

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم علوم المادة



مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر اكايمي

فرع: فيزياء

تخصص: الفيزياء الطاقوية وطاقات متجددة

من اعداد الطالبات : فراح هاجر , ميهوبي خولة

الموضوع

المركزات الشمسية وأنظمة تخزين الطاقة الحرارية

نوقشت يوم : 2018/06/07

امام لجنة المناقشة المكونة من:

مؤظرا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أ. سوداني محمد البار
رئيسا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أ. بالحاج محمد مصطفى
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أ. بوغان رابح

السنة الجامعية: 2018/2017

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم علوم المادة



مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر اكايمي

فرع: فيزياء

تخصص: الفيزياء الطاقوية وطاقات متجددة

من اعداد الطالبات : فراح هاجر , ميهوبي خولة

الموضوع

المركزات الشمسية وأنظمة تخزين الطاقة الحرارية

نوقشت يوم : 2018/06/07

امام لجنة المناقشة المكونة من:

مؤظرا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أ. سوداني محمد البار
رئيسا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أ. بالحاج محمد مصطفى
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أ. بوغان رابح

السنة الجامعية: 2018/2017

الإهداء

إلى من جرع كأس فارغاً ليستقي قطرة حبه
على من حلقه أنامله ليقدّم لنا لحظة سعادة
إلى من حصد الأشواق عن دربي ليهد لي طريق
العلم

إلى القلب الكبير **والدي العزيز**

إلى من أرختني الحب والحنان

إلى رمز الحب ولبس الشفاء

إلى القلب الناصع والبياض **والدتي الحبيبة**

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البريئة

إلى ربحان حياتي **إخوتي**

الآن تفتح الأشعة وترفع المرماة لتطلق السفينة

في عرض بحر واسع مظلم وهو بحر الحياة وفي

هذه الظلمة لا يضيء إلا قنديل الذكريات ذكريات

الأخوة البعيدة إلى الذين أحببتهم واحبوني

اصدقائي

هاجر

الإهداء

يا من أحمل أسماك بكل فخر يا من أعطيتني القوة وإسرار يا
من يرتعش قلبي لرؤيتك

يا أبي العزيز.

إلى حكمتي.....وعلمي

إلى أدبي.....وطمي

إلى طريق.....المستقيم

إلى ينبوع الصبر والتفائل والأمل

إلى كل من في الوجود بعد الله ورسوله **أمي الغالية.**

إلى سدي وقوتي و ملاذي بعد الله

إلى من أثروني على أنفسهم

إلى من علموني علم الحياة

إلى من أظفروا لي ما هو أجمل من الحياة **إخوتي.**

إلى من كانوا ملاذي وملجئي

إلى من تذوقتهم معهم أجمل اللحظات

إلى من سئقتهم وأتمنى أن يفتقدوني

إلى من جعلهم الله إخوتي بالله.....ومن أحببتهم

بالله طلاب قسم الفيزياء.

إلى من يجمع سعادتني وحزني

إلى من لو أعرفهم.....ولن يعرفوني

إلى من أتمنى أن أذكرهم.....إذا ذكروني

إلى من أتمنى أن تبقى صورهم.....في عيوني.

خولة

شكر و عرفان

شكر والحمد لله الذي وفقنا وأعاننا على إتمام هذا العمل أولاً وأخيراً
واجيبين من المولى عز وجل أن يجعل هذا العمل فيه نفعاً للعباد.
نتقدم بأخلص عبارات الشكر وأسمى عبارات العرفان و الامتنان إلى
الأستاذ المشرفه سوداني محمد بار على قبوله وتحمله أعباء الإشراف
على هذا العمل وتوجيهه ونصحه إلينا، حيث تعلمنا منه أجديات البحث
العلمي، كما أشكره على المعاملة الطيبة التي حضينا بها من قبله، وعلى
صبره علينا، جزاه الله عنا خير جزاء.

كما نتوجه و بأعمق وأسمى عبارات الشكر والعرفان إلى أساتذتنا الكرام
الذين أشرقوا على تكويننا والذين ساهموا في تأطير وتخرج دفتنا
وإلى كل الزملاء دفعة 2018. وشاركوا في فرياء الطاقوية .
إلى كل الأصدقاء الذين لم يبخلوا علينا بنصائحهم، إليكم يا جنود الخفاء
يا رفقاء الدرب نتوجه بأعمق وأسمى عبارات الشكر والعرفان لعائلتنا
الكريمة على دعمهم إلينا من كل الجهات، ثم إلى إخوتنا .
وإن ننسى لا ننسى العائلات والناس الطيبين اللذين لم يبخلوا علينا
بدعمهم وكل الأصدقاء الذين لم يبخلوا علينا بنصائحهم ومراجعتهم
ودعائهم .

إلى كل من ساعدنا من قريب أو بعيد ولو بكلمة طيبة لكل هؤلاء أقول
جزاكم الله عنا خيراً

فهرس المحتويات

الصفحة	العنوان
	الاهداء
	شكر و عرفان
	فهرس المحتويات
	قائمة الجداول
	قائمة الاشكال
ب	مقدمة عامة
الفصل الأول: الطاقة الشمسية	
03	1-1) مقدمة
03	2-1) نظرة تاريخية حول استخدام الطاقة الشمسية
04	3-1) الاشعاع الشمسي
07	4-1) التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي
07	5-1) الثابت الشمسي
08	6-1) الزوايا الشمسية
12	7-1) معادلة التصحيح الزمني
الفصل الثاني: الدراسة النظرية للمركبات الشمسية	
15	1-2) مقدمة
15	2-2) مفهوم المركز الشمسي
16	3-2) أنواع المركبات الشمسية
16	4-2) مبدا عمل المركبات الشمسية
18	5-2) المقارنة بين مختلف انظمة التركيز الشمسي
19	6-2) هندسة PTC
23	7-2) المردود الضوئي
24	8-2) التتبع الشمسي
26	9-2) حالة عدم التتبع
27	10-2) آليات التتبع للمجمعات الشمسية
27	11-2) مكونات المجمع الاسطواني القطعي المكافئ
29	12-2) مكونات المركز الشمسي المقعر
33	خلاصة
الفصل الثالث: دراسة انظمة تخزين الطاقة الحرارية	
36	1-3) مقدمة
37	2-3) معايير تصنيف انظمة التخزين
37	3-3) التخزين الحراري
46	4-3-3) التخزين الكيميائي
52	4-3) فوائد تخزين الطاقة الحرارية
53	5-3) ملخص لميزات كل نظام والتطبيقات الاكثر مناسبة لاستخدامها

الفصل الرابع: عرض ومناقشة النتائج	
57	1-4 مقدمة
57	2-4 معايير اختيار نظام التخزين الحراري
57	3-4 المقارنة بين انظمة التخزين الحراري
64	8-4 التخزين الحراروكيميائي
65	الاشعاع الشمسي المركز
66	9-4 المركز الشمسي البؤري النقطي
69	10-4 المركزات الشمسية ذات البؤرة الخطية
71	11-4 بعض الحلول والتوصيات
72	خلاصة
74	خاتمة عامة

قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الجدول
05	قيم معامل الاضطراب وارتفاع الماء المكثف	1-1
06	الاشعاع الشمسي الذي يصل سطح الارض	2-1
28	قيم معامل امتصاص والانبعث لبعض الطلاءات الانتقائية	1-2
39	خصائص مواد التخزين بالسوائل	1-3
42	خصائص مواد تخزين الحرارة الحساسة عند 20 درجة مئوية	2-3
53	بعض ايجابيات وسلبيات مختلف متغيرات الحالة	3-3
58	مميزات كل نظام والتطبيقات الاكثر مناسبة لاستخدامها	1-4
59	الخصائص الحرارية لأنظمة التخزين والمقارنة بينها	2-4
60	خصائص بعض مواد التخزين الحساس السائرة	3-4
61	بعض مواد التخزين الحساس الصلب	4-4
62	بعض خواص مواد تغيير الضوء العضوية وغير العضوية	5-4
63	خصائص حرارية لبعض اهم مواد MCP غير العضوية	6-4
63	خصائص حرارية لبعض اهم مواد MCP العضوية	7-4
64	خصائص حرارية لأكثر التفاعلات استعمالا في التخزين الحراروكيميائي	8-4
65	شدة الاشعاع الشمسي في مدينة ورقلة بدلالة الزمن	9-4

قائمة الأشكال

الصفحة	العنوان	الشكل
06	وصول الإشعاع الشمسي إلي السطح	1-1
07	التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي	2-1
08	ثابت الإشعاعي الشمسي بدلالة اليوم من السنة	3-1
09	حركة الأرض بالنسبة للشمس	4-1
09	بيان تغيرات الزاوية الميل الشمسي خلال أيام السنة	5-1
10	حركة الشمس عند النقطة زاوية دائرة العرض	6-1
11	زاوية الساعة الشمسية ودائرة العرض للمنطقة	7-1
12	بيان التغيرات التصحيح الزمني خلال أيام السنة	8-1
17	المجمع الشمسي الاسطواني مكافئ PTC.	1-2
17	عاكس فرنيال الخطي LfR.	2-2
18	نظام البرج المركزي الشمسي CRS	3-2
18	الصحن القطع المكافئ DP	4-2
19	التركيز الهندسي ودرجة حرارة اشتغال مختلف المركبات الشمسية	5-2
19	بؤرة السطح القطع المكافئ	6-2
20	زاوية الحافة و زاوية القبول	7-2
21	العلاقة بين زاوية الحافة ونسبة البعد البؤري إلى عرض الفتحة	8-2
21	بيان التغيرات f/w بدلالة الزاوية الحافة	9-2
22	بيان تغيرات المردود الحراري بدلالة الحافة	10-2
23	بيان تغيرات معامل الاعتراض بدلالة قطر الأنبوب الماص	11-2
23	بيان تغيرات معامل الاعتراض بدلالة زاوية الحافة	12-2
24	التتبع الشمسي بمحور شرق- غرب	13-2
25	التتبع الشمسي بمحور شمال - جنوب	14-2
25	زاوية الورود الشمسي على سطح الفتحة في حالة تتبع بمحور الدوران	15-2
26	اسقاطات الشعاع الشمسي الوارد على سطح الفتحة	16-2
27	التحويل من محور التتبع الى المعلم السطح أرضي	17-2
28	مخطط الشكل العام لل PTC	18-2
29	العنصر الجامع للحرارة	19-2
30	دوران القطع المكافئ	20-2
31	العنصر التفاضلي لسطح قطع مكافئ	21-2
31	مركز شمسي مقعر	22-2
31	صورة القطع الناقص	23-2
37	معايير تصنيف أنظمة التخزين الحراري	1-3

37	تقنيات تخزين الطاقة الحرارية الثلاثة	2-3
41	الخطوات المختلفة خلال تخزين الحرارة الكاملة	3-3
43	أشكال التغليف الكلي	4-3
44	مختلف أنواع ادماج ال MCP عن طريق بنيات معدنية	5-3
45	بطارية حرارية	6-3
47	مبدأ تخزين الحرارة الكيميائي	7-3
47	تصنيف التفاعلات المعمول بها	8-3
61	الاشعاع الشمسي لمدينة ورقلة بدلالة الزمن	1-4
66	التركيز الهندسي لمركزين الشمسيين المقعيرين	2-4
67	التدرج في درجة الحرارة لكلا المركزين المقعيرين بدلالة الزمن	3-4
69	قيم التركيز الهندسي للمركزين	4-4
70	الفرق في درجة الحرارة للمركزين بدلالة الزمن	5-4

مقدمة عامة

المقدمة

خلق الله الشمس والقمر كآيات دالة على كمال قدرته للضياء في الأرض وجعل الشعاع المعكوس من سطح القمر نوراً فالشمس تجري في الفضاء الخارجي بحساب دقيق، وقدرة الله تعالى وحدها جعلت الشمس الحارقة رحمة ودفئاً ومصدر للطاقة حيث تبلغ الدرجة الحرارة مركزها حوالي $(8^\circ - 40^\circ) \times 10^7$ درجة الحرارة مطلقة (كلفن) ثم تتدرج حرارتها في الانخفاض حتى تصل عند السطح إلى 5762° مطلقة (كلفن). إن الطاقة الشمسية تعتبر المصدر الرئيسي للطاقة في كوكب الأرض منها توزعت وتحولت إلى مصادر الطاقة الأخرى سواء ما كان منها مخزون في طاقة الرياح والطاقة الحرارية في جوف الأرض والطاقة المولدة من مساقط المياه والطاقة الشمسية وغيرها من مصادر الطاقة كالفحم الحجري والأخشاب وبما أن الطاقة الشمسية هي أهم مصادر الطاقة المتجددة خلال القرن القادم فإن جهود كثير من الدول تتوجه لها بمختلف صورها وترصد لها المبالغ اللازمة لتطوير المنتجات والبحوث الخاصة باستغلال الطاقة الشمسية كإحدى أهم مصادر الطاقة البديلة للنفط والغاز، وقد أعطى النصب الأوفر في البحوث والتطبيقات مجال تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء وهو ما يعرف باسم Photovoltaics وهذا المصدر من الطاقة هو أمل الدول النامية في التطور حيث أصبح توفر الطاقة الكهربائية من أهم العوامل الرئيسية لإيجاد البنى الأساسية فيها ولا يتطلب إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية إلى مركزية التوليد بل تنتج الطاقة وتستخدم بنفس المنطقة أو المكان وهذا ما سوف يوفر كثيراً من تكلفة النقل والمواصلات وتعتمد هذه الطريقة بصورة أساسية على تحويل أشعة الشمس إلى طاقة كهربائية، وتوجد في الطبيعة مواد كثيرة تستخدم في صناعة الخلايا الشمسية والتي تجمع بنظام كهربائي وهندسي محدد لتكوين ما يسمى باللوحة الشمسية الذي يعرض لأشعة الشمس بزوايا معينة لينتج أكبر قدر من الكهرباء.

وقد أثبتت التجارب والتطبيقات العلمية والعملية إمكانية استخدام الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء على نطاق تجاري وسيتم من خلال هذا العمل التطرق لأربعة فصول متمثلة في:

* في الفصل الأول سنتناول دراسة حول الطاقة الشمسية والإشعاع الشمسي، الزوايا الشمسية المفترضة وتاريخ استخدامها.

* الفصل الثاني سنتطرق من خلاله إلى القاء نظرة عامة حول المركبات الشمسية أنواعها مكوناتها، آلية عملها، درجة حرارة الاشتغال لها ثم المقارنة بينها من حيث هندسة تصميمها.

* أما في الفصل الثالث فسنتناول من خلاله أهم طرق التخزين الحراري آلية التخزين والوسائل ومختلف المواد المستعملة في ذلك.

* بينما في الفصل الرابع سنحاول الوصول إلى مختلف أوجه المقارنة بين أنظمة التخزين الحراري من حيث كثافة التخزين، درجة حرارة وزمن التخزين وغيرها من المعايير التي تؤخذ بعين الاعتبار أثناء اختيار نمط تخزين معين

ثم نتطرق في نهاية الفصل إلى المقارنة بين نوعين من المركبات الشمسية بؤرية التركيز وخطية التركيز من حيث قيمة التركيز الهندسي والفرق في درجة الحرارة المعطاة بأخذ أبعاد افتراضية ومدى تأثيره على كمية الحرارة الناتجة ثم ربط العلاقة بين نوع المركز الشمسي ونمط تخزين الطاقة المستعمل لنختتم ببعض الحلول والتوصيات الهامة أثناء اختيار الأنظمة المناسبة.

الفصل الأول:

الطاقة الشمسية

الفصل الاول

يحتوي هذا الفصل على دراسة للطاقة الشمسية وتاريخ استخدامها والزوايا الشمسية المعمول بها

- 1-1) مقدمة
- 2-1) نظرة تاريخية حول استخدام الطاقة الشمسية
- 3-1) الإشعاع الشمسي
 - 1-3-1) الإشعاع المباشر
 - 2-3-1) الإشعاع المنتشر
 - 3-3-1) الإشعاع الكلي
- 4-1) التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي
- 5-1) الثابت الشمسي
- 6-1) الزوايا الشمسية
 - 1-6-1) زاوية الميل الشمسي
 - 2-6-1) زاوية السميت الشمسي
 - 3-6-1) زاوية الارتفاع الشمسي
 - 4-6-1) زاوية الذروة
 - 5-6-1) زاوية الساعة الشمسية
 - 6-6-1) زاوية دائرة العرض للمنطقة
- 7-1) معادلة التصحيح الزمني

1-1) مقدمة:

لقد تكونت الشمس من جراء تكاثف سحب بين النجوم وذلك تحت تأثير الجاذبية ويتكون هذا السحاب اساسا من الهيدروجين والهيليوم والكربون والازوت وعناصر اخرى اقل كثافة.

