير بيولوجية) لتخزين الطاقة و ذلك على شكل: طاقة حرارية، طاقة كهربائية، طاقة ميكانيكية وطاقة كيميائية.

أن الطاقة الحرارية يمكن أن تخزن على شكل حرارة محسوسة (بخار – ماء ساخن – صخور ساخنة) أو على شكل حرارة كامنة (صهر الصودا أو البوتاس أو بعض الأملاح) أو على شكل تفاعلات كيميائية عكوسة. أما الطاقة الكهربائية فتخزن عادة في المدخرات الكهربائية أو على شكل طاقة كهرطيسية، والطاقة الميكانيكية يمكن

أن تخزن على شكل طاقة حركية في الدواليب المعدلة أو على شكل طاقة كامنة في الهواء المضغوط أو بواسطة الضخ الهيدروليكي، والهيدروجين يخزن على شكل غاز مضغوط أو غاز سائل أو على شكل هيدرايد.

6-2- دراسة أنظمة تخزين الطاقة: لدى دراسة أي نظام لتخزين الطاقة ينبغي أخذ العوامل التالية بعين الاعتبار:

- شكل الطاقة في الداخل والخرج (طاقة حرارية، طاقة كهربائية، طاقة ميكانيكية).

- كمية الطاقة في الدخل والخرج (مردود المبدأ الأول للترموديناميك).

- جودة الطاقة في الدخل والخرج (مردود المبدأ الثاني للترموديناميك).

- الاستطاعة اللازمة للدخل والخرج.

- مدة دورة التخزين.

- سعة التخزين (مقدار الطاقة المخزنة في واحدة الحجم).

- كلفة التأسيس لواحدة الطاقة في الخرج.

- كلفة التأسيس لتجهيزات التخزين.

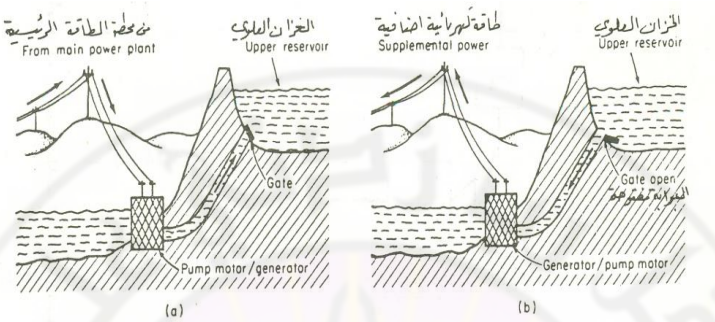
- نفقات التشغيل والصيانة لتجهيزات التخزين.

وأثناء استعراضنا لمختلف طرق تخزين الطاقة سنبين ملائمة استخدام كل طريقة لتخزين نوع معين من الطاقة مع أخذ العوامل السابقة بعين الاعتبار.

6-3– طرق تخزين الطاقة

1– التخزين بالضخ الهيدروليكي: استعملت طريقة تخزين الطاقة بالضخ منذ أمد بعيد، وفي هذه الطريقة المعروفة يتم إملاء خزان ماء طبيعي أو اصطناعي أثناء ساعات

انخفاض الطلب على الطاقة الكهربائية، ثم يستعمل الماء المخزن العلوي لتوليد الطاقة الكهربائية بواسطة عنفة مائية خلال ساعات الذروة الشكل (6-1).



الشكل (6-1) نظام تخزين طاقة بالضخ

a - يستمد التيار من محطة توليد حمل الأساس وتستعمل المولدة لتشغيل المضخة لإملاء الخزان العلوي.

b - عند الحاجة إلى الطاقة في ساعات الذروة، نفتح البوابة ويشغل الماء العنفة والموّلدة.

وتتجه الدراسات إلى تحقيق الضخ الهيدروليكي الجوفي (تحت الأرض) باستعمال خزانين أرضيين في منسوبين مختلفين، أن طريقة تخزين الطاقة بالضخ تناسب الاستطاعات الكبيرة وتكتسب أهمية خاصة في اقتصاد توليد الطاقة.

2– مدخرات البخار: بشكل مشابه للتخزين المائي استعملت مدخرات البخار المضغوط مع العنفات البخارية لتخزين الطاقة الكامنة للبخار. وهذا النوع من تخزين الطاقة على شكل بخار ماء مضغوط ضمن خزانات فولاذية معروف منذ عام 1920. ويوجد في برلين مدخرة بخار بسعة تخزين 670 MWh تعمل منذ عام 1929.

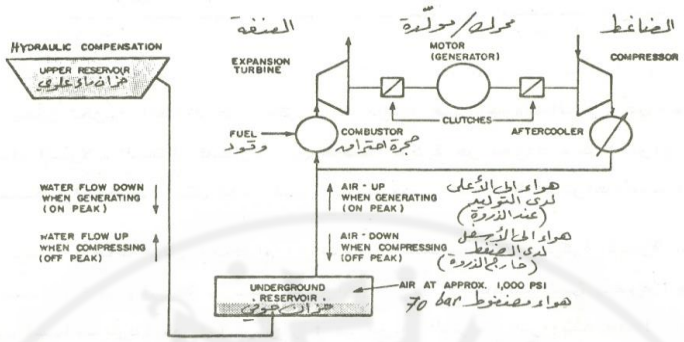
أن المشاريع الحالية لاستخدام مدخرات البخار ترتبط مع تطور إنشاء المحطات البخارية كبيرة الاستطاعة، وذلك لتمرير قسم من البخار المولد، عند انخفاض الحمل على العنفة البخارية، إلى عدد من الخزانات تقوم بتخزين هذا البخار ليصار إلى استعماله

في تشغيل عنفة أخرى عند زيادة الطلب على المحطة. وقد أمكن تعيين الضغوط المناسبة لتخزين البخار لمدة ساعتين وسعة الخزانات اللازمة لهذه الغاية وذلك كتابع لاستطاعة المحطة ولتغيير الحمل على المحطة. وتبين أنه يمكن استخدام هذه الطريقة في تخزين الطاقة في المحطات الكهرشمسية عند استعمال البخار كوسيط عمل في الدارة.

3– تخزين الطاقة بالهواء المضغوط: أن فكرة تخزين الطاقة على شكل هواء مضغوط هي بسيطة وقديمة في الوقت ذاته، وهي متشابهة لاستخدام طريقة الضخ الهيدروليكي، حيث نقوم بتخزين الهواء المضغوط المولّد أثناء توفر الطاقة، ويستعمل هذا الهواء المضغوط في دارة عنفة غازية لتوليد الطاقة الكهربائية.

ومن المعروف أنه في دارة العنفة الغازية يتم استهلاك ثلثي الاستطاعة الكلية للعنفة من قبل الضاغط لضغط الهواء وأقل من ثلث الاستطاعة من قبل المنوبة، أذن وعند انخفاض الحمل الكهربائي يمكن تشغيل المولدة كمحرك موصول بالضاغط لتوليد الهواء المضغوط الذي يخزن في خزانات معدنية أو في خزانات أرضية كبيرة السعة (كهوف أرضية – مناجم ملح قديمة)، ويتم ذلك أثناء ساعات انخفاض الطلب على الطاقة الكهربائية، وفي ساعات الذروة يتم أعداد العنفة الغازية بالهواء المضغوط المخزن، مع حرق الكمية اللازمة من الوقود في حجرة الاحتراق. وقد صممت شركة BBC في ألمانيا محطة توليد لعنفة غازية باستطاعة 280MW مع استخدام كهف أرضي لتخزين الهواء المضغوط، وتم الحصول على نتائج مرضية. كما صنعت في السويد وحدة تجريبية باستطاعة 100MW تقوم بتخزين الهواء المضغوط بسعة تخزين تكفي لمدة تشغيل قدرها 4 ساعات.

وتتم في الولايات المتحدة الدراسات العائدة لنظام توليد بعنفة غازية يستعمل التخزين في خزان جوفي من الصخر الصلد مع تعويض الضغط بواسطة خزان مائي علوي الشكل (6-2).



الشكل (6-2) عنفة غازية يستعمل التخزين في خزان جوفي من الصخر الصلد

وتتجه الأبحاث الحالية إلى دراسة المواضيع التالية:

- اختيار كهوف وتجاويف أرضية مناسبة لتخزين الهواء المضغوط بسعات كبيرة.
- دراسة أنظمة التحكم بضغط الهواء أثناء تخزينه وأثناء سحبه من الخزان.
- ضياعات التسرب للهواء المضغوط.
- الدراسات الاقتصادية المتعلقة بكلفة الإنشاء وكلفة الاستثمار.

4- تخزين الطاقة بواسطة الدولاب المعدل(على شكل طاقة حركية): يمكن تخزين الطاقة على شكل طاقة حركية في الدولاب المعدل، وأن استعمال الدولاب المعدل كجهاز تخزين طاقة حركية هو معروف منذ اختراع الآلة المكبسية، واستخدمت مثل هذه الدواليب لتخزين الطاقة لفترات قصيرة.

وعند الحاجة إلى استخدام دولاب معدل لتخزين طاقة حركية كبيرة سنحتاج إلى تكبير القطر وزيادة سرعة الدوران، إلا أن الاجهادات التي يتعرض لها الدولاب تتناسب طرداً مع القطر ومع مربع السرعة الزاويّة؛ وهذا يحد من زيادة سرعة الدوران لتخزين كمية كبيرة من الطاقة، بالإضافة إلى إلا أن قسماً من هذه الطاقة المخزنة سيضيع بسبب

الاحتكاك (ضياعات في مساند المحور وضياعات احتكاك مع الهواء). حيث يمكن التغلب على هذه الصعوبات بالأمور التالية:

1- استعمال مواد صنع متطورة تتحمل الاجهادات العالية (مواد راتنجية أو من البوليمر).