وتتحول طاقة الجاذبية في هذا السحاب الى طاقة حرارية وعندما تصبح كثافة السحاب هامة ترتفع درجة مركز الشمس التي هي في طور الانشاء ,حيث تصل الى عشرة ملايين خلال 10000000 سنة وتبدأ تفاعلات الاندماج النووي التي تحول الهيدروجين الى هيليوم بنقص كتلي قدره 4 مليون طن في الثانية ,وبذلك تشع استطاعة 10 3.8 واط والتي توافق طاقة كثافتها 63 ميغا واط على المتر مربع الواحد ويصل منها الى سطح الارض حوالي 1 كيلوواط على المتر مربع مستغرقا مدة قدرها 8 دقائق و20 ثانية

اذن يمكن القول ان الشمس هي كرة غازية يبلغ قطرها 1.391.0000 كلم وتتراوح درجة حرارة مركزها بين 8×10 كلفن و 40×10 كلفن وتفصلها عن الارض مسافة يبلغ معدلها 149.598.00 كلم

وبما ان المدار الارضي شبه دائري انحرافه المركزي ضئيل لا يتجاوز 0.01675 لذا فان المسافة بين الشمس و الارض لا تتغير الا قليلا خلال السنة ,وتبلغ حدها الاقصى في اوائل شهر شباط وحدها الاقصى في اوائل تموز مما يؤدي الى تغير يسير في شدة الاضاءة المرسله من الشمس وهذا التغير لا يتجاوز 4% ,وبشكل عام يمكن اعتبار الشمس كجسم اسود مشع درجة حرارته 5800 كلفن

يستقبل كل موضع من سطح الارض الاشعاع الشمسي من شروق الشمس الى غاية غروبها بزواوية ورود تتاثر بمختلف الزوايا الشمسية الناتجة عن حركة الارض والشمس كما تتغير شدة الاشعاع الشمسي المباشر مكانا حسب الموضع من سطح الارض,وزمانا على مدار اليوم (من الشروق الى الغروب) وعلى مدار السنة (الاشهر الشمسية)

2-1) نظرة تاريخية حول استخدام الطاقة الشمسية:

لقد عرف الانسان منذ اقدم العصور ان الشمس مصدر الحياة والقوة فاتخذ منها واهما لها يعبد وفي مصر كانوا يرمزون اليها بالاله (رع) وكان سكان امريكا الجنوبية خلال مدينتها القديمة يضعون المرايا فوق قمم الجبال لتجميع اشعة الشمس وإشعال النيران , لإضاءة سفوح الجبال في الليل وتبادل الاشارات الضوئية عبر المسافات البعيدة .واستعمل العالم الاغريقي (ارخميدس) المرايا الحارقة للدفاع عن بلاده ونجح بواسطتها في احراق اسطول العدو الروماني عندما رآوه يقترب من اسوار (سيراكوز).وخذه المرايا التي كشف عنها وضعت بشكل خاص لتكيز الاشعة في بؤرتها ثم توجيهها صوب الهدف .وفي القرن السابع عشر قام العالم (برافون) بعمل تجربة امام لويس الرابع عشر ملك فرنسا ,فجمع اشعة الشمس المنعكسة من مائة وأربع وأربعين مرآة في بؤرة واحدة تبعد ستين مترا عن المرايا وكان قد وضع كومة كبيرة من الاحشاب في هذه البؤرة فاحرقها عن اخرها

وجاء لافوازييه العالم المشهور خلال الثورة الفرنسية فاخترع جهازه المصنوع من عدد كبير من العدسات ووضع في عدسة كبيرة في مقدمة الجهاز كحولا ليجمع اشعة الشمس خلالها على اشد ما يمكن وبواسطة هذا الجهاز استطاع الحصول على درجات حرارة عالية لصهر الحديد والبلاطين .

وفي عام 1875 م اخترع (موشو) آلة بخارية تتكون من مرجل اسطواني من النحاس طليت باللون الاسود تسع مائة لتر وتحيط بها مرآة معدنية مخروطية الشكل مساحة سطحها الذي يعكس اشعة الشمس على المرجل عشرين مترا مربعا فترفع درجة حرارة الماء الى درجة الغليان واستعمل البخار في ادارة آلات صغيرة

وأقام شومان جهازا لتوليد القوى الشمسية عام 1911م في فيلادلفيا وهو مكون من احواض معدنية يجري فيها الماء وقد غطيت بألواح من الزجاج لحفظ الحرارة وثبت على جوانب الارض مرايا مستوية. وفي استطاعة هذا الجهاز ان يحول مائتي لتر من الماء بخارا في الساعة الواحدة لكن عيب هذا الجهاز انه مثبت في مكانه فلا يستطيع متابعة الشمس في حركتها طوال النهار وبذلك تقل كفاءته الانتاجية في اغلب ساعات النهار. وبعد ذلك بعامين اقام جهازا اخر بمصر بالقرب من المعادي بعد ان ادخل عليه تحسينات طفيفة, اذ كانت المرايا الموضوعة على جوانب الارض مقعرة وتتبع الشمس في دوراتها واستعمل البخار الناتج من هذا الجهاز في ادارة آلات تصل قوتها الى مائة حصان لرفع المياه من النيل وري الارض. [7]

1-3) الاشعاع الشمسي:

يمثل الاشعاع الشمسي اكبر تدفق للطاقة يدخل الى النظام البيئي الارضي. بعد الانعكاس والامتصاص في الغلاف الجوي يصل ما يقارب 1000000 تيرا واط سطح الارض ويتحول الى جميع اشكال الطاقة المستخدمة من طرف البشر, باستثناء الطاقة النووية والطاقة الحرارية الارضية والطاقة المدية. هذا المورد ضخم ويتوافق مع ما يقارب من 6000 ضعف الاستهلاك العالمي للطاقة الأولية 13.7 تيراواط

يوجد من الاشعاع الشمسي, حيث يكون لها علاقة بتطبيقات الطاقة الشمسية واستعمالاتها: [6]

1-3-1) الاشعاع المباشر:

وهو جزء من الاشعاع الشمسي الذي يصل سطح الارض حيث انه لا يتأثر بعوامل الامتصاص والانتشار.

تعطى عبارة الإشعاع الشمسي المباشر الوارد من الشمس إلى سطح الأرض ناظمية بعد اختراقه للغلاف الجوي بالعلاقة :

$$I_b = I[a_0 + a_1 e^{-K.AM}] \quad (1-1)$$

حيث a_0 و a_1 و K ثوابت تجريبية تعطى من طرف Duffie و Beckman بالعلاقات التالية:

$$a_0 = 0.94[0.4237 - 0.00821(6 - Z)^2] \quad (2-1)$$

$$a_1 = 0.98[0.5055 - 0.00595(6.5 - Z)^2] \quad (3-1)$$

$$K = 1.02[0.2711 - 0.01858(2.5 - Z)^2] \quad (4-1)$$

حيث: Z ارتفاع المنطقة فوق سطح البحر معبرا عنها بالكيلومتر (Km), و AM الكتلة الهوائية الضوئية و I الثابت الشمسي خارج الغلاف الجوي, أما في حالة الإشعاع الشمسي المباشر الذي يرد بزاوية i على سطح مائل تعطى عبارته بالعلاقة :

$$I_{bt} = I_b \cos i \quad (5-1)$$

2-3-1) الاشعاع المنتشر :

وهو جزء من الاشعاع الشمسي الذي يصل سطح الارض بعد تعرضه لعوامل الانكسار والانعكاس.

وتعطى عبارته في حالة سطح أفقي بالعلاقة:

$$I_d = I_0 \sin h [0.2710 - 0.2939(a_0 + a_1 e^{-K.AM})] \quad (6-1)$$

3-3-1) الاشعاع الكلي:

يكون الاشعاع الشمسي الكلي الواصل الى سطح الارض مجموع الاشعاعين المباشر والمنتشر.

ويحسب في حالة الإشعاع ناظمي $i = 0$ بالعلاقة :

$$G = (1270 - 56T_L)(\sin h)^{\frac{T_L+36}{33}} \quad (7-1)$$

حيث T_L معامل الاضطراب

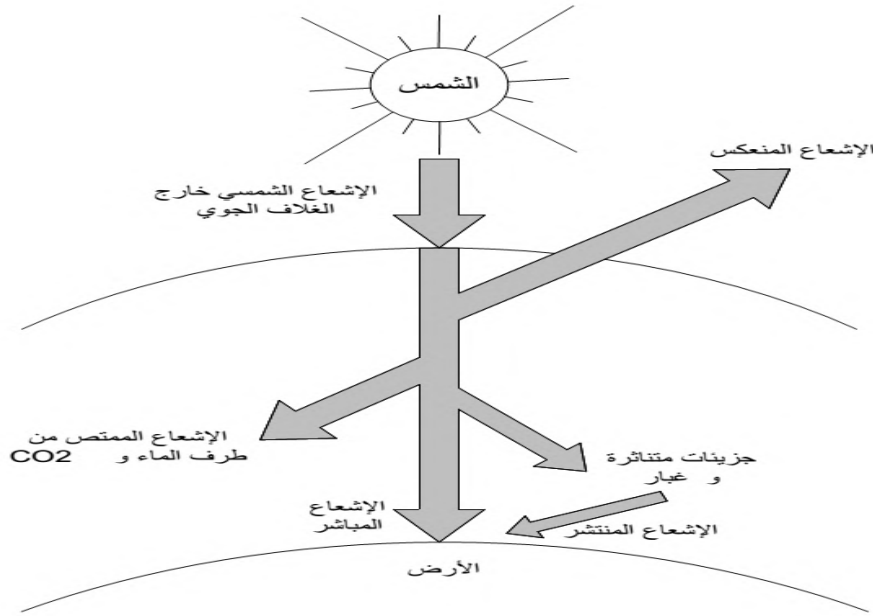
للغلاف الجوي وتعطى صيغته

$$T_L = 2.5 + 16\beta_A + 0.5 \ln \omega \quad (8-1)$$

حيث β_A معامل أنغيشتروم و ω ارتفاع الماء المكثف و قيمهما تتغير حسب الحالة الجوية كما هو موضح بالجدول

الجدول (1-1) يمثل قيم معامل الاضطراب ومعامل ارتفاع الماء المكثف

سماة صافية	سماة متوسطة	سماة مضطربة	
0.05	0.1	0.2	β_A
1cm	2cm	5cm	W



الشكل (1-1) يوضح وصول الإشعاع الشمسي الى سطح الارض

وتصل الطاقة الشمسية إلى الأرض في شكل إشعاع كهرومغناطيسي ذي أطوال موجية تتراوح من $0.3 - 3 \mu\text{m}$:
 الأشعة فوق البنفسجية (أقل من $0.38 \mu\text{m}$) و الأشعة المرئية $0.38 - 0.78 \mu\text{m}$ و الأشعة تحت الحمراء (أكثر من $0.78 \mu\text{m}$)
 و تتركز معظم هذه الطاقة في الإشعاع المرئي و الأشعة تحت الحمراء ذات الطول الموجي القريب من المرئي كما يوضح الجدول التالي:

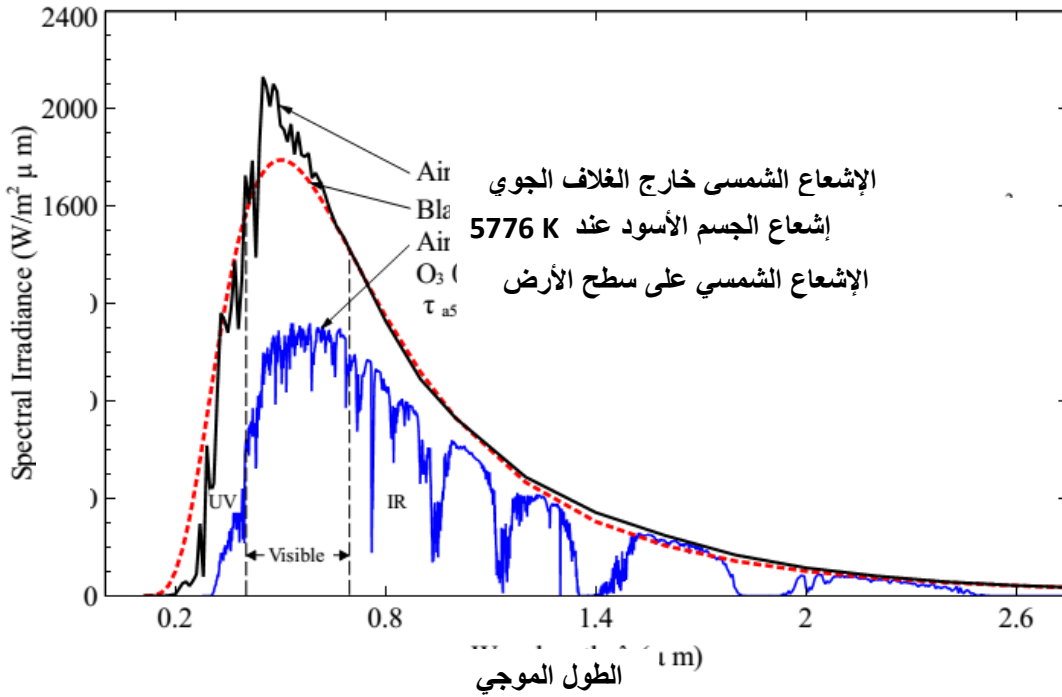
الجدول (1- 2) : الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض

المجال	الطول الموجي (μm)	النسبة %	شدة الإشعاع الشمسي W/m^2
الأشعة فوق البنفسجية UV	0.38 - 0	7	95
الأشعة المرئية Visible	0.78 - 0.38	47,29	640
الأشعة تحت الحمراء IR	3.0 - 0.78	45,71	618

4-1) التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي :

التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي في نطاق $(0.2 - 50) \mu\text{m}$, بينما يتراوح هذا النطاق على سطح الارض $(0.3 - 3) \mu\text{m}$, بسبب تشتت وإنتشار الإشعاع أثناء إختراقه لمكونات الغلاف الجوي من جزيئات الهواء وبخار الماء و الغبار. حيث درجة الانتشار الحادث حسب نظرية رايلي تتعلق بعدد الجسيمات التي يمر بها الإشعاع, و حجم الجسيمات بالنسبة للطول الموجي للإشعاع الشمسي, و بذلك يكون تشتت رايلي كبير في الأطوال الموجية القصيرة أقل من $(0.6 \mu\text{m})$. و يتم في الغلاف الجوي امتصاص الأشعة فوق البنفسجية القصيرة أقل من $(0.29 \mu\text{m})$ من طرف الاوزون أما الأشعة تحت الحمراء فتمتص من طرف بخار الماء و CO_2 , وهذا ما يوضحه الشكل

الإشعاع الطيفي



الشكل (1-2) التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي

5-1) الثابت الشمسي:

تدقق الإشعاع الشمسي المتوسط على المستوى العمودي في اتجاه الأشعة وموضوع في خارج الغلاف الجوي الارضي يسمى بالثابت الشمسي .

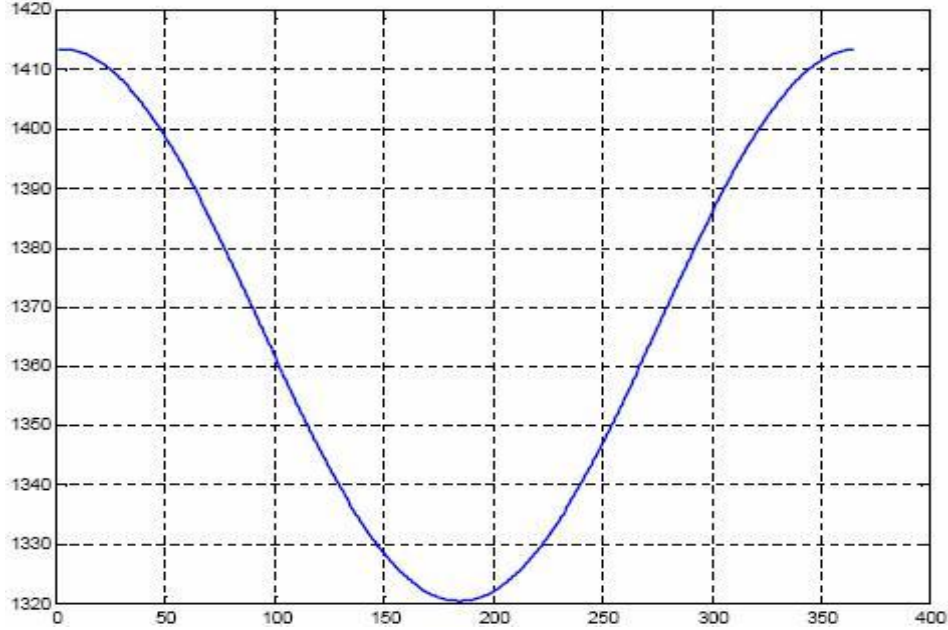
وتعطى قيمة الثابت الشمسي المقاسة من طرف قويمارد في سنة 2004 ب 1366.1 واط/متر مربع

التغير في المسافة بين الارض والشمس خلال السنة يؤثر على قيمة الثابت الشمسي .وعلاقة التصحيح تعطى بالعلاقة :

$$I_1 = I_0 \left[1 + 0.034 \cos \left[(N_j - 2) \frac{360}{365} \right] \right] \quad [6] \quad (9-1)$$

حيث N_j يمثل رقم اليوم من السنة الشمسية ($N_j = 1, 2, \dots, 365$). [5]

الثابت الشمسي



اليوم

الشكل (1-3) ثابت الاشعاع الشمسي بدلالة اليوم من السنة [5]

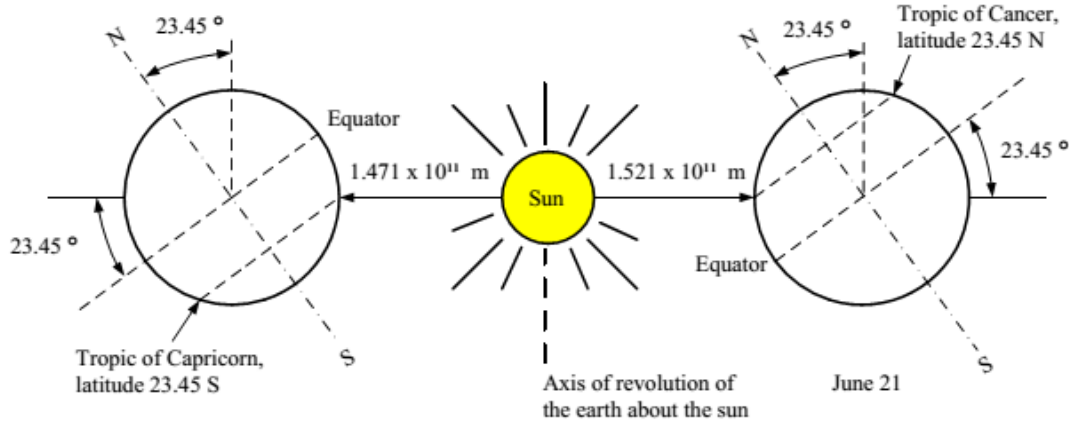
6-1 / الزوايا الشمسية:

تتأثر شدة الاشعاع الشمسي في نقطة ما من سطح الارض بالحركة النسبية للأرض حول الشمس والتي تحدد من خلال ما يعرف بالزوايا الشمسية:

1-6-1 زاوية الميل الشمسي :

تدور الأرض حول الشمس في مسار اهليلجي حيث تكمل دورة كاملة خلال 365,25 يوم, بحيث تصل المسافة أرض - شمس أقل قيمة في 21 ديسمبر و التي تبلغ $(1.47 \times 10^{11}m)$, كما تبلغ المسافة قيمتها العظمى $(1.52 \times 10^{11}m)$ في 21 جوان. الشكل (1-2)

يصنع محور دوران الأرض حول نفسها مع الناظم على المستوى الاهليلجي (مستوى دوران الأرض حول الشمس) زاوية ميل δ تتغير قيمتها بين 23.45° و -23.45° على مدار السنة.



الشكل (1-4): حركة الارض بالنسبة للشمس

$$\delta = 23,45^\circ \sin \frac{360}{365} (284 + N_J) \quad (10-1)$$

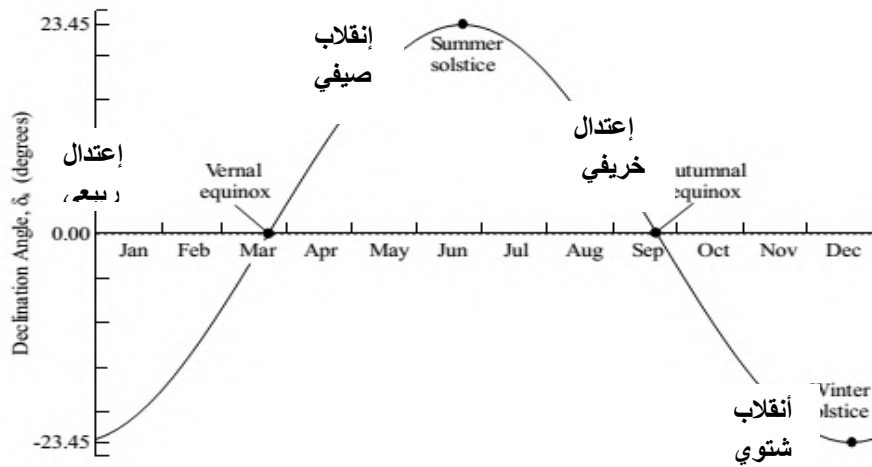
حيث نأخذ القيمة العظمى

(+23.45) في 21 جوان انقلاب صيفي

(-23,45) في 21 ديسمبر انقلاب شتوي

بينما تكون معدومة ($\delta=0$) في الاعتدالين الخريفي في 21 سبتمبر و الربيعي في 21 مارس كما يبين الشكل (1-5)

زاوية الميل الشمسي



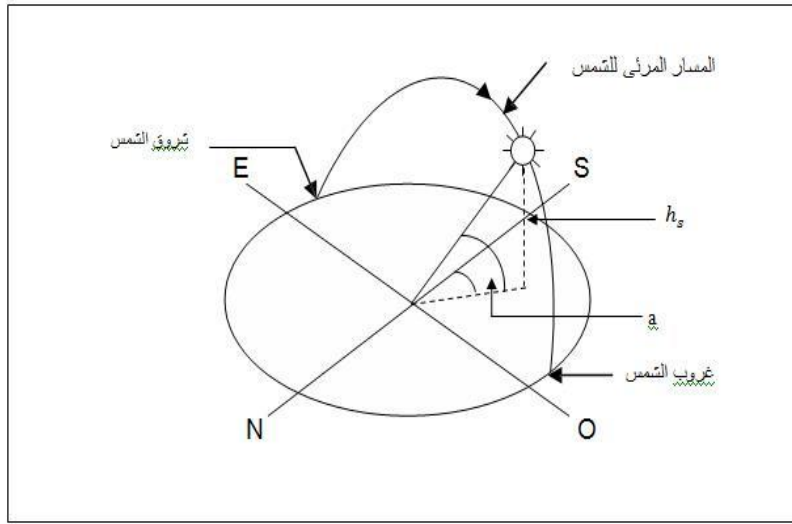
الشكل (1-5) بيان تغيرات زاوية الميل الشمسي خلال ايام السنة

يمكن تتبع حركة الشمس من الشروق للغروب في نقطة ما من سطح الارض من خلال زاويتي الارتفاع [6]

1-6-2) زاوية السميت الشمسي:

هي الزاوية المحصورة بين الخط المار في النقطة على سطح الارض والمتجه جنوبا و بين المسقط الافقي للخط الواصل بين النقطة والشمس هذه الزاوية تكون موجبة اذا كانت متجهة نحو الغرب [5]

$$\cos a = \frac{\sin h \sin \varphi - \sin \delta}{\cos h \cos \varphi} \quad (11-1)$$



الشكل (6-1) حركة الشمس عند نقطة من زاوية دائرة العرض

1-6-3) زاوية الارتفاع الشمسي:

هي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين نقطة على سطح الارض ومركز الشمس الافقي الذي تمر فيه النقطة على الارض. هذه الزاوية تساوي الصفر عند شروق وغروب الشمس وتأخذ القيمة العظمى عند وقت الزوال. [5] اذا تكتب العلاقة التالية:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos w \quad (12-1)$$

1-6-4) زاوية الذروة z :

هي الزاوية بين الشعاع الشمسي الوارد للنقطة من سطح الأرض والناظم على المستوى الأفقي في تلك النقطة [6] كما يبين الشكل حيث:

$$\theta_z + h = 90^\circ \quad (13-1)$$

5-6-1) زاوية الساعة الشمسية w :

نتيجة دوران الأرض حول نفسها فإن الشعاع الشمسي يمسح دورة كاملة حول الأرض 360° خلال 24h وفق دائرة العرض أي 15° لكل ساعة، مع اعتبار الزوال هو المبدأ ($w=0$) []، وتعطى عبارة زاوية الساعة الشمسية بالعلاقة:

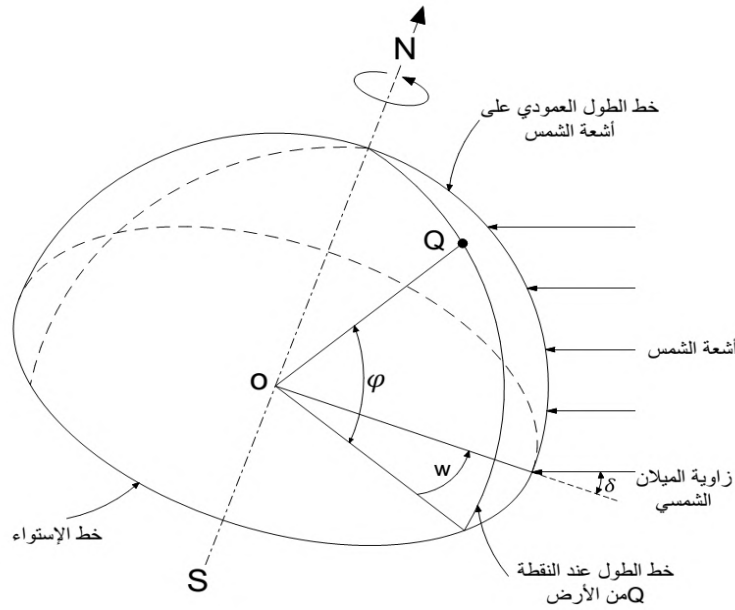
$$w = 15(TVs - 12) \quad (14-1)$$

حيث TV_s يمثل التوقيت الشمسي الحقيقي الذي يعتمد الزوال الشمسي في المنطقة ($w=0$) عند الساعة 12:00 زوالاً. و تكون $W > 0$ مساءً بينما تكون $W < 0$ صباحاً .

6-6-1) زاوية دائرة العرض للمنطقة φ :

وهي الزاوية التي يصنعها الناظم على سطح الأرض في المنطقة مع الناظم على سطح الأرض في خط الاستواء الواقع في نفس خط الطول مع المنطقة. وتكون الزاوية موجبة إذا كانت المنطقة شمال خط الاستواء بينما تكون سالبة إذا كانت المنطقة جنوب خط الاستواء الشكل .

(تعطى زاوية دائرة العرض لمنطقة ورقلة $\varphi = 31.15^\circ$)



الشكل (7-1) : زاوية الساعة الشمسية و دائرة العرض للمنطقة

و يتعلق التوقيت الشمسي الحقيقي (TV_s) بالتوقيت المحلي للمنطقة بالعلاقة

$$TV_s = TU + E_t + \frac{L}{15} \quad (15-1)$$

حيث TU التوقيت العالمي (خط الزوال المار عبر غرينيتش greenwich)

E_t : معادلة التصحيح الزمني

L : خط الطول للمنطقة حيث $L > 0$ شرقا و $L < 0$ غربا

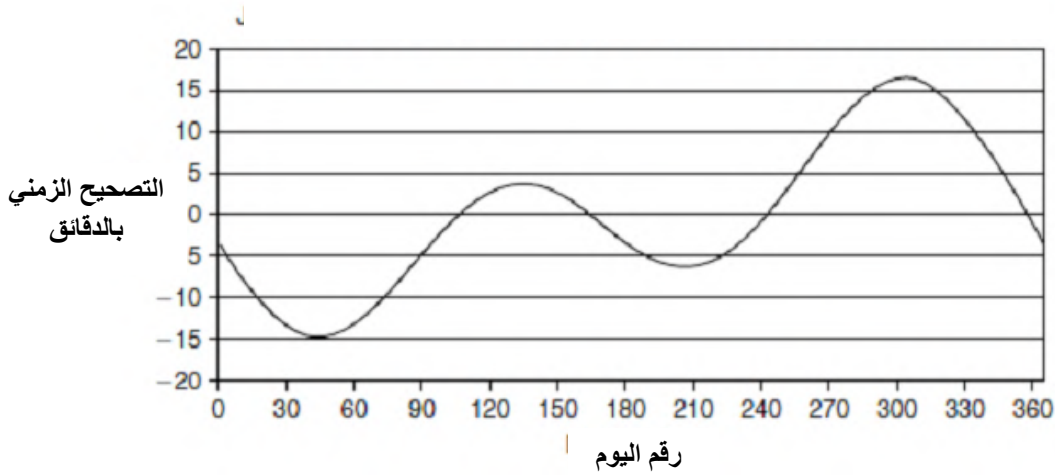
(7-1) معادلة التصحيح الزمني E_t :

تعطى معادلة التصحيح الزمني وبدقة إلى 30 ثانية خلال ساعات النهار من طرف Woolf بالدقائق

$$E_t = 0.258 \cos x - 7.416 \sin x - 3.648 \cos 2x - 9.228 \sin 2x \quad (16-1)$$

$$x = \frac{360(n-1)}{365.242} \quad (17-1) \quad \text{حيث :}$$

ويعطي البيان الشكل (8-1) تغيرات التصحيح الزمني خلال أيام السنة



الشكل (8-1): بيان تغيرات التصحيح الزمني خلال أيام السنة

الفصل الثاني: الدراسة

النظرية لمركزات

التربية

الدراسة النظرية للمركزات الشمسية

- 1-2) مقدمة
 - 2-2) مفهوم المركز الشمسي.
 - 3-2) انواع المركزات الشمسية
 - 1-3-2) النظام المجمع الاسطوانى للقطع المكافئ
 - 2-3-2) نظام عاكس فريزل الخطي
 - 3-3-2) نظام المستقبل المركزى
 - 4-3-2) نظام الصحن القطع المكافئ
 - 5-2) مبدا عمل المركزات الشمسية
 - 1-5-2) المقارنة بين انظمة التركيز الشمسي
 - 6-2) هندسة المجمع الاسطوانى القطع المكافئ
 - 7-2) المردود الضوئى
 - 8-2) التتبع الشمسي
 - 9-2) حالة عدم التتبع
 - 10-2) آليا التتبع للمجمعات الشمسية
 - 11-2) مكونات مجمع الاسطوانة القطع المكافئ
 - 12-2) مكونات المركز الشمسي المقعر
- الخلاصة

2-1 مقدمة:

تواجه الدول في الوقت الحالي العديد من تحديات الطاقة تلخص بشكل رئيسي في:

*الطلب على الطاقة بشكل متزايد

*المخاوف من ارتفاع اسعار الوقود

*اجراءات التكيف مع تغييرات المناخ

وبهدف مواجهة هذه التحديات تحتاج هذه الدول الى تركيز الجهود ووضع سياسات تعمل على ترشيد الطاقة ورفع كفاءة انظمة انتاجها وتنويع مصادرها بما يضمن مشاركة المصادر المتجددة لتقليل الاعتماد على البترول والغاز الطبيعي وبالتالي الحد من انبعاث غازات الدفيئة (ثاني اكسيد الكربون, الميثان, اكسيد النيتروز, الهيدرو فلورو كربون , بير فلورو كربون , سادس فلوريد الكبريت) ونظرا لان انتاج الطاقة من المصادر المتجددة يعد احد البدائل الحل الذي يمكن الاعتماد عليه خاصة وان معظم هذه الدول تقع في نطاق الحزام الشمسي ولديها ارض منبسطة غير مستغلة, فان مؤشرات توليد الطاقة الكهربائية باستخدام المركزات الشمسية *CSP (constrator solair plants)* يمكن ان تكون احد هذه البدائل

2-2 المركزات الشمسية:

تعمل المركزات الشمسية على تحويل الاشعاع الشمسي الى طاقة حرارية في ادارة تيرينات بخارية لإنتاج الكهرباء وهو مايعني امكانية تكامل مركزات الشمسية مع محطات التوليد التقليدية للاستفادة بربط هذه النظم بالشبكة الكهربائية وعلى نحو اخر يمكن استخدام الطاقة الشمسية في انتاج الطاقة الكهربائية و تحلية المياه في نفس الوقت, وذلك بتركيز الاشعاع الشمسي على انبوب ينتج منه بخار يكفي لإدارة تربينه بخارية, والاستفادة من فائض الطاقة في تحلية مياه البحر, ويتوقع ان تلقى هذه التقنية رواجاً في المستقبل القريب وخاصة في الدول التي تعاني من شح المياه العذبة

ومع تمتع الدول العربية بتوافر معدلات مرتفعة من الاشعاع الشمسي الكلي تتراوح بي 4 الى 8 kwh/m^2 في السنة كما تنحصر كثافة الاشعاع الشمسي المباشر بين 1700 الى 2800 kwh/m^2 في السنة مع غطاء سحب منخفض يتواجد بنسبة 10 الى 20 في المئة على مدار السنة بما يسمح بالاستخدام بشكل فعال مع التقنيات الشمسية المتوافرة حاليا تهدف اجهزة تركيز الاشعاع الشمسي الى زيادة كثافة الاشعاع على السطح الماص الى معدل اعلى من المعدل الطبيعي, وتتم هذه العملية بواسطة اسطح عاكسة على السطح الماص بهدف الحصول على درجات حرارة مرتفعة وبغرض التبسيط سنتعرض الى بعض المصطلحات المستخدمة في هذا المجال: [8]

2-2-1- العاكس

يكون ذو سطح منحنى بهدف تركيز الاشعة كما يطل على مادة لامعة كالألمنيوم والفضة لعكس اشعة الشمس نحو المستقبل ولا يشترط ان يكون السطح العاكس قطعة واحدة, فقد يتكون من عدة شرائح مستوية الى جانب بعضها البعض كما هو الحال في المركز المحروطي او قطع مستوية من المرايا يميل كل منها بزوايا معينة كما في ليعكس الاشعة الساقطة عليه نحو مستقبل مركزي يمكنه انتاج بخار يكفي لتشغيل تربينه بخارية

2-2-2- المستقبل

يعمل المستقبل على استقبال الاشعة القادمة من العاكس وامتصاصها وتحويلها الى حرارة تنقل الى المائع الذي يمر داخله, وعادة ما تكون مساحة المستقبل اقل من مساحة العاكس

2-2-3- نسبة التركيز

تعرف بأنها النسبة بين مساحة فتحة السطح العاكس و سطح المستقبل ,وقد تزيد هذه النسبة عن الواحد الصحيح في اجهزة التسخين الشمسي للمياه و المقطرات الشمسية والبرك الشمسية

2-2-4) تركيز الإشعاع الشمسي

الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض يمكن تحويله إلى كهرباء مباشرة من خلال امتصاص الفوتونات الضوئية بواسطة الألواح الشمسية الكهروضوئية (P V) أو من خلال الطاقة الشمسية المركزة (CSP), في هذه الحالة يتم امتصاص الحرارة الناتجة من الإشعاع الشمسي المركز على سطح الامتصاص, ومن ثم تنتقل إلى المائع المستعمل, حيث نحصل على درجات حرارة عالية و توجد طريقتين لتركيز الإشعاع الشمسي المباشر : [6]

2-2-4-1) التركيز الخطي:

يتم تركيز الإشعاع الشمسي المباشر خطيا بواسطة عاكس على سطح أنبوب ماص مثبت في المحور البؤري, و يتم التتبع الشمسي وفق محور دوران واحد للرفع من المردود, و من أهمها الاسطوانى القطع مكافئ وعاكس فرينال

2-2-4-2) التركيز النقطي :

يتم تركيز الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على سطح عاكس في نقطة البؤرة, من خلال نظام الصحن القطع المكافئ ليتم التتبع الشمسي وفق محوري دوران للمحافظة على تركيز الإشعاع في نقطة البؤرة, ليتم توليد الكهرباء من خلال محرك ستيرلينغ او بواسطة الغازات الموضوعة في البؤرة في انظمة برج القوى كما تستخدم الزيوت الاصطناعية و الأملاح المنصهرة و البخار أو الهواء المضغوط.