2- تدوير الدولاب المعدل في الفراغ باستخدام محاور تعليق مغناطيسية.

وأمكن صنع دواليب معدلة تستطيع تخزين الطاقة لعدة ساعات يمكن الاستفادة منها لتوليد الكهرباء في فترة الذروة ومن أجل استطاعات صغيرة.

5- تخزين الطاقة الكهربائية بواسطة المدخرات: وهذه الطريقة هي من أقدم الطرق المستعملة لتخزين الطاقة الكهربائية، وتستعمل حالياً وعلى نطاق واسع البطاريات الكيمائية. ولهذه الطريقة موثوقية عالية، و أعطالها قليلة نسبياً، وهي رخيصة الكلفة من أجل سعات التخزين الصغيرة. ويجري حالياً تطوير أنواع جديدة من البطاريات مثل بطاريات (الكادميوم / النيكل) و(الفضة / التوتياء) و(الليثيوم / كلورايد الفضة)، ويبدو لنا أن التقدم في هذا المجال هو بطيء بالإضافة إلى الكلفة المرتفعة للأنواع الجديدة من البطاريات. حيث تبقى المدخرات الرصاصية المصممة لسعات التخزين الكبيرة أرخص الأنواع المتوفرة حالياً.

كذلك تجري دراسات لتطوير مدخرات ذات درجات الحرارة العالية للحصول على كثافة طاقة عالية، وفيها يكون الالكتروليت في حالة منصهرة، وأهم أنواعها: بطارية الصوديوم – الكبريت التي تعمل تحت درجة حرارة °350 وبطارية الليثيوم – ألمنيوم / سلفايد الحديد التي تعمل تحت درجة حرارة °425، حيث جرى تطويرها في مخابر أرغون الوطنية في الولايات المتحدة .

أن الكثافة العالية لطاقة المدخرة في مثل هذه البطاريات يمكن أن تكون جذابة لاستعمالها في السيارات الكهربائية، إلا أننا في الاستخدامات الأخرى لتخزين الطاقة الكهربائية نهتم بعمر وكلفة البطارية أكثر من اهتمامنا بكثافة طاقة المدخرة.

6- تخزين الطاقة الكهرطيسية: وذلك باستعمال مواد فائقة التوصيل تحت درجات الحرارة المنخفضة، وهذه الطريقة ذات كلفة تأسيس مرتفعة جداً ومازالت في مراحل التجارب المخبرية.

7- تخزين الطاقة على شكل هيدروجين: أن المنشآت المائية التي تستعمل الضخ لتخزين الطاقة هي مرتفعة الكلفة، لذلك اتجهت الدراسات إلى استعمال الطاقة الكهربائية في فترات انخفاض الطلب (الطاقة خارج أوقات الذروة لتوليد الهيدروجين وتخزينه على شكل سائل أو غاز مضغوط ثم لاستعماله في توليد الكهرباء أثناء فترة الذروة. وعلى نطاق تجريبي يتم الحصول على الهيدروجين بالتحليل الكهربائي ثم يعاد استعماله بحرقه أما في خلية وقود أو عنفة غازية عادية.

وقد شمل برنامج الأبحاث في مركز بروكهافن الوطني في الولايات المتحدة صنع وحدة تجريبية باستطاعة 26MW لتوليد الهيدروجين وتخزينه ثم إعادة استعماله لتوليد الطاقة الكهربائية، ونلاحظ انه مع ازدياد عدد المحطات النووية ذات الاستطاعات الكبيرة ونفقات التشغيل المنخفضة نسبياً هناك اتجاه لتشغيل هذه المحطات الحديثة كمحطات حمل أساس، بحيث يمكن استعمال الطاقة الكهربائية الفائضة في ساعات انخفاض الحمل لتخزين الطاقة على شكل هيدروجين، ويمكن أن يمثل هذا الحل حلاً اقتصادياً في المستقبل.

ويبدو لنا الهيدروجين في حالته السائلة أو الغازية سيكون أكثر أنواع الوقود الاصطناعي ملائمة للاستعمال في تخزين الطاقة، وسيلعب دوراً متزايد الأهمية في اقتصاد توليد وتوزيع الطاقة في المستقبل

6-4- تخزين الطاقة الحرارية: أن تخزين الطاقة على شكل طاقة حرارية هو أهم الحلول عند تخزين الطاقة الشمسية. ونظراً إلى أن استعمال أنظمة الخلايا الشمسية لتوليد الطاقة الكهربائية حتى الآن محدود، لذلك فأن الطرق المستعملة للاستفادة من الطاقة

الشمسية هي: اللواقط الشمسية المسطحة أو ذات التركيز المحرقي ومراكز توليد الطاقة الكهرشمسية.