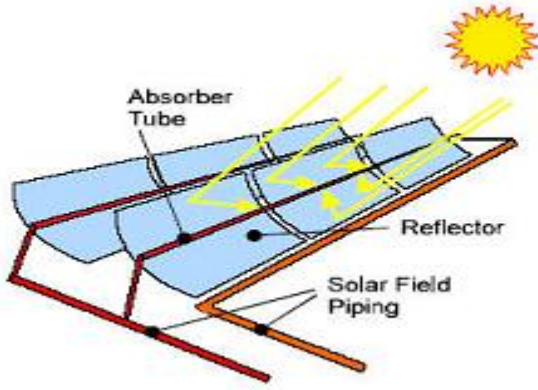
2-2-5 نظام التتبع

تطورت انظمة التتبع الشمسي من النظم اليدوية الى اخرى الية اما تعمل اعتمادا على توجيه حساس نحو قرص الشمس يرسل اشارة الى وحدة التحكم لتوجيه فتحة العاكس دائما باتجاه الشمس او اعتمادا على الساعة بمعنى تغيير زاوية توجيه فتحة العاكس كل عدة دقائق بقيمة معينة.

2-3) أنواع المركزات الشمسية:

2-3-1) نظام المجمع الاسطوانى القطع المكافئ

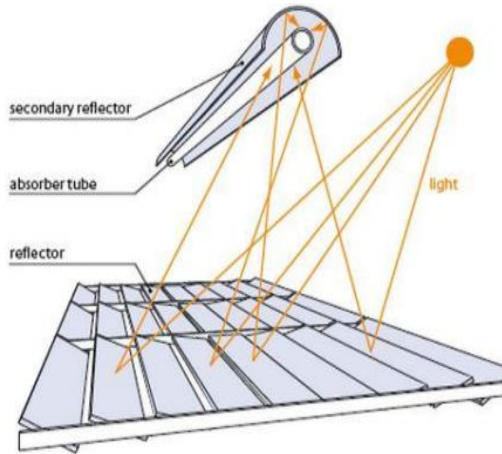
يتكون نظام المجمع الاسطوانى القطع المكافئ من عواكس طويلة مقطوعها العرضي قطع مكافئ تركيز الإشعاع الشمسي في المحور البؤري الخطي الذي يثبت به أنبوب امتصاص (من النحاس أو الفولاذ المقاوم للصدأ) يمر به سائل (ماء محلول ملحي,زيت...الخ) مطلي بطبقة انتقائية و محاط بأنبوب زجاجي يكون أحيانا مفرغ من الهواء للحد من الضياعات الحرارية, ويكون مزود بنظام تتبع شمسي على محور دوران واحد وترتفع درجة حرارة السائل بفعل حرارة الشمس من 70 الى 100 مرة لتتراوح درجة الحرارة بين 350 درجة -550 درجة فيتحول الى بخار يكفي لإدارة تربينات بخارية



الشكل (1-2)-الجمع الشمسي الاسطواناني القطع مكافئ (PTC)

2-3-2) نظام عاكس فرينل الخطي

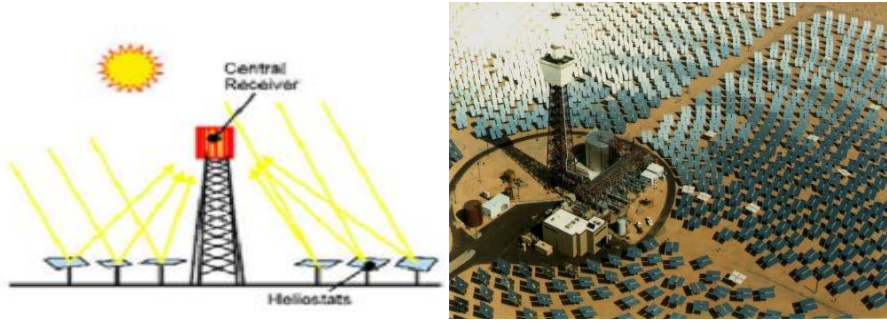
يتكون من مرايا مسطحة متوازية، تقوم بتركيز الإشعاع الشمسي نحو جهاز استقبال خطي يقع على بعد أمتار فوق حقل المرآة الأولية، وهذا يتطلب مرآة ثانوية فوق جهاز الاستقبال لإعادة تركيز الأشعة الضائعة، أو البديل عن ذلك زيادة عرض جهاز الاستقبال بجعله يتكون من عدة أنابيب متوازية كما يوضح الشكل (2-2).



الشكل (2-2) عاكس فرينال الخطي (LFR)

2-3-3) نظام المستقبل المركزي

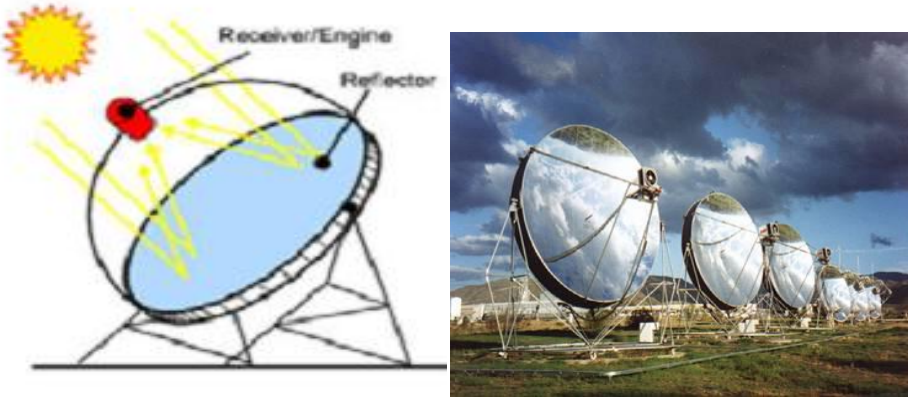
تتكون من مرايا مسطحة تغطي مساحات شاسعة، ويتم توجيهها بحيث تركز الإشعاع الشمسي المباشر على جهاز استقبال مركزي، و تكون هذه المرايا مزودة بنظام تتبع شمسي على محوري دوران. يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى حرارة بواسطة المستقبل المركزي المثبت فوق برج يعمل كغلاية لتوليد البخار وتحميصه ثم دفعه الى توربينة بخارية وبتركيز اشعة الشمس من 800 الى 1000 مرة يمكن الوصول الى درجات حرارة مرتفعة تصل الى نحو 1000 درجة ومن ثم تنتقل إلى المائع (HTF) الذي يكون عادة الأملاح المنصهرة، ويتم توليد البخار بواسطة المبادلات الحرارية ومن ثم إنتاج الطاقة الكهربائية عبر دورة ترموديناميكية الشكل (2-4)



الشكل (2-3) نظام البرج المركزي الشمسي CRS

2-3-4) نظام الصحن القطع المكافئ

يتكون من صحن عاكس ذو شكل قطع مكافئ وجهاز الاستقبال مثبت في البؤرة النقطية ويتم التتبع الشمسي على محورين, حيث يتم امتصاص الإشعاع الشمسي على شكل حرارة من طرف جهاز الاستقبال الذي يحوي على غاز لتشغيل تربينات غازية وتصل درجات الحرارة في هذا النوع الى نحو 750 درجة الشكل (2-4). [8]



الشكل (2-4) الصحن القطع المكافئ (DP)

2-5) مبدأ عمل المركزات الشمسية

يتم تركيز الإشعاع الشمسي الساقط على الفتحة, بواسطة السطح العاكس نحو سطح الامتصاص (جسم أسود) الذي يمتص هذا الإشعاع على شكل حرارة و بالتالي زيادة درجة حرارته, و من ثم تنتقل هذه الحرارة إلى المائع الناقل للحرارة (HTF) بواسطة الحمل على شكل حرارة مفيدة, بينما يتم فقد جزء من هذه الحرارة إلى الهواء الجوي المحيط بواسطة (التوصيل و الحمل و الإشعاع) على شكل ضياع. و يتكون المركز الشمسي عموماً من :

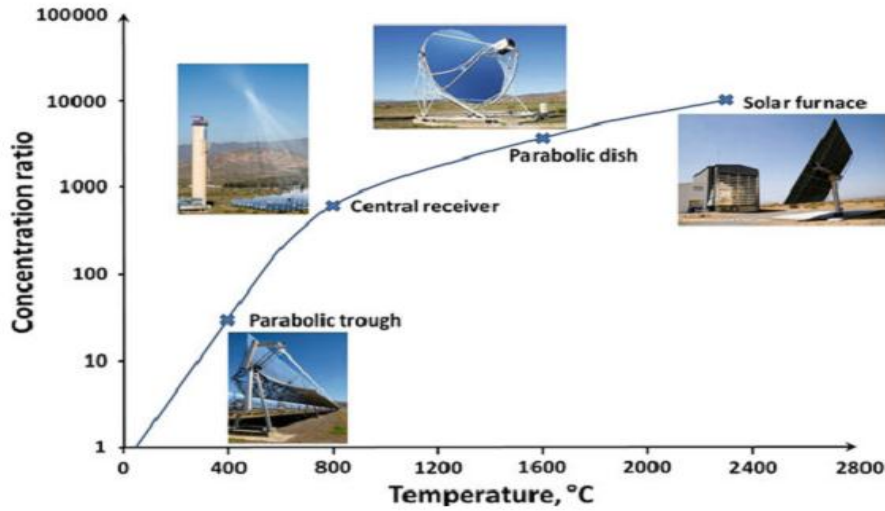
* أداة تركيز للإشعاع

* أداة تتبع شمسي

* أداة امتصاص للإشعاع

2-5-1/ المقارنة بين مختلف أنظمة التركيز الشمسي:

يوضح الشكل (2-5) حدود التركيز الهندسي ودرجات حرارة التشغيل لمختلف أنظمة التركيز الشمسي, ويعتبر (بمجال درجة حرارة اشتغال PTC هو الأنسب لتوليد البخار, بينما الأنظمة الأخرى تكون مناسبة في صهر المعادن والأملاح) والتخزين الحراري.



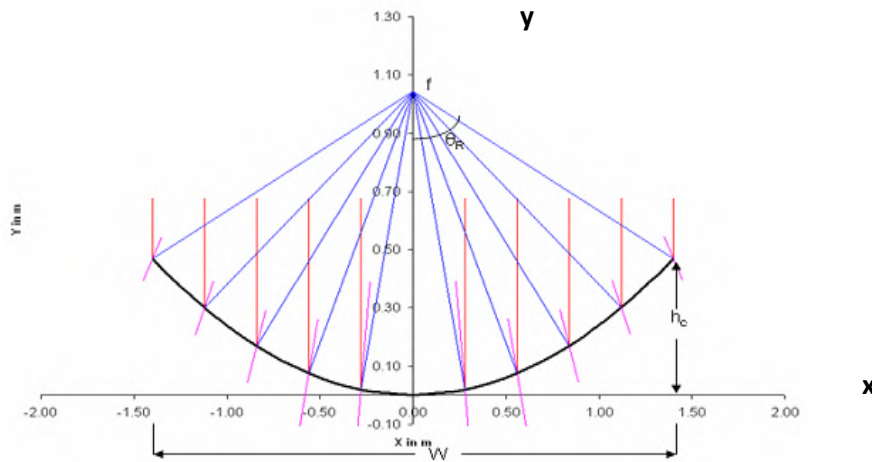
الشكل (2-5) التركيز الهندسي و درجة حرارة اشتعال مختلف المركزات الشمسية

6-2 / هندسة المجمع القطع المكافئ (PTC):

يتكون من عاكس أسطواني ذو مقطع عرضي قطع مكافئ، حيث تنعكس الأشعة الساقطة على المحور الخطي البؤري، و

تعطى معادلة الشكل القطع المكافئ بالمعادلة

$$y = \frac{1}{4f}x^2 \quad (1-2)$$



الشكل (2-6) بؤرة السطح القطع مكافئ

حيث f : البعد البؤري، وأبعاد PTC المتمثلة في الطول L والعرض W وارتفاع حافة العاكس h_c ، حيث حافتي العاكس تتميز بالإحداثيات الديكارتية $(x = \pm \frac{W}{2}, y = h_c)$ الشكل (2-6).

وبتعويض إحداثيات الحافة في المعادلة الديكارتية نحصل على عبارة البعد البؤري f بدلالة أبعاد PTC

$$f = \frac{W^2}{16h_c} \quad (2-2)$$

1-6-2 زاوية الحافة θ_R

هي الزاوية المحصورة بين محور الترتيب - محور تناظر المنحنى القطع مكافئ - (Oy) و الخط الرابط بين نقطة البؤرة وحافة العاكس, كما هو مبين على الشكل (2-9), وتعطى بالعلاقة:

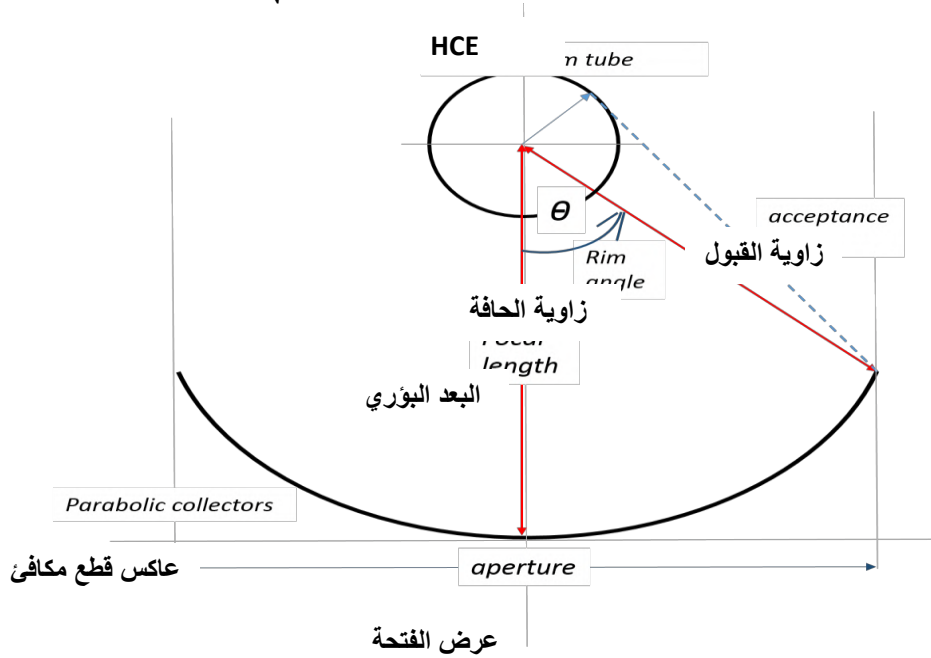
$$\theta_R = \cos^{-1} \left[\frac{2f}{[(0.5W)^2 + (f-h_c)^2]^{1/2}} - 1 \right] = \cos^{-1} \left[\frac{2f}{R} - 1 \right] \quad (3-2)$$

حيث R نصف قطر حافة العاكس

كما تعطى زاوية الحافة أيضا بالعلاقة :

$$\tan \theta_R = \frac{\frac{W}{f}}{2 - \frac{1}{8} \left(\frac{W}{f} \right)^2} \quad (4-2)$$

$$\frac{W}{f} = -\frac{4}{\tan \theta_R} + \sqrt{\frac{16}{\tan^2 \theta_R} + 16} \quad (5-2) \quad \text{و منه نجد :}$$

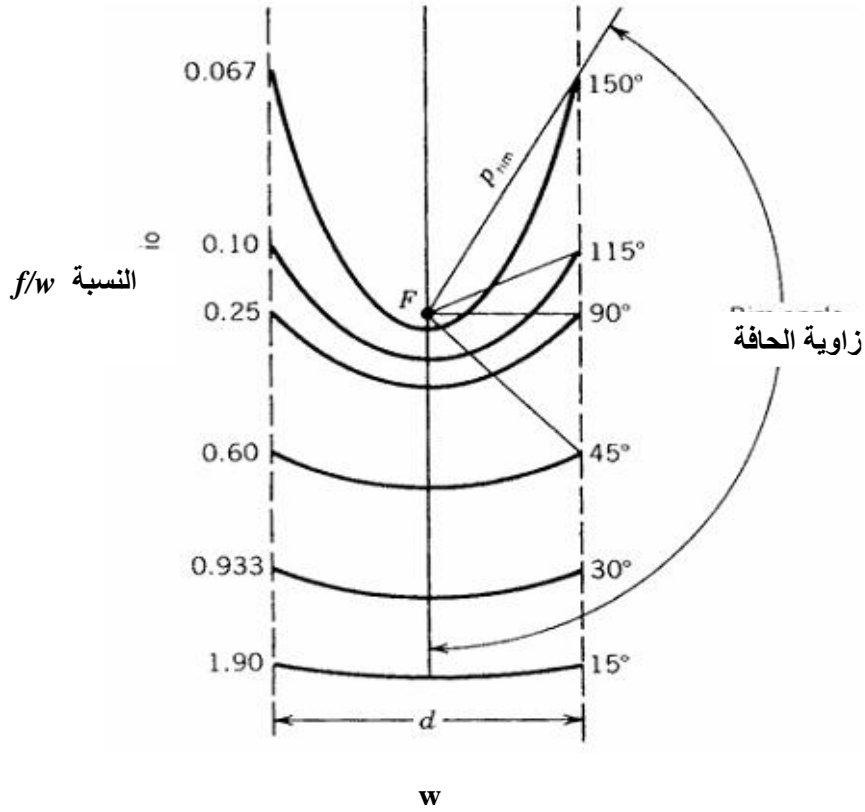


الشكل 2-7 زاوية الحافة وزاوية القبول ل PTC

ويمكن اختيار زاوية الحافة المناسبة حسب نسبة البعد البؤري f إلى عرض الفتحة W من خلال الشكلين (2-7) و(2-8).

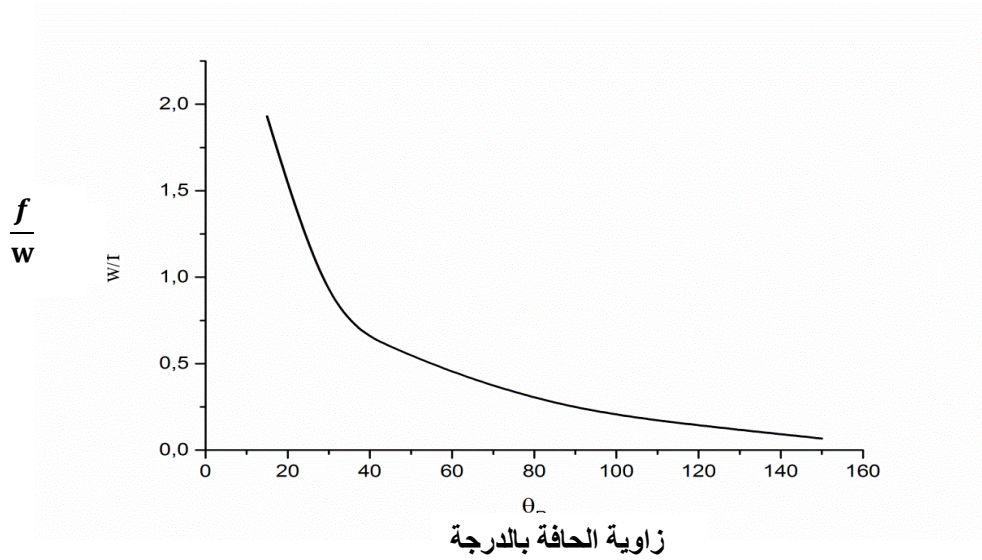
2-6-2 زاوية القبول

هي الزاوية بين الشعاع المنعكس نحو البؤرة والشعاع المنحرف عنها بحيث يتم استقبال هذا الشعاع على العنصر الجامع للحرارة HCE, وهي أكبر قيمة لانحراف الشعاع المنعكس تسمح للأنبوب الماص بإعتراضه, كما هو موضح على الشكل (2-9).



الشكل 2-8: العلاقة بين زاوية الحافة و نسبة البعد البؤري الى عرض الفتحة (f/w)

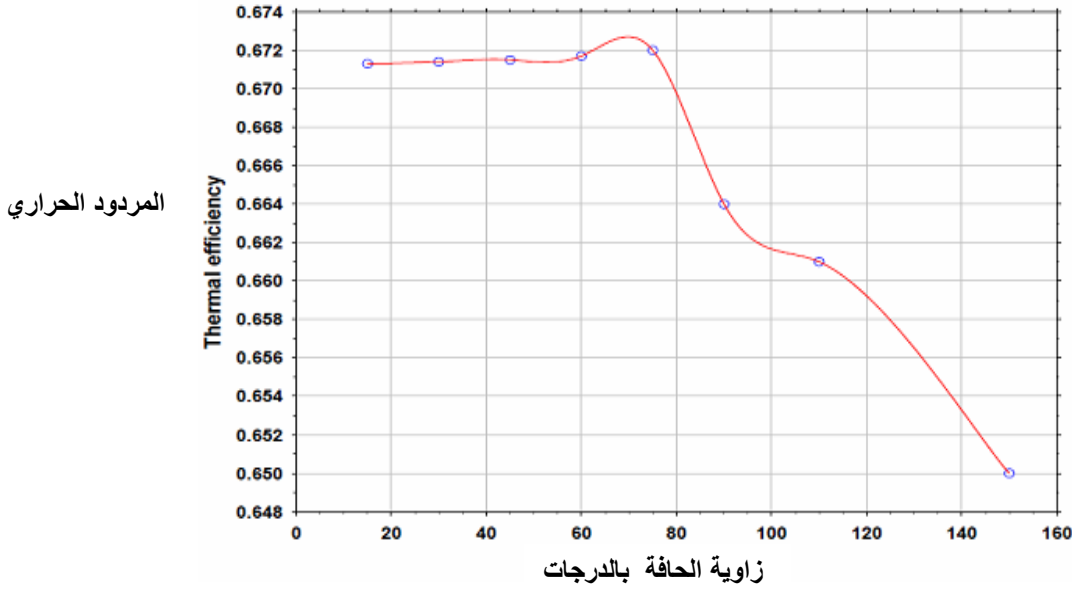
ويعطى بيان نسبة العرض $\frac{f}{w}$ بدلالة زاوية الحافة :



الشكل 2-9 بيان تغيرات (f/w) بدلالة زاوية الحافة

يوضح البيان تغيرات (نسبة البعد البؤري إلى عرض الفتحة) بدلالة زاوية الحافة، حيث تزداد زاوية الحافة بتناقص هذه النسبة، ولتحديد شكل وحجم القطع المكافئ بدقة يتطلب تحديد المقادير الثلاث (عرض الفتحة W ، البعد البؤري f ، زاوية الحافة R). في أحواض القطع المكافئ العملية يجب أن تكون زاوية الحافة θ_R ليست كبيرة جدا ولا صغيرة جدا، وهي دلالة مهمة جدا في بناء

PTC, حيث لها تأثير على قيمة التركيز الهندسي للإشعاع, كما لزاوية الحافة تأثير على المردود الحراري للمجمع الشمسي, ويوضح الشكل (2-10) أن أعلى قيمة للمردود الحراري توافق زاوية الحافة $\theta_R = 70^\circ$.



الشكل 2-10: بيان تغيرات المردود الحراري بدلالة زاوية الحافة

2-6-3) مساحة الفتحة A_{ap}

و هي المساحة التي تستقبل الإشعاع الشمسي المباشر و تتعلق بطول المجمع الشمسي وعرض الفتحة W

$$A_{ap} = W \cdot L \quad (2 - 6)$$

2-6-4) التركيز الهندسي

التركيز الهندسي هي النسبة بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الخط البؤري - بعد التركيز - وشدة الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على فتحة المجمع, و تمثل نسبة مساحة الفتحة إلى مساحة السطح المستقبل (الأنبوب الماص) ويعطى بالعلاقة التالية:

$$C = \frac{A_{ap}}{A_r} = \frac{(W - D_{rex})L}{\pi \cdot D_{rex}L} = \frac{(W - D_{rex})}{\pi \cdot D_{rex}} \quad (2 - 7)$$

2-6-5) مساحة السطح العاكس A_{ref} :

وهي مساحة العاكس الأسطواني القطع مكافئ وتعطى بالعلاقة:

$$A_{ref} = L \cdot S_p \quad (2 - 8)$$

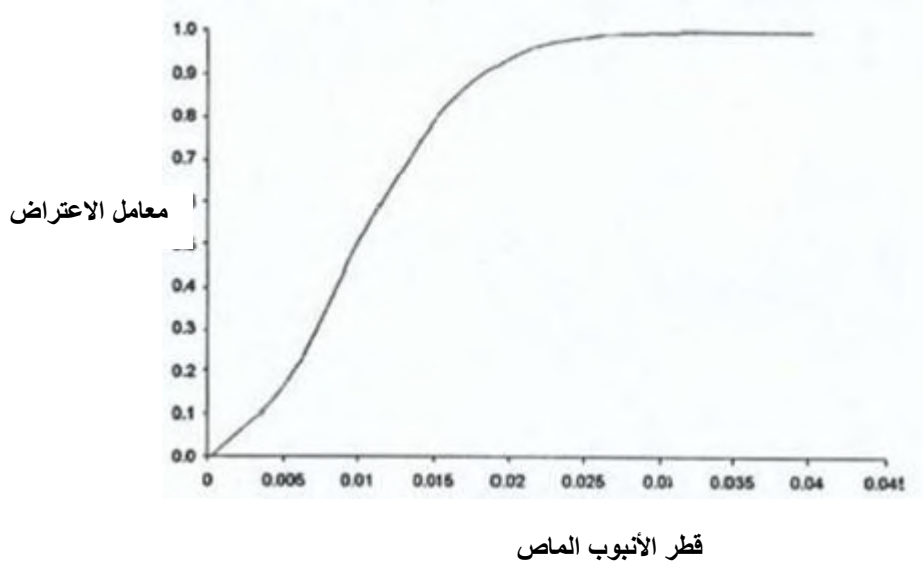
حيث S_p يمثل طول القوس القطع مكافئ من العاكس والذي يعطى بالعلاقة [46]:

$$S_p = \left[\frac{W}{2} \sqrt{\left[\frac{4h_c}{W} \right]^2 + 1} \right] + 2f \ln \left[\frac{4h_c}{W} + \sqrt{\left[\frac{4h_c}{W} \right]^2 + 1} \right] \quad (2 - 9)$$

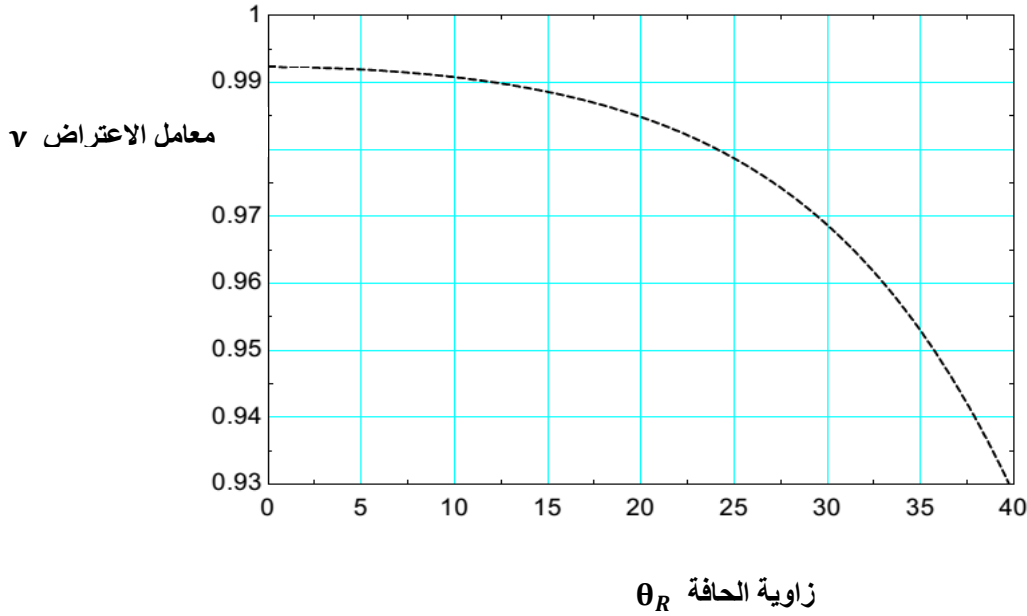
2-6-6) معامل الاعتراض γ

وهو نسبة شدة الإشعاع الذي يعترضه الأنبوب الماص إلى شدة الإشعاع المنعكس بواسطة جهاز التركيز, ويزداد معامل الاعتراض بازدياد قطر الأنبوب الماص, حيث يبلغ معامل الاعتراض قيمته القصوى من أجل قطر الأنبوب الماص $D_r = 3 \text{ cm}$ (حيث التركيز الهندسي 212, كما يوضحه الشكل (2-11), كما يتعلق معامل الاعتراض بزاوية الحافة حيث يتناقص بازدياد زاوية

الحافة كما يوضحه الشكل (2-12). [6]



الشكل (2-11): بيان تغيرات معامل الاعتراض بدلالة قطر الأنبوب الماص



الشكل 2-12: بيان تغيرات معامل الاعتراض بدلالة زاوية الحافة

7-2) المردود الضوئي

يتعلق المردود الضوئي للمجمع الشمسي بالخواص الضوئية للمواد (انعكاسية السطح العاكس ρ , النفاذية τ لكل من الظرف والسطح الزجاجيين , الامتصاصية α للأنبوب الماص) كما يتعلق بمعامل الاعتراض γ ومعامل التراجع الهندسي A_f وزاوية ورود للإشعاع الشمسي i وتعطى عبارته

$$\eta_{op} = \rho \cdot \tau_c \tau_e \alpha_r \gamma [1 - A_f \tan i] \cos i \quad (10 - 2)$$

ومن أجل الإشعاع الشمسي ناظمي على سطح الفتحة ($i=0$) (ويتحقق هذا بصورة مستمرة في حالة التتبع بمحوري دوران) يكون المردود الضوئي

$$\eta_{op(i=0)} = \rho \tau_c \tau_e \alpha_r \gamma \quad (11 - 2)$$

8-2) التتبع الشمسي

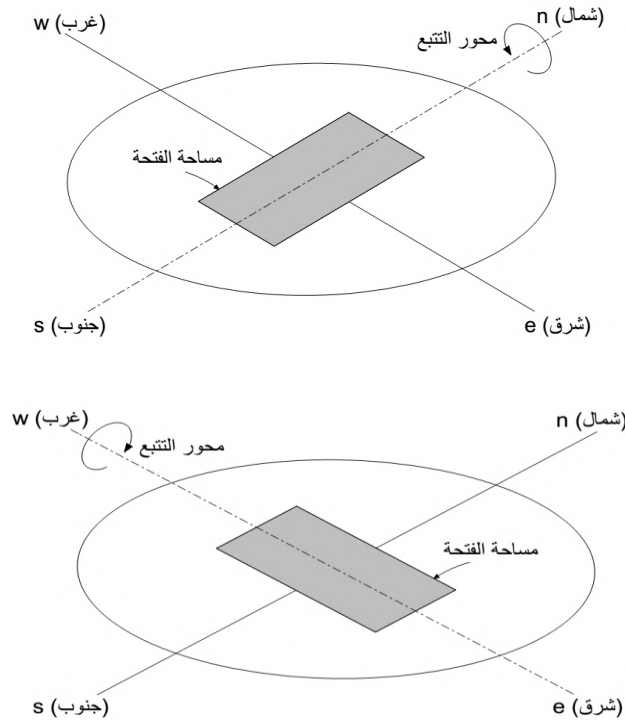
نظرا لتغير موقع الشمس بالنسبة لسطح الأرض خلال اليوم (شروق - غروب) و خلال مختلف أيام السنة, لذا فإننا بحاجة إلى التتبع المستمر لتوجيه سطح الفتحة نحو الإشعاع الشمسي للحصول على أقصى تدفق للطاقة الشمسية على فتحة (PTC), وللتحسين في قيمة المردود الضوئي η_{op} وهناك نوعان رئيسيان للتتبع الشمسي:

1-8-2) التتبع الشمسي بمحوري دوران

التتبع بمحوري دوران : في هذه الحالة تتم حركة المجمع أفقيا نحو سمت الشمس ورأسيا نحو ارتفاع الشمس, بحيث تبقى أشعة الشمس دوماً ناظمية على سطح الفتحة, ومنه ينعدم معامل التراجع الهندسي A_f وبالتالي يكون المردود الضوئي η_{op} في قيمته العظمى . لكن هذه الحالة غير مستخدمة في أنظمة (PTC) نظرا لكون تصميم محطات (PTC) يتطلب طول كبير مما يعيق إمكانية الحركة أفقيا, كما أن هذا النوع من التتبع يستهلك طاقة غير مبررة.