ولا شك أن تخزين الطاقة الشمسية على شكل طاقة حرارية يمثل الحل المباشر والأبسط، ويختصر مشاكل تحويل هذه الطاقة إلى أنواع أخرى من الطاقة، كما يتجنب المواضيع المتعلقة بمردود هذا التحويل. ويتم تخزين الطاقة الحرارية على بشكلين: على شكل حرارة محسوسة وعلى شكل حرارة كامنة. وأهم مزايا تخزين الطاقة الحرارية على شكل حرارة كامنة هي:

1- أن تقديم الطاقة إلى الوسيط الذي يختزن الحرارة، ثم سحب هذه الحرارة منه يتمان تحت ذات مستوى درجات الحرارة تقريباً، وهذا يسمح بالحصول على مردود ترموديناميكي جيد وسعة توليد ثابتة.

2- أن سعة التخزين في واحدة الوزن (أو في واحدة الحجم) هي اكبر بكثير.

3- تحتاج هذه الطريقة إلى وسيطين الأول للتخزين والثاني كوسيط عمل، ويتطلب النظام استعمال مبادل حراري بين الوسيطين.

4- أن تخزين الحرارة بواسطة الماء الساخن هو أبسط الطرق المستعملة لتخزين الطاقة الحرارية، ونميز هنا بين نوعين من التخزين:

- التخزين بسعة صغيرة وهو المستعمل للتخزين اليومي.

- التخزين بسعات كبيرة وهو المستعمل للتخزين الموسمي.

وإذا كان موضوع تخزين الحرارة بسعات صغيرة يمكن اعتباره محلولاً بشكل مرض من قبل الصناعة، فأن موضوع التخزين الموسمي ما زال قيد البحث والتجربة من قبل الشركات و الهيئات الرسمية والجامعات.

ونكتفي بالإشارة إلى أن مشاريع عديدة في الولايات المتحدة وألمانيا الاتحادية والنمسا عائدة لتخزين الطاقة الشمسية على شكل طاقة حرارية لفترات طويلة هي قيد التجربة، منها مثلاً استعمال البحيرات بعد تجهيزها بطبقة عازلة في القعر وبغطاء شفاف عائم على السطح (لإنقاص الضياعات الحرارية ولمنع تلوث الماء)، وذلك لتخزين الحرارة في ماء البحيرة لفترة طويلة بغية استعمالها في التجمعات السكنية.

ومن هذه المشاريع أيضاً استعمال البحيرات المسماة البحيرات الشمسية الطبيعية أو الاصطناعية ذات التدرج الشاقولي لتركيز الملاح لتخزين الطاقة الشمسية على شكل طاقة حرارية. ويمكن أن نذكر أيضاً استعمال أحواض السباحة لتخزين الطاقة الحرارية اللازمة لمدة أسبوع أو أكثر لغايات التدفئة.

6-4-1– المدخرات الحرارية

أن العوامل التي تحدد اختيار نوع معين من المدخرات الحرارية المناسبة لوجهة استعمال معنية هي: مستوى درجات الحرارة، سعة التخزين، عامل التوصيل الحراري، الاستقرار الحراري، التآكل، التبادل الحراري، العزل الحراري وكلفة وسيط التخزين.

1 - مستوى درجات الحرارة: وهو من أهم العوامل في اختيار المدخرة الحرارية المناسبة، ويتعلق هذا المستوى الحراري للمنبع الذي نملكه من جهة وبدارة التحويل وبأشكال الطاقة اللاحقة والمستوى الحراري الذي نرغب في الحصول عليه من جهة أخرى. ونميز بين 4 مستويات لدرجات الحرارة: مستوى درجات الحرارة المنخفضة، المعتدلة، المرتفع والمرتفع جداً.

2 - سعة التخزين الحراري: تتعلق سعة التخزين بالصفات الحرارية وبكميته، وأهم الصفات الفيزيائية لمواد التخزين الحراري فهي: الحرارة النوعية، حرارة الانصهار، عامل التوصيل الحراري، تغيرات الحجم أثناء تغير الحالة، عامل التمدد الحجمي، الاستقرار الحراري وضغط البخار تحت درجات الحرارة المعتبرة.

في حين أن أهم الصفات الهندسية لهذه العوامل المواد هي: الكثافة، اللزوجة تحت درجة الحرارة المعتبرة، التآكل وخطر حدوث حريق أو انفجار.