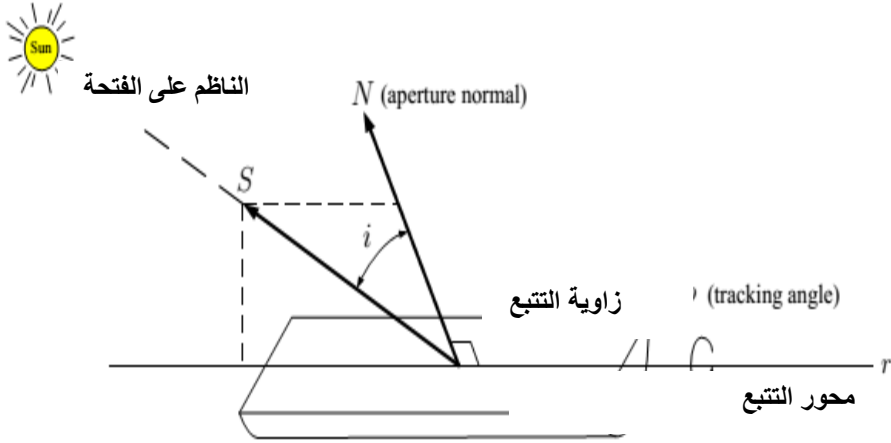
2-8-2) التتبع الشمسي بمحور دوران واحد

في هذه الحالة تتم حركة المجمع رأسيا نحو ارتفاع الشمس بحيث تبقى أشعة الشمس دوماً تقع في المستوى الناظمي على سطح الفتحة, وبذلك التحسين في قيمة المردود الضوئي η_{op} وهذه الحالة هي المستعملة في أنظمة (PTC), لكونها غير مكلفة وهي على نوعين (شمال - جنوب) أو (شرق - غرب) كما يوضحه الشكل (13-2)



الشكل (13-2) | التتبع الشمسي بمحور (شمال-جنوب) : التشبع الشمسي بمحور (شرق - غرب)

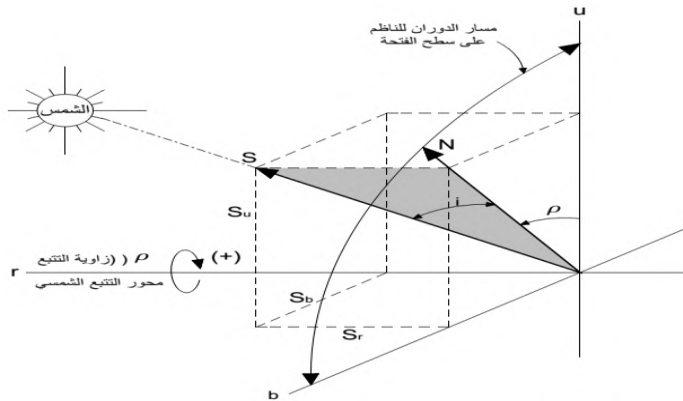
يتم التتبع بحيث تكون أشعة الشمس واقعة في المستوى الناظمي على سطح فتحة المجمع والذي يشمل محور التتبع, ومن أجل التعبير عن زاوية التتبع ρ وزاوية الورد i في كل لحظة, من الضروري التحول إلى نظام إحداثيات يكون فيه محور التتبع Γ أحد المحاور الثلاثة كما يبين الشكل (14-2).



الشكل 2-14: زاوية الورد الشمسي على سطح الفتحة

في حالة محور تتبع أفقي (I) ونأخذ (b) المحور الموازي لسطح الأرض والعمودي على (I), والمحور U هو المحور العمودي على مستواهما, كما يبينه الشكل (2-15).

نلاحظ أن الناظم على سطح الفتحة N يدور أثناء التتبع في المستوي (U-b).



الشكل 2-15: إسقاطات الشعاع الشمسي الوارد على سطح الفتحة في حالة التتبع بمحور دوران واحد

ومن خلال الشكل (2-15) نكتب عبارة كل من زاوية الورد i و زاوية التتبع ρ

$$\tan \rho = -\frac{S_b}{S_u} \quad (12 - 2)$$

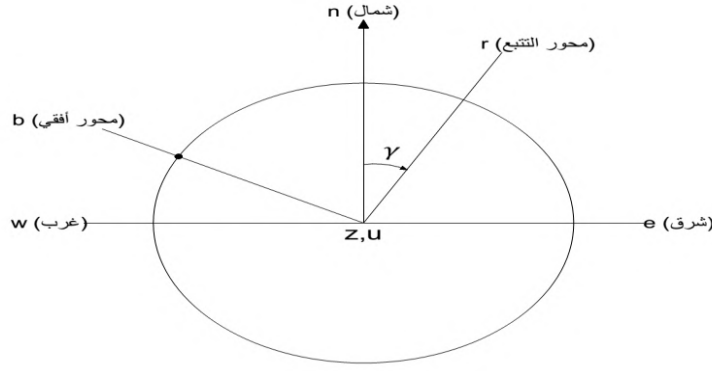
$$\cos i = \sqrt{S_b^2 + S_u^2} \quad (13 - 2)$$

$$\cos i = \sqrt{1 - S_r^2} \quad (14 - 2)$$

في حالة محور التتبع أفقي لكن مائل عن المحور (شمال - جنوب) بزاوية γ

لوصف هذه الحالة نقوم بتدوير المعلم (u,b,I) بزاوية γ بالنسبة للمعلم (Z,W,Ω), بحيث يبقى المحورين U و Z منطبقين

كما يبين الشكل (2-22).



الشكل 2-16: التحويل من محور التتبع الى المعلم السطح ارضي

ومن خلال الشكل (2-16) نكتب علاقة التحويل بين المعلمين حيث لا يزال محور التتبع أفقي:

$$\begin{vmatrix} S_r \\ S_b \\ S_u \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} S'_i \\ S'_j \\ S'_k \end{vmatrix} \quad (15 - 2)$$

ومن ثم نحصل على عبارة زاوية التتبع ρ :

$$\tan \rho = \frac{\sin(\gamma - a)}{\tan h} \quad (16 - 2)$$

وزاوية الورد i بالنسبة للتتبع بمحور دوران واحد أفقي تعطى بالعلاقة:

$$\cos i = \sqrt{1 - \cos^2 h \cos^2(\gamma - a)} \quad (17 - 2)$$

وعندما يكون محور التتبع موجه (شمال - جنوب) أي الزاوية $\gamma = 0$

فإن المعادلات تصبح:

$$\tan \rho = -\frac{\sin a}{\tan h} \quad (18 - 2)$$

$$\cos i = \sqrt{1 - \cos^2 h \cos^2 a} \quad (19 - 2)$$

وعندما يكون محور التتبع موجه (شرق - غرب) أي $\gamma = 90^\circ$

فإن المعادلات تصبح:

$$\tan \rho = \frac{\cos a}{\tan h} \quad (20 - 2)$$

$$\cos i = \sqrt{1 - \cos^2 h \sin^2 a} \quad (21 - 2)$$

2-9 حالة عدم التتبع (تثبيت المجمع الشمسي)

في هذه الحالة تتعلق زاوية الورد i بين الشعاع الشمسي والناظم على سطح فتحة المجمع الشمسي بزوايا (دائرة خط العرض

للمنطقة , زاوية الميلان الشمسي , زاوية السميت , زاوية الساعة الشمسية , زاوية ميلان سطح المجمع عن الأفق β) وتعطى بمعادلة (John et al , 1991):

$$\cos i = \sin \varphi (\sin \delta \cos \beta + \cos \delta \cos a \cos w \sin \beta) + \cos \varphi (\cos \delta \cos w \cos \beta - \sin \delta \sin a \sin \beta) + (\cos \delta \sin a \sin w \sin \beta) \quad (22 - 2)$$

وفي حالة سطح الفتحة أفقية $\beta = 0$ تصبح زاوية الورد

$$\cos i = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos w \quad (23 - 2)$$

ومن أجل توجيه المجمع نحو الجنوب (زاوية سميت المجمع معدومة) $a = 0$ مع ميلان عن الأفق بزاوية β

$$\cos i = \sin(\varphi - \beta) \sin \delta + \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega \quad (24 - 2)$$

10-2 آليات التتبع للمجمعات الشمسية

يتم التتبع بإحدى الآليات :

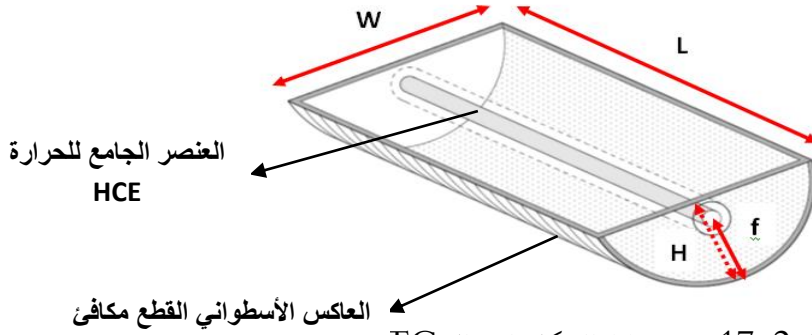
1/التحكم اليدوي: دون اي محرك او اجهزة تحكم ,اعتمادا على الظل.

2/المعالجة الدقيقة: باستعمال صيغ رياضية للتنبؤ بحركة الشمس خلال التشميس واعتمادا من خلال برنامج لوغاريتمي يتم تقييده من خلال دارات الكترونية.

3/ وحدات التحكم الكهروضوئي: وذلك من خلال لواقط استشعار لتقدير وضع الشمس.

11-2 مكونات المجمع الاسطواني القطع المكافئ (PTC)

يتكون نظام PTC من سطح عاكس أسطواني قطع مكافئ يركز الإشعاع الشمسي نحو العنصر الجامع للحرارة (HCE) المثبت بالمحور البؤري, ويسري داخل هذا الأخير مائع ناقل للحرارة (HTF) يكتسب الحرارة المفيدة لينقلها إلى وسيط التخزين. وبملاك الأبعاد التالية : الطول L , عرض الفتحة w , البعد البؤري f , الإرتفاع H , كما هو موضح بالشكل (2-17) .



الشكل 2-17 مخطط للشكل العام لل (PTC) .

11-2-1 العاكس

يتكون من عاكس على شكل مرآة زجاجية مفضضة أو الألمنيوم المصقول أو (INOX) حيث يتجاوز معامل الانعكاس (88%) خاصة في مجال الضوء المرئي, و يتم تثبيتها طوليا على شكل اسطواني بحيث يكون مقطعها العرضي قطع مكافئ, ويجب أن تحافظ مادة العاكس على معامل انعكاسها لمدة طويلة تحت مختلف الظروف الجوية والمناخية. و يتم تثبيتها بدقة من خلال هيكل الدعم الذي يجب أن تتوفر فيه الصلابة و القوة لتحمل الوزن لنظام (PTC), و للحفاظ على الدقة الهندسية للشكل الأسطواني القطع مكافئ في مختلف الظروف, الرياح والامطار والحرارة. مع خفة الوزن لسهولة حركة التتبع الشمسي.

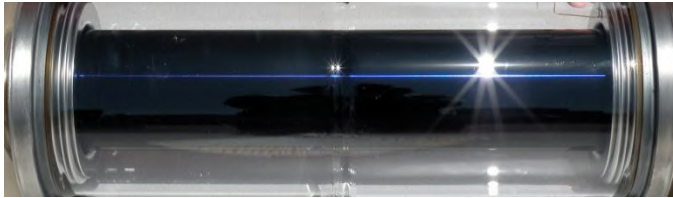
11-2-2 العنصر الجامع للحرارة (HCE)

يقع العنصر الجامع للحرارة في الخط البؤري للسطح العاكس القطع المكافئ, حيث يتكون من الأنبوب الماص (من النحاس عادة أو الفولاذ المقاوم للصدأ), ويكون سطحه الخارجي مطلي بطبقة انتقائية لتحسين خواصه الضوئية (امتصاصية عالية للضوء المرئي + معامل انبعاث ضعيف جدا للأشعة تحت الحمراء عند درجات الحرارة العالية للسطح الماص), وبذلك يتم امتصاص جزء كبير من الإشعاع الشمسي الوارد مع الحد بشكل كبير من الضياع بالإشعاع الحراري المنبعث, وتعطى قيم معامل الامتصاص ومعامل الانبعاث لبعض الطلاءات الانتقائية في الجدول (2-1):

الجدول (1-2): قيم معامل الامتصاص والانبعاث لبعض الطلاءات الانتقائية

نوع الطلاء الانتقائي	معامل الامتصاص α	معامل الانبعاث ϵ
الكروم الأسود	0.93	0.10
النيكل الأسود على النيكل المصقول	0.92	0.11
النيكل الأسود على الحديد المجلفن	0.89	0.12
على النيكل CuO	0.81	0.17
على الفضة Co_3O_4	0.90	0.27
على الألمنيوم CuO	0.93	0.11
على أكسيد الألمنيوم CuO	0.85	0.11
Solchrome	0.96	0.12
طلاء أسود	0.96	0.88

ويحاط الأنبوب الماص بظرف زجاجي - عادة زجاج borosilicate أو Pyrex - (الذي يحافظ على متانته ونفاذيته تحت درجات حرارة عالية) مع طلاء مضاد للانعكاس لزيادة النفاذية و التقليل من خسائر الانعكاس, ويكون الظرف الزجاجي مفرغ من الهواء لحماية السطح الانتقائي للأنبوب الماص من التدهور والتأكسد, كما يقلل من الضياع الحراري (بالحمل والتوصيل), حيث عندما يكون الضغط داخل الفراغ في حدود 0.01 Pa فإن في هذا المستوى من الضغط يكون انتقال الحرارة الضائعة بين سطح الأنبوب الماص الساخن والظرف الزجاجي البارد عبر الإشعاع فقط الشكل (2-24).



الشكل 2-18 العنصر الجامع للحرارة (HCE)

3-11-2 المائع الناقل للحرارة HTF

الموائع الأكثر شيوعاً هي الماء, الزيوت الهيدروكربونية, الجليكول, الهواء, الأملاح المنصهرة. وأثناء اختيار المائع الناقل للحرارة يجب مراعاة المعايير التالية: معامل التمدد منخفض, معامل لزوجة منخفض, سعة حرارية مرتفعة, نقطة التجمد منخفضة والغليان مرتفعة.

✓ **الهواء**: غير سام وغير مكلف ولا يتجمد ولا يغلي وليس له تآكل ومع ذلك فإن له سعة حرارية منخفضة جداً كما أنه يتسرب من المجاري.

✓ **الماء**: غير سام وغير مكلف لديه سعة حرارية عالية ولزوجة منخفضة جداً مما يجعله سهل الضخ, لكن السيئ أن الماء لديه نقطة غليان منخفضة نسبياً ونقطة تجمد عالية كما يمكن أن يكون له تآكل إن لم يتم الحفاظ على درجة حموضته في المستوى المحايد ($PH \approx 7$).

✓ الزيوت الهيدروكربونية: لها نقطة تجمد منخفضة ونقطة غليان مرتفعة, لكن لديها لزوجة عالية مما يتطلب المزيد من الطاقة لضخها ولها سعة حرارية منخفضة مقارنة بالماء.

تستخدم الزيوت الحرارية كمائع ناقل للحرارة لإنتاج البخار بشكل غير مباشرة بواسطة المبادلات الحرارية, حيث تتكون الزيوت الإصطناعية الشائعة الاستعمال من مخاليط من ثنائي الفينيل وأكاسيد ثنائي الفينيل, والتي تتميز بالاستقرار الحراري والحفاظة على حالتها السائلة حتى في درجات حرارة تصل إلى $400^{\circ}C$, بينما من أهم عيوبها التكلفة والقابلية للاشتعال والسمية وملوثة للبيئة.

و يتم اختيار المائع (HTF) حسب درجة الحرارة المطلوبة و خيارات التخزين الحراري, حيث يتم اختيار الزيوت الحرارية عند درجات الحرارة الأعلى من $200^{\circ}C$ لأن استخدام الماء في هذه الدرجة يؤدي إلى ضغوط عالية داخل الأنابيب الماص ينتج عنها زيادة في التكلفة.

2-12) مكونات مركز شمسي مقعر

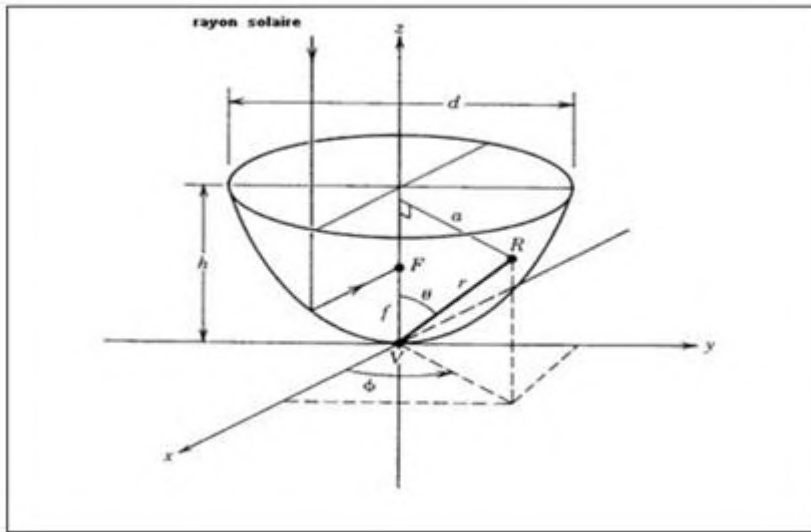
المركز الشمسي المقعر يتكون من العناصر التالية:

2-12-1) العاكس :

نحصل على مجسم قطع مكافئ بدوران القطع المكافئ حول محوره. معادلة القطع المكافئ للدوران حول المحور في الاحداثيات الديكارتية مع (Z محور التناظر)

$$X^2 + Y^2 = 4.f.Z$$

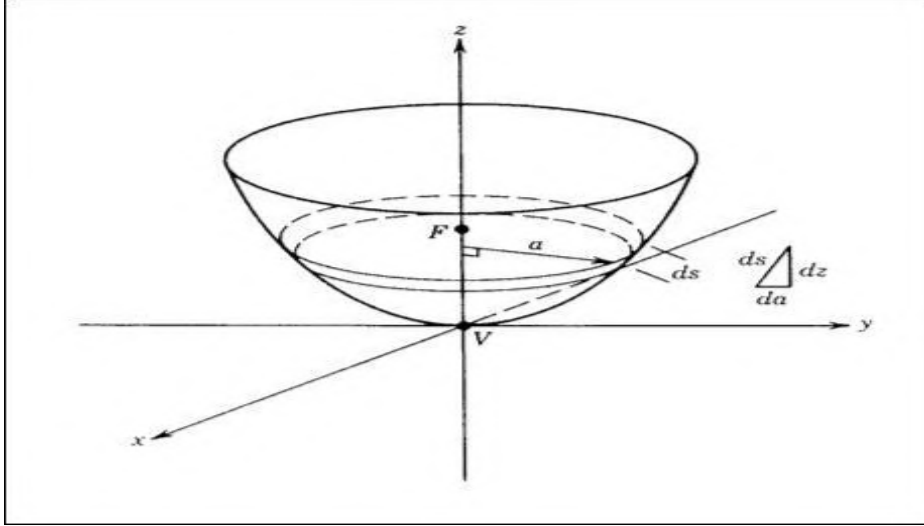
$$Z = a^2/4.f$$



الشكل 2-19 دوران القطع المكافئ

سطح القطع المكافئ يمكن ان يوجد بمكاملة المعادلة :

$$ds = 2.\pi. a\sqrt{dz^2 + da^2} \quad (25-2)$$



الشكل 2-20 العنصر التفاضلي لسطح قطع مكافئ

وبالتالي:

$$das = 2 \cdot \pi \cdot a \sqrt{\left(\frac{a}{2f}\right)^2 + 1} da \quad (26-2)$$

مساحة سطح القطع المكافئ تعين ب:

$$As = \int_0^{d/2} dAs = \frac{8}{3} \cdot \pi \cdot f \left\{ \left[\left(\frac{d}{4f}\right)^2 + 1 \right]^{3/2} - 1 \right\} \quad (27-2)$$

مساحة الفتحة لقطع مكافئ تعطى ب:

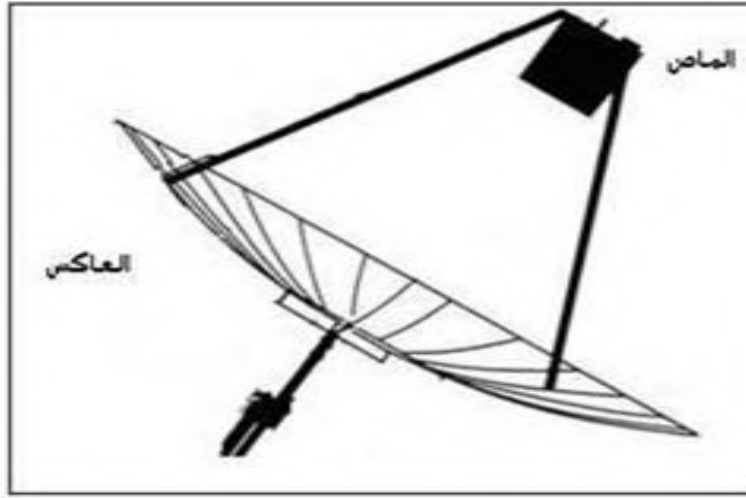
$$Aa = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (28-2)$$

باستعمال المعادلة (2) نجد:

$$Aa = 4 \cdot \pi \cdot f \frac{\sin^2 \varphi}{(1 + \cos \varphi)} \quad (29-2)$$

2-12-2) المستقبل (السطح الماص):

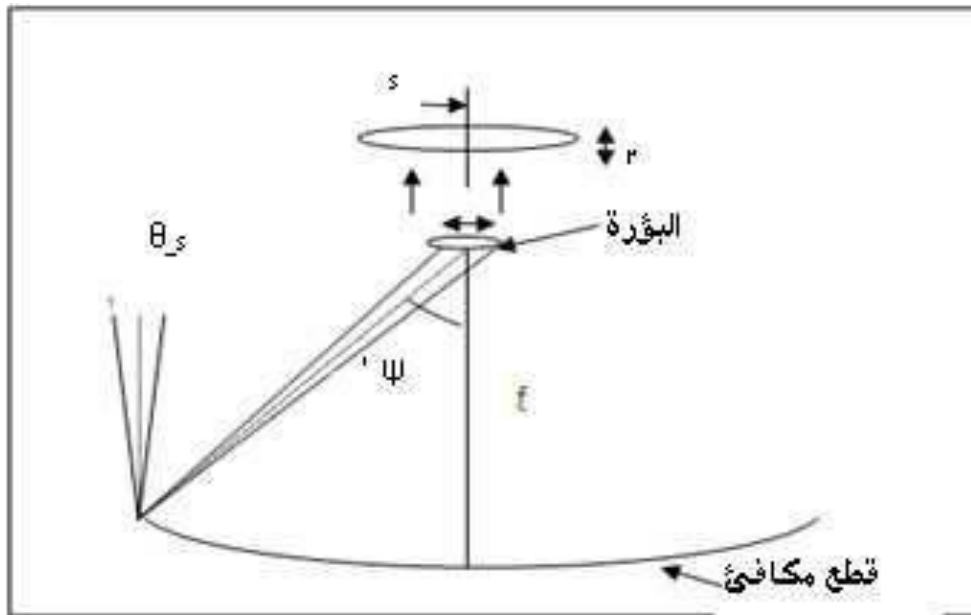
المستقبل هو الذي يمتص الاشعاع الشمسي الاتي الى البؤرة



الشكل 2-21 مركز شمسي مقعر

3-12-2) ابعاد المستقبل:

كل الاشعة الضوئية التي تنعكس على المركز تكون موازية للنقطة البؤرية . عندما تكون زاوية الفتحة في حالة غير خطية مع الشمس فان انعكاس الاشعة على المستقبل يشكل صورة دائرية تكون متمركزة في البؤرة



الشكل 2-22 صورة القطع المكافئ

$$r = \frac{f \cdot \theta_s}{1 + \cos \varphi} \quad (30-2)$$

$$s = \frac{f \cdot \theta_s}{(1 + \cos \varphi) \cos(\varphi + \theta_s)} \quad (31-2)$$

r : نصف القطر الاصغري

S: نصف القطر الاعظمي

الخلاصة:

تعتبر انظمة التركيز الشمسي من اهم التكنولوجيات في بناء محطات كهرباء الطاقة الشمسية المركزة والتي تعتبر البديل عن توليد الكهرباء بالطاقة الأحفوري وما يمثله هذا البديل من تحدي عالمي قصد وقف التدهور البيئي وما انجر عنه من انعكاسات وخيمة على صحة الانسان والبيئة ولذلك اهتمت الدراسات على ممر العصور الى الان بالتحسين من الفعالية والمردود الضوئي والحراري للمركزات الشمسية.

الفصل الثالث: دراسة أنظمة

تخزين الطاقة الحرارية

دراسة أنظمة تخزين الطاقة الحرارية

يحتوي هذا الفصل على دراسة لمختلف أنواع أنظمة التخزين الحراري المعمول بها

- 1-3 مقدمة
- 2-3 معايير تصنيف أنظمة التخزين
- 3-3 التخزين الحراري
- 1-3-3 التخزين بالحرارة المحسوسة
- 1-1-3-3 التخزين الحساس بالسوائل
- 2-1-3-3 التخزين الحساس بالمواد الصلبة
- 2-3-3 التخزين بالحرارة الكامنة
- 3-3-3 المواد متغيرة الطور
- 1-3-3-3 أكثر المواد المتغيرة الطور استخداما
- 2-3-3-3 عيوب ومزايا متغيرات الطور العضوية
- 3-3-3-3 تقنيات لتكييف مواد متغيرة الطور
- 4-3-3-3 استخدامات متغيرات الطور
- 4-3-3 التخزين الحراري الكيميائي
- 1-4-3-3 تخزين وقودي
- 2-4-3-3 التخزين الحراروكيميائي
- 4-3 فوائد تخزين الطاقة الحرارية
- 5-3 ملخص لميزات كل نظام والتطبيقات الأكثر مناسبة لاستخدامها

3-1/مقدمة:

يستخدم الوقود الاحفوري (النفط, الفحم, الغاز الطبيعي...) حاليا بشكل واسع كمصدر للطاقة, ونظرا للطلب العالمي المتزايد على هذا المصدر من الطاقة فان مخزونه الاحتياطي اصبح يتناقص باستمرار. لذلك يحاول العلماء البحث عن مصادر بديلة ومناسبة للطاقة مثل الطاقة الشمسية اهمها .

غير ان تقنية الطاقة الشمسية لا تخلو من مشاكل اهمها طبيعتها المتغيرة .اذ من الممكن ان لايتزامن توفرها مع وقت الحاجة الملحة لها .ومن هنا تنبع اهمية تخزين الطاقة الشمسية كتقنية هامة لتوفير الطاقة في كل الاوقات حتى عند احتجاب الشمس بالليل او بسبب الغيوم والسحب , كما ان التطوير في هذه التقنية يكتسب اهمية خاصة بسبب ما تتمتع به الطاقة الشمسية من مزايا اهمها انها طاقة نظيفة ومتوفرة بقدر هائل وغير قابلة للنضوب بقدرة الله.

هناك عدة طرق لتخزين الطاقة الشمسية اهمها التخزين الحراري للطاقة ,وهذا ما نحن بصدد التطرق اليه في هذا الفصل استعراضا لأهم نماذج تخزين الطاقة الشمسية بحول الله.تعالى

يمكن تخزين الطاقة الشمسية لفترات طويلة او قصيرة حسب متطلبات الطاقة, ويرافق ذلك ثلاث اليات رئيسة معروفة هي الشحن والتي يتم من خلالها تخزين الطاقة الحرارية القادمة من المن المجال الشمسي التخزين الحراري لمدة اطول او اقل وفقا للاحتياجات او عملية التطبيق والتفريغ الذي يتوافق مع مرحلة استعادة الطاقة الحرارية لإنتاج الكهرباء, وعلى هذا الاساس يعتمد تصميم نظام التخزين على عدة متغيرات وعوامل اهمها:

*شدة الاشعاع الشمسي .

*نوع وسط التخزين المستخدم.

*ومقدار الفقد في الحرارة اثناء التخزين.

*تكلفة معدات التخزين.

تكلفة المبدل الحراري

كثافة الطاقة العالية(لكل وحدة كتلة او حجم)

الموصلية الحرارية العالية

عمليات نقل الحرارة الفعالة بين سائل التبريد/سائل التشغيل ومواد التخزين

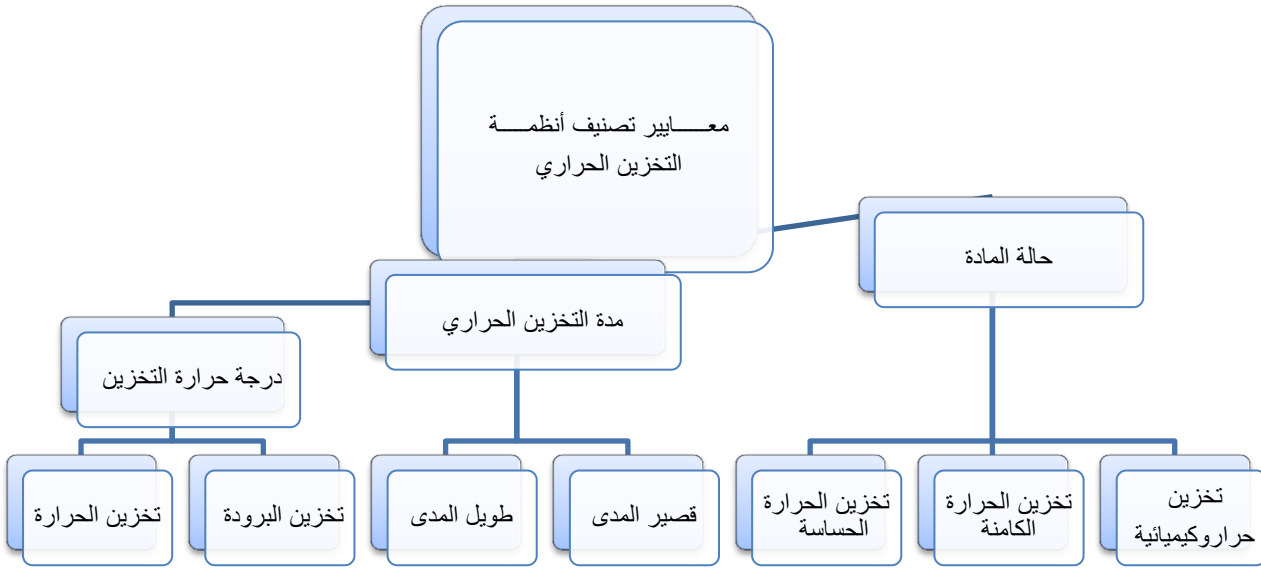
الاستقرار الميكانيكي والكيميائي لمواد التخزين

التوافق الكيميائي بين ناقل الحرارة/سائل العمل, المبادل الحراري /او مواد التخزين

*الحمل الحراري او الكهربائي المطلوب.

3-2 / معايير تصنيف انظمة التخزين: [3]

يمكن تقسيم تقنيات تخزين الطاقة الحرارية الى عدة اقسام حسب معايير مختلفة متمثلة في المخطط التالي:

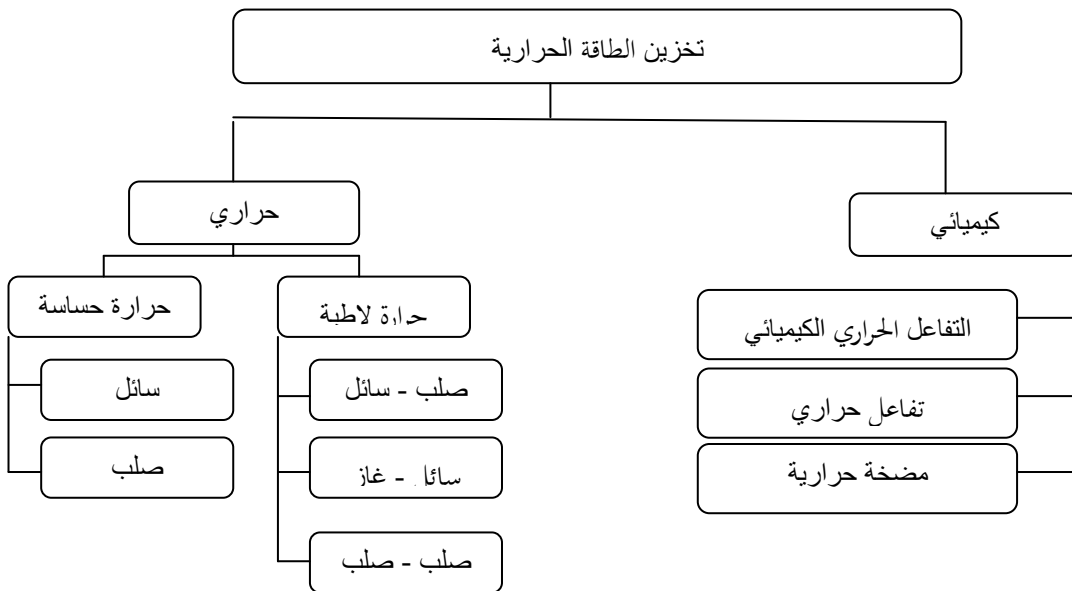


الشكل 3-1 معايير تصنيف أنظمة التخزين الحراري

وسنقوم في هذه الدراسة باختيار معيار حالة المادة لاختيار نظام التخزين المناسب

3-3 / التخزين الحراري:

يتم عادة تخزين الحرارة بثلاث طرق معروفة، الاولى ترتبط بتخزين الحرارة المحسوسة المتراكمة والثانية تتعلق بتخزين الحرارة المتبادلة اثناء تغير الطوري في وسط التخزين والثالثة تتعلق بالتحولات الكيميائية التي يرافقها امتصاص او طرد للحرارة. والتي يمكن تلخيصها في هذا المخطط التالي:



الشكل 3-2 مخطط يوضح تقنيات تخزين الطاقة الحرارية الثلاث

3-3-1/التخزين بالحرارة المحسوسة:

تخزين الحرارة المحسوسة هو تقنية التخزين الاكثر نضجا حتى الان ,هذا النوع من التخزين يستخدم صناعيا في العديد من محطات الطاقة الشمسي (برج الطاقة الشمسية) يعتمد مبدأ تخزين الحرارة المحسوسة المتراكمة عن طريق تغير في درجة حرارة الوسط دون تغيير في بنيته الفيزيائية او الكيميائية كالماء و الصخور والحصى و الطوب الاحمر وبعض الزيوت والأملاح و المواد غير العضوية وغيرها. وفي حالة المواد الصلبة المسامية فان الحرارة تخزن عن طريق تدفق الغاز او السائل عبر مساماتها وتجاويفها,ويرتبط اختيار المادة عند تخزين الحرارة المحسوسة بنوع التطبيق ودرجة الحرارة المطلوبة في هذا النظام، كمية الحرارة المخزنة تعتمد على :

- السعة الحرارية لوسيلة التخزين
- التغير في درجة حرارة
- كتلة مواد التخزين .

بجيث اذا كان ضغط ثابت وقمنا بتسخين جسم صلب او سائل ذو كتلة m وسعة حرارية كتلية $C(T)$ من درجة حرارة ابتدائية T_1 إلى درجة حرارة نهائية T_2 . كمية الطاقة المخزنة في هذه الحالة تعطى بالعلاقة التالية:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} m Cp dT \quad 1-3$$

Q : كمية الحرارة المخزنة (J).

m : كتلة مادة التخزين (Kg) .