كذلك ينبغي أن تؤخذ الضياعات الحرارية عبر السطوح الخارجية الحرارية بعين الاعتبار، ويفضل زيادة سعة التخزين المحسوبة نظرياً بمقدار 30%.

3 - عامل التوصيل الحراري: من الناحية العملية ينبغي أن يكون عامل التوصيل الحراري لوسيط التخزين جيداً لكي تتم عملية التبادل الحراري بين وسيط التخزين ووسيط العمل بسرعة وعبر سطح تبادل حراري صغير وبحيث يتم استخدام جيد لحجم التخزين بكامله. فالأملاح لها عامل توصيل حراري منخفض في حين أن المعادن تتمتع بعامل توصيل حراري مرتفع.

4 - الاستقرار الحراري: أن المواد المختارة للمدخرات الحرارية ينبغي أن تمتع بالاستقرار الحراري في مجالات درجات حرارة الاستعمال وأن لا يصيبها أي تفكك كيميائي أو تغير في صفاتها الفيزيائية عند استعمالها لمدة تؤخذ عادة 20 سنة.

5 - التآكل: وهو من أهم العوامل في اختيار وسيط التخزين الحراري، وقد لا يلعب دوراً هاماً تحت درجات الحرارة المنخفضة، حيث أن استعمال الماء أو الأملاح المائية أو البخار لهذه الغاية لا ترافقه صعوبات متأتية من التآكل، إلا أنه في مجال درجات الحرارة 300-500C° تنتج معظم المشاكل بسبب التآكل. أن التآكل هو الذي يحدد عمر المدخرات الحرارية، ويسبب ارتفاع كلفتها مازالت دراسته تحتاج إلى أبحاث كثيرة.

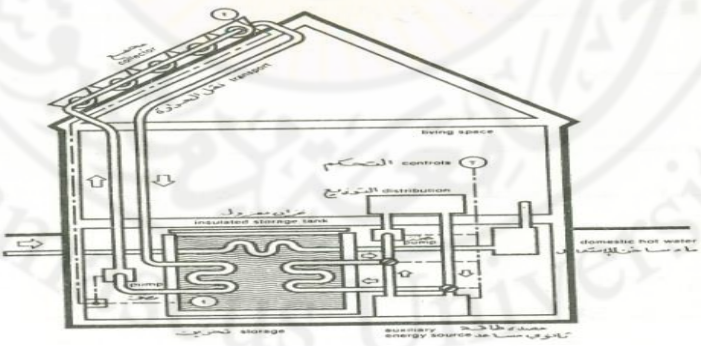
6 - التبادل الحراري: أن التبادل الحراري أثناء تخزين الحرارة و أثناء سحبها ينبغي أن يتم بأسرع ما يمكن وبحيث يتم هذا التخزين أو السحب بغزارة معينة. فمثلاً يمكن أن يكون لبعض الأجسام ذات الحرارة النوعية العالية أو ذات حرارة الانصهار المرتفعة عامل توصيل حراري منخفض، وهذا يعني أننا نحتاج إلى سطح تبادل حراري أكبر في هذه الحالة، مما يزيد في الكلفة ومن احتمالات حدوث التآكل.

7 - العزل الحراري: أن تخزين الحرارة ضمن مادة معينة وتحت درجة حرارة معينة يتطلب عزل المادة المخزونة للحرارة بشكل فعال وبأقل كلفة، حيث أن عزل المدخرة الحرارية ينبغي أن تؤخذ بعين الاعتبار عند أخذ مستوى درجة حرارة التخزين.

8 - كلفة وسيط التخزين: عند تخزين الحرارة على شكل حرارة محسوسة تجرى مقارنة المقادير التالية للمواد المتوفرة وهي: من واحدة الوزن ($/ Kg)، الكثافة (Kg /$m^3$)، الحرارة النوعية، عامل التوصيل الحراري (W / m °C)، السعة الحرارية (MJ / m^3 . °C)، كلفة واحدة السعة (cost / C_p). بحيث تختار المادة التي تحقق الشروط الحرارية المطلوبة مع أقل كلفة لواحدة السعة الحرارية.

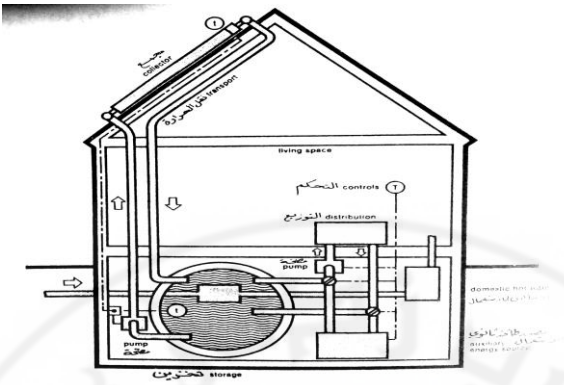
6-4-2– تخزين الطاقة الحرارية تحت درجات الحرارة المنخفضة:

1 - بواسطة الماء الساخن: أن تخزين الحرارة بواسطة الماء الساخن هو أبسط الطرق المستعملة لتخزين الطاقة الحرارية، وهذه الطريقة الحرارية مستعملة منذ سنوات الشكل(6-3) و الشكل(6-4) في عديد من البلدان لغايات التدفئة وتحضير الماء الساخن وتخزينه.



الشكل(6-3) نظام تخزين الطاقة الحرارية بواسطة الماء الساخن

(وسيط التخزين مستقل عن الوسيط الناقل للحرارة)



الشكل(6-4)) نظام تخزين الطاقة الحرارية بواسطة الماء الساخن

(وسيط التخزين هوالوسيط الناقل للحرارة)

وتتجه الدراسات إلى زيادة سعات التخزين واستعمال حجوم كبيرة من الماء الساخن تخزن ضمن كهوف خاصة (طبيعية أو اصطناعية) لتخزين الحرارة لفترات تصل إلى عدة أشهر.

2 - بواسطة الأملاح المنصهرة لتخزين الحرارة: أن تخزين الحرارة في الماء على شكل حرارة محسومة سيؤدي إلى استعمال حجوم كبيرة، لذلك فأن استعمال المدخرات الحرارية التي تعتمد الحرارة الكامنة للانصهار أو حرارة التفاعل يمكن أن يسمح باستعمال حجوم أصغر لتخزين ذات كمية الحرارة.

أن انصهار الأملاح المائية يرافقه تفكك أيوني وتجفيف وتغيير في الحالة، لذلك يمكن تخزين كمية أكبر من الحرارة في واحدة الحجم، ويؤدي ذلك أيضاً إلى أن تكلفة العزل ستكون أقل. أن حجم الأملاح اللازمة لتخزين ذات كمية الحرارة سيكون أقل بمقدار 3 إلى 10 مرات من حجم الماء اللازم لهذه الغاية حسب نوع الملح المستعمل. وأهم الأملاح التي تناسب استعمالات تخزين الطاقة الحرارية هي: سلفات الصوديوم المائية التي تنصهر تحت 32 °C وتخزن 100 Wh/L، فوسفات الصوديوم المائية التي

تنصهر تحت 35°C وتخزن 120 Wh/L وكبريتات الصوديوم المائية التي تنصهر تحت 48 °C وتخزن Wh/L . وثمن هذه الأملاح زهيد مما يسمح بتحقيق سعات تخزين كبيرة.

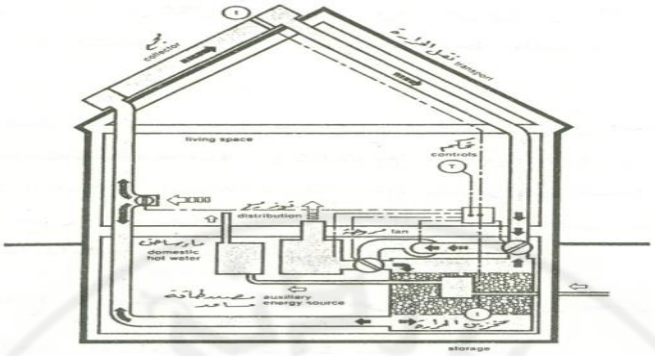
أن التجارب التي تمت في جامعات الولايات المتحدة على استعمال الأملاح المنصهرة منذ منتصف الستينات أدت إلى بناء الشمسي الشهير Solarone في جامعة Delaware عام 1973 حيث أمكن تخزين 235 MWh من الطاقة الحرارية تحت درجة الحرارة 50 °C في 4 أطنان من الملح $Na_2S_2O_3$. $5H_2O$ و 41MWh من الطاقة الحرارية تحت درجة الحرارة 30 °C في 7.0 طن من الملح Na_2SO_4 .$10H_2O$ كما نفذت تصاميم مشابهة في أقطار مختلفة. ولكن أهم الصعوبات التي رافقت استعمال الأملاح المنصهرة تحت درجات الحرارة منخفضة هي:

- التآكل وأمكن التغلب عليه باستعمال الأملاح على شكل كرات مغلفة بغلاف رقيق من البلاستيك.

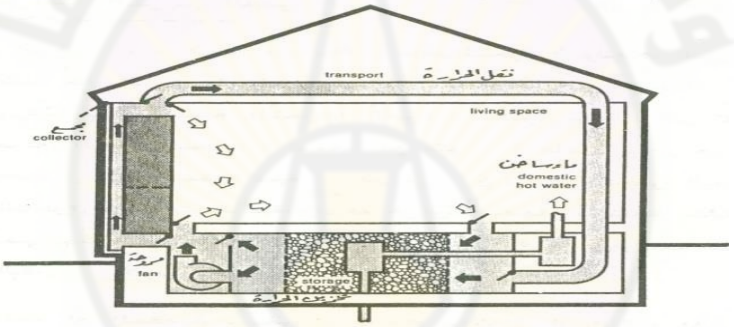
- التأخر في أعادة التبلور.

3 - بواسطة الأجسام الصلبة (كمدخرات حرارية تحت درجات حرارة منخفضة): هذه الطريقة في التخزين معروفة وتستعمل لتخزين الحرارة لمدة قصيرة، وهي تناسب تجهيزات التدفئة التي تستعمل الهواء كوسيط ناقل للحرارة. وأهم هذه الأجسام هي: البتون، الصخور، البحص وحديد الصب قوالب المغنيزيا الشكل (6-5) والشكل (6-6)، وتجري حالياً دراسات لتخزين الطاقة الحرارية في حجوم كبيرة من الصخور للتخزين الموسمي.

6-4-3- تخزين الحرارة تحت درجات حرارة متوسطة:



الشكل (6-5) نظام تخزين الحرارة المستمدة من اللواقط الشمسية بواسطة الصخور



الشكل (6-6) تخزين الحرارة بواسطة الصخور

ونعني بهذه التسمية تخزين الحرارة أعلى من 100°C وفي مجال يمتد حتى 500°C وبشكل خاص تحت درجة حرارة 300°C، هذا المحتوى يتجاوز مجال اللواقط الشمسية التي لاتتجاوز درجة الحرارة فيها عمليا90°C.

أن مجال استعمال هذا المستوى من درجات الحرارة هو المحطات الشمسية لتوليد الكهرباء باستطاعات صغيرة، ولا نتوقع الحصول على مردود ترموديناميكي يزيد عن 25%، أن مثل هذه المحطات يمكن أن ينتشر في البلدان النامية ذات الإشعاع الشمسي الكبير والتجمعات السكانية المنعزلة التي تملك بعض الصناعات الخفيفة ومن

أجل استطاعات بين 1MW و5MW. أن تخزين الطاقة في مستوى درجات الحرارة المذكور يمكن أن يتم:

1 - بواسطة الماء الساخن المضغوط.

2 - بواسطة الموائع العضوية: التي هي في الوقت ذاته الوسيط الناقل للحرارة، ولهذه الطريقة ميزة خاصة إذ أننا نصل إلى درجة الحرارة ° 280 - °340 بدون ضغط المائع أو تحت ضغط منخفض، وهذا يجعل عملية التخزين الحراري أكثر بساطة وأقل كلفة.

ونظراً إلى أن المائع الناقل للحرارة ينبغي أن يكون ذو عامل توصيل حراري مرتفع ولزوجة منخفضة ويتمتع بصفات ضخ جيدة. في حين أن مواد الادخار الحراري ينبغي أن تكون ذات حرارة نوعية عالية ودرجة حرارة انصهار مرتفعة، لذلك فأن الموائع العضوية التي يمكن استعمالها كوسيط ناقل للحرارة هي غير مناسبة للاستعمال في تخزين الحرارة إلا من أجل السعات الصغيرة.

هذه الموائع العضوية ينبغي أن تتمتع بالاستقرار الكيميائي وانخفاض الكلفة، وأن تكون غير قابلة للحريق وأهم الأنواع المتوفرة منها هي: Caloria، Caliague، Gilotherm و Dowtherm، التي يمكن أن تستعمل أيضاً لتخزين الحرارة لأمد قصير.

3 - بواسطة الأجسام الصلبة: بغية الاستفادة من الصفات الجيدة للموائع الناقلة للحرارة اقترحت أنظمة مزدوجة تستعمل المائع العضوي أو الماء المضغوط كوسيط ناقل للحرارة والأجسام الصلبة والمواد النارية (على شكل حصى أو بلورات أو قرميد) كوسيط مخزن للحرارة.

وقد أجرت شركات عديدة ومنذ عدة سنوات تجارب على هذه الأنظمة المزدوجة، نذكر منها تجارب شركة Kocketdyne في لوس أنجلوس حيث تم استعمال مائع عضوي هو Caloria HT 43 ومزيج من الصخور والبحص. حيث أمكن تخزين

5MWh من الطاقة الحرارية باستعمال $500\ m^3$ من الزيت تحت درجة حرارة 300 °C و $2500\ m^3$ من الصخور، وقد تبين أن كلفة التخزين بهذه الطريقة هي أقل منها بالطرق الأخرى.

4 - بواسطة المدخرات الحرارية على شكل حرارة كامنة: أن التخزين في مستوى درجات الحرارة المتوسطة يمكن أن يتم على شكل حرارة كامنة باستعمال الصودا أو البوتاس التي تمثل مواد رخيصة وسهلة الانصهار. وتتميز الصودا بشكل خاص بالصفات التالية: سعة تخزين حرارية عالية تحت درجة الحرارة 319 °C، حرارة نوعية مرتفعة نسبياً 0،52، عامل توصيل حراري جيد، استقرار كيميائي جيد وتوفرها بكميات كبيرة وبسعر منخفض.

أن مشكلة التآكل الذي يسببه استعمال الصودا أو البوتاس في المدخرات الحرارية والتي كانت تشكل في السنوات الماضية عقبة رئيسية تعتبر اليوم محلولة مع التطور التقني. وتتوفر في الولايات المتحدة مدخرات حرارية لتخزين الحرارة حتى درجة حرارة 500°C تكفلها الشركات الصانعة لمدة عشرين عاماً.

أن معدات التخزين الحراري التي تستعمل الصودا أو البوتاس والتي تنتج اليوم على نطاق صناعي كانت قد دخلت مرحلة الاستعمال منذ الخمسينيات حيث استعملت لتخزين الطاقة الحرارية لغايات التدفئة بالهواء الساخن مستفيدة من التعرفة المنخفضة للطاقة الكهربائية في ساعات انخفاض الطلب عليها ليلاً.

6-4-4- تخزين الحرارة تحت درجات الحرارة العالية

ويعني ذلك تخزين الحرارة تحت درجات حرارة أعلى من 500°C وهذا يقابل استعمال مولدات البخار ذات خواص الأداء العالية وكذلك استعمال مراجل الصوديوم. أن مجال درجات الحرارة هذا سيكون في المستقبل القريب مجال تشغيل مراجل المحطات الكهرشمسية بغية الحصول على مردود عال. ولا يمكن التفكير باستخدام الموائع

العضوية، حيث أن استعمالها هو محصور بدرجة حرارة قصوى قدرها 325°C لذلك ينبغي التفكير باستخدام موائع أخرى هي أقل استعمالاً حالياً أو أنها غير مألوفة الاستعمال في الميدان الصناعي. وتتجه الأبحاث حالياً إلى استخدام المعادن السائلة والأملاح القابلة للانصهار لهذه الغاية.

1 - المعادن المنصهرة: أن المعادن التي يمكن التفكير باستعمالها ينبغي أن تكون في الحالة السائلة بين درجات الحرارة 800°C- 400، أن لا تكون سامة، أن لا تكون مرتفعة الثمن وأن لا يكون ضغط بخارها عالياً. ويبين الجدول (6-1) أهم المعادن التي يمكن التفكير باستعمالها.

الجدول (6-1) المعادن المستخدمة في تخزين الحرارة تحت درجات الحرارة العالية

المعدن	ألمنيوم	باريوم	مغنسيوم	توتياء	قصدير	صوديوم	رصاص
درجة حرارة الانصهار	658°	710°	657°	419°	231°	98°	327°
درجة حرارة الغليان	2500°	1630°	1102°	906°	2430°	883°	1750°

نرى من الجدول أنه ينبغي استبعاد الرصاص والزئبق بسبب السمية، وأيضاً استبعاد التوتياء بسبب درجة الغليان المنخفضة وضغط بخاره المرتفع، كذلك تبين أن معادن الصوديوم والقصدير يمكن أن تستخدم كموائع ناقلة للحرارة وليس كأحجام مدّخرة للحرارة. وهكذا لا يبقى لدينا سوى الألمنيوم المنصهر وخلائطه (وأهمها Mg Al) و الصوديوم كوسيط تخزين في مجال درجات الحرارة العالية.

2 - الأملاح المنصهرة: في المستقبل القريب سيكون موضوع تخزين الحرارة تحت درجات حرارة مساوية أو أعلى من 500°C محصوراً باستعمال الأملاح المنصهرة، والميزة الرئيسية لهذه المواد أنه يمكن صنعها حسب الطلب كتابع لدرجة حرارة الاستعمال المطلوبة.

ويتوفر لدينا حالياً عدد كبير من الأملاح تتراوح نقطة انصهارها بين 400°C و 700°C، حيث أنجز حتى الآن العديد من الأبحاث النظرية التجريبية لتحديد الصفات الرئيسية لهذه المواد، كما قامت شركات عالمية عديدة بالاستناد إلى نتائج الأبحاث المخبرية بتصنيع تجهيزات تجريبية لتخزين الحرارة بواسطة الأملاح المنصهرة وذلك من أجل:

1- تعيين أداء هذه المدخرات الحرارية.

2- تطوير الإضافات المقاومة للتآكل اللازمة عند استعمال هذه الأملاح.

3- تصميم المبادلات الحرارية المناسبة التي تستعمل الحرارة والمدخرة.