Cp : الحرارة النوعية الخاصة بمادة التخزين (J/ K gK).

dT : التغير في درجة الحرارة أثناء عملية التخزين

وباعتبار ان الحرارة النوعية ثابتة في مجال درجات الحرارة بين T_1 و T_2 : $C(T)= C$) ومنه :

$$Q = m Cp (T_2 - T_1) \quad 2-3$$

من الملاحظ أن كمية الطاقة المخزنة تتناسب مع الفرق في درجة الحرارة اذا فهذا النوع من التخزين يكون مهم ومعتبر فقط عند الفروق الكبيرة في درجة الحرارة . و نميز الحالتين التاليتين:

- اذا كان : $T_2 > T_1$ في هذه الحالة نتكلم عن التخزين الساخن.
- اذا كان : $T_2 < T_1$ في هذه الحالة نتكلم عن التخزين البارد .

3-3-1-1 / التخزين بالسوائل: يمكن تلخيصها في الجدول التالي

الجدول 3-1 / خصائص مواد التخزين بالسوائل

المادة	خصائصها
الماء	<p>: يعتبر الماء أفضل وسيط للتخزين في درجات الحرارة المنخفضة ، وهذا يرجع للسعة الحرارية الكبيرة التي تميزه مقارنة مع الاجسام الاخرى ($J/Kg K$) 4185 عند $20^{\circ}C$) وهكذا فالماء يستطيع تخزين حوالي $250 KJ/Kg$ عند تغير الحرارة بـ $60^{\circ}C$. إضافة الى أن الماء غير مكلف وهو موجود بكثرة ويمكن الحصول عليه بسهولة . لكن ارتفاع ضغط بخاره بالنسبة للتطبيقات في درجة الحرارة عالية يستوجب عملية عزل الماء وهو مكلف ، فالخزان يجب ان يقاوم الضغوط العالية . كما ان الماء لا يعتبر فقط كوسيط لتخزين لكن يستعمل كوسيط لنقل الطاقة .</p>
زيوت عضوية	<p>زيوت عضوية : لديها ضغط بخار أضعف من الماء كما يمكن استعمالها في درجات حرارة عليا أكثر من $300^{\circ}C$ لكن أقل من $350^{\circ}C$ لتجنب تفككها . سعتها الحرارية من 25% الى 40% من سعة الماء</p>
املاح معدنية ذائبة	<p>يعتبر هيدروكسيد الصوديوم هو الأكثر استعمالا لديه درجة انصهار قيمتها $320^{\circ}C$. ومن الممكن استعماله في درجة أكبر من $800^{\circ}C$ لكنه يسبب تآكل ويصعب تخزينه في درجة حرارة عالية</p>

3-3-1-2 / التخزين بالمواد الصلبة :

يعد استخدام الصخور والحصى من اهم مبادئ التخزين بالمواد الصلبة , وفي هذه الطريقة يتم وضعه متراصة في حيز مغلق ومعزول, وهي مناسبة جدا للاستخدام في المباني او المرافق العامة
 كما تجنبنا مشاكل اخرى تسببها بعض السوائل مثل : تآكل و الاستقرار والامن ، يوجد تنوع كبير في مواد الصلبة المستعملة فنجد مثلا : مادة حديد الزهر (la fonte) هي المادة الاكثر ملائمة نظرا لكثافة تخزينها التي تتعدى الماء . لكن هذه المادة تبقى مكلفة مقارنة بالمواد الاخرى مثل : الخرسانة - الطوب - الحجر
 وهذا التخزين يستعمل عند درجة حرارة أكبر من $100^{\circ}C$ بالتعاون مع تدفئة الهواء بالطاقة الشمسية علما أن الحصى يمكن ان يستعمل في درجة حرارة تفوق حتى $1000^{\circ}C$. الجدول (1) يوضح بعض خصائص المواد المستعملة في تخزين عو الحرارة الحساسة عند الدرجة $20^{\circ}C$

الجدول 3-2 / يوضح خصائص مواد تخزين الحرارة الحساسة عند 20 درجة مئوية

المواد	الكثافة Kg/m ³	الحرارة النوعية j/kg.k	السعة الحرارية الحجمية Kj/m ³
الطين	1458	879	1.28
الطوب	1800	837	1.51
حجر رملي	2200	712	1.57
الخشب	700	2390	1.67
الخرسانة	2000	880	1.76
الزجاج	2710	837	2.27
الالمنيوم	2710	896	2.43
الحديد	7900	452	3.57
النحاس	7840	465	3.68
الماء	9880	4182	4.17

3-3-2/التخزين بالحرارة الكامنة:

عند حدوث تبادل حراري في وسط ما فان ذلك يرافقه تغير في الطور من حالة الى اخرى مثل تغير لحالة من صلب الى سائل الى غاز . تدعى هذه الالية بالتخزين الحراري الكامن . اذن يمكن القول ان الحرارة الكامنة هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل المادة من حالة الى اخرى لكل واحد كيلوغرام من المادة وتعتبر من الخصائص المميزة للمادة , فخلال مرحلة تغير الحالة للمواد من الصلبة الى السائل او من السائل الى الغازية يمكن ان تخزن الطاقة الحرارية بدون تغير في درجة حرارتها بطريقة ايزوتارم , فعند حدوث التحول لا بد من تزويد المادة بحرارة من الخارج ولهذا يعتبر هذا النوع من العمليات ماص للحرارة . فالحرارة الكامنة هي الطاقة التي تلعب دور في تغير حالة المادة كذلك خواص المادة وكمية المادة المستعملة .

هذا النوع من التخزين يمكن ان يكون فعال بالنسبة لاختلافات في درجة الحرارة الضعيفة ا

تعطى كمية الحرارة لهذا النوع من التخزين بالعلاقة التالية:

$$Q = m(h_f - h_i) = m\Delta h_f \quad (J) \quad 3-3$$

وعند اخذ درجة الحرارة الابتدائية للمادة T_i و درجة حرارة انصهارها T_f فيمكن كتابة العلاقة

$$Q = m(h_f - h_i) = mC_p(h_f - h_i) + m\Delta h_f \quad (J) \quad 4-3$$

في حالة استعمال مادة نقية يكون منحنى التغير في درجات الحرارة مماثل لما هو موضح في المنحنى .

خلال تسخين المادة وقبل الوصول الى درجة حرارة انصهارها، نلاحظ ان منحنى تغير درجة الحرارة مع الزمن يكون خطي , بينما خلال التغير في الحالة تبقى درجة الحرارة ثابتة.

- إذا T_f هي درجة حرارة تغير الطور لمادة نقية الذي تتغير درجة حرارته من T_1 الى T_2 , حيث:
 $T_1 \leq T_f \leq T_2$ فإن الطاقة المخزنة خلال هذا التحول تعطى بالعلاقة التالية والتي تمثل حدين هما الحرارة المحسوسة و الحرارة الكامنة للكتلة m :

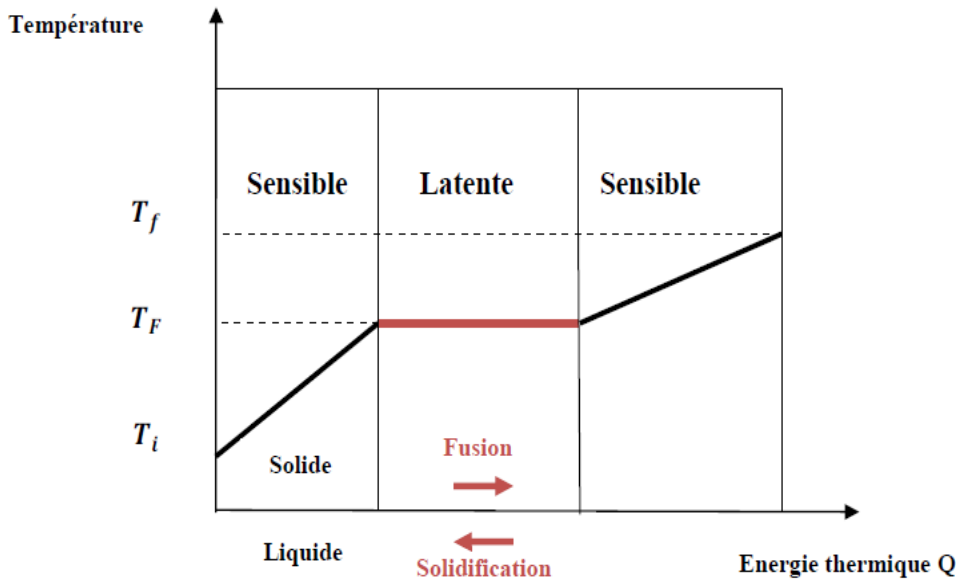
$$\Delta H = \int_{T_i}^{T_f} m C_s dT + m L + \int_{T_i}^{T_f} m C_L dT$$

$C_s (T)$: الحرارة النوعية لجسم في حالة صلبة.

$C_L (T)$: الحرارة النوعية لجسم في حالة سائلة.

L : الحرارة الكامنة لتغيير الطور.

إذا اتينا الى تغير الانتالبي النوعي بدلالة درجة الحرارة فسنحصل على المنحنى التالي فمن الملاحظ ان الانقطاع يسببه تغير الحالة (وليس لتغير في درجة الحرارة)



الشكل 3-3/ يوضح الخطوات المختلفة خلال تخزين الحرارة الكامنة (الصلبة / السائلة)

3-3-3/ المواد المتغيرة الطور MCP :

تدعى كل مادة قادرة على تغير حالتها الفيزيائية في مجال حرارة ضيق بالمادة متغيرة الطور يرمز لها ب MCP

(Phase Change Materials)

وتبقى مرحلة تغيير السائدة هي الانصهار / التصلب. درجات الحرارة هذه متوفرة طبيعيا وموجودة في كل مكان في حياتنا اليومية على سبيل المثال $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ ، حيث تحتوي على نقطة انصهار تقدر ب $72^\circ C$ ، يمكن دمجها في هيكل المبنى لتخفيف التقلبات النهارية في درجة الحرارة المحيطة.

يجب احترام المعايير عند اختيار مادة تغيير الطور/

- الموصلية الحرارية العالية
- الكثافة العالية
- انخفاض حجم التغير عند تغير الطور

- عدم حدوث تبلور عند درجة حرارة اقل من درجة حرارة الانصهار
- الاستقرار على المدى الطويل في درجة حرارة العمل
- التوافق مع مواد البناء
- انعدام درجة السمية
- عدم القابلية للاشتعال
- الاقتصادية
- وفرة المواد المستعملة

مثل جميع انظمة تخزين الطاقة لمتغيرات الطور ايجابيات وسلبيات يمكن تلخيصها في الجدول التالي:
الجدول 3-3/ يوضح بعض ايجابيات وسلبيات مختلف متغيرات الحالة

متغيرات الطور	الايجابيات	السلبيات
سائل/صلب	توظيف الحرارة المحيطة قيمة كبيرة للحرارة الكامنة	-تغير كبير في الحجم السائل بعد التحول معقد و به درجة كبيرة من التسمية التآكل مع جدران الحاوية الحاجة الى الفعالية الكبيرة للتبادل الحراري
صلب/سائل	تغير ضعيف في الحجم	تغير ضعيف في الحجم
صلب/ صلب	امتصاص واعطاء الحرارة مع عدم التحول الى سائل تغير طفيف في الحجم	الحرارة الكامنة ضعيفة صعوبة ايجاد مستويات درجة حرارة لتغير الحالة متناسقة مع التطبيقات

3-3-3-1/ أكثر المواد متغيرة الطور استخداما :

يمكن تصنيف مواد متغيرة الطور MCP عادة في ثلاث فئات:

- ✓ المواد غير العضوية: هيدرات الملح والأملاح والمعادن والسبائك.
- ✓ المواد العضوية: البارافين، البارافين اجسام غير البارافينية .
- ✓ Eutectics الجسم غير العضوية و العضوية.

3-3-3-2/ جدول عيوب ومزايا متغيرات الطور العضوية:

المزايا	العيوب
التوصيلية الحرارية العالية	العزل
الكثافة الطاقوية العالية	التآكل
نقطة الانصهار الصافية	البُرودة الفائقة
الحرارة الكامنة العالية	الشيخوخة السريعة
متاحة بكميات كبيرة	
منخفضة التكلفة	
السعة الحرارية الكتلية عالية	

3-3-3-3/ تقنيات لتكييف مواد تغيير الطور MCP:

تكييف الـ MCP يقوم على عدة مبادئ للتوافق بين مادة الخزان (الحاوية) و مواد تغيير الطور MCP ، فعندما

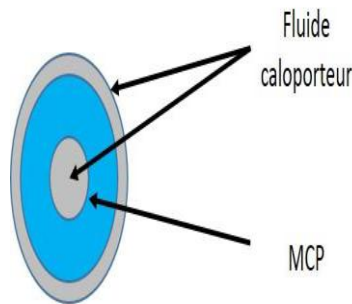
تصبح

الـ MCP سائلة وبسبب لزوجتها الضعيفة نسبة التسرب تزداد بقوة فنجد اشكال مع حاوية التخزين ، في الاخير يمكن القول ان تغيير الطور يسبب تغير في الحجم ممكن ان يؤدي الى كسر الحاوية اذا كانت هذه الاخيرة لا تستطيع استيعاب هذا التغير .

يوجد عدة تقنيات لتكييف مواد تغيير الطور منها :

➤ تغليف الكلي:

هي آلية تكون مادة تغيير الطور مغلقة في contenants على شكل (انابيب - كريات - أكياس - أسطوانات - ألواح) شكل 1 بأبعاد ميترية او ديسيمترية مثل بعض الاجراءات الصناعية تستعمل في كريات بلاستيكية و بما ثلاث أقطار mm (98 - 78 - 77) تستعمل على حسب درجات حرارة تحول مادة الـ MCP المغلقة لكل تطبيق الشكل 2 ، يطرح هنا مشكل ضعف التوصيلية لمادة تغير الطور فيحد من التحويلات . إضافة الى انه يجب الانتباه لإمكانية انفصال قد يقع بين الـ MCP وغلافها والذي يمكن ان يظهر بعد عدة دورات من الانصهار والتصلب . وفي بعض الحالات التحول الحراري والتسربات تسجل مشكل .



الشكل 3-5 يمثل شكل من أشكال التغليف الكلي

➤ ميكروكبسولي:

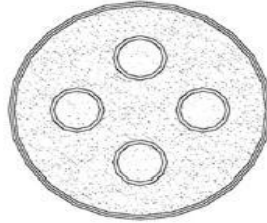
هي مجموعة تقنيات تسمح بالحصول على جسيمات من حجم 10nm الى 1000µm تأخذ عدة أشكال (كريات - أسطوانات صغيرة عمودية(longitudinaux)) تحتوي على مادة MCP في حوصلات مغلقة ويمكن استخدامها بعد ذلك في نظام تخزين الطاقة الكامنة التي يتم تطبيقها في مجموعات؛ السائل الناقل ثم يتم تمرير تخزين الطاقة (الهواء أو الماء) من خلال هذه الكتلة. وميزة هذه الهندسة الداخلية في مجموعات من MCP المغلف هو أنه يوفر سطح التبادل كبيرة (مساحة كروية) تقنية ميكروكبسولي ل MCP تتم عن طريق :

- اضافة الغرافيت
- اضافة SiC سيليكون كاربيد
- دهن كرية نحاس تحتوي على ال MCP بشريط من مادة النيكل

➤ دمج بنيات معدنية مع MCP :

هذه الطريقة تستعمل بنيات معدنية على شكل اسطواني أو كروي من الفولاذ الشكل 1 اعطت هذه الطريقة الايجابيات التالية

- تحسين توصيلية الحرارية لل MCP .
- تخفيض وقت الانصهار / التصلب .
- زيادة تكلفة النظام .



الشكل 3-6/ تمثيل مختلف انواع ادماج الMCP عن طريق بنيات معدنية

3-3-4/ استخدامات متغيرات الطور:

يعد تخزين الطاقة الحرارية احدى الطرق السهلة و الاقتصادية لتحقيق ترشيد استهلاك الطاقة في المباني وتأمين شروط الراحة ,ويمكن لهيكل المبنى (الجدران و الاسقف و الارضيات) ان يخزن الطاقة الحرارية بشكل كامل ,يتم تخزين الطاقة الحرارية بشكل كامل باستخدام مواد ذات درجة حرارة تحول طوري منخفضة تسمى المواد متغيرة الطور .حيث يتم تخزين الطاقة في هذه المواد خلال عملية الانصهار ويتم سحب هذه الحرارة منها عند التصلب

✓ استخدام ال MCP في المباني :

تعتبر الراحة الحرارية هي احدى حاجات البديهية اللازمة في كل المنشآت المبنية حيث وجب تزويدها بأنظمة تسمح بتدفئة أو تبريد الجو الداخلي من بين المواد المستعملة هي ال MCP فعندما تزداد درجة الحرارة الخارجية او يزداد نشاط السكان فإن ال MCP تتدخل بتغيير حالتها للحفاظ على الراحة والتوازن الحراري حيث تطرح اربع طرق اقتصادية لتكييف ال MCP في المباني هي :

- دمج مباشر ل MCP في خليط رطب لمواد المبنى
- دمج مباشر عن طريق امتصاص ل MCP الذائب أو المنصهر في مواد البناء
- دمج مباشر ل MCP عن طريق الكبسلة
- دمج ال MCP في مواد التغليف او التلبيس وهو الأكثر استعمالا لان مساحة التبادل كبيرة

✓ استخدام مواد ال MCP في الصناعة :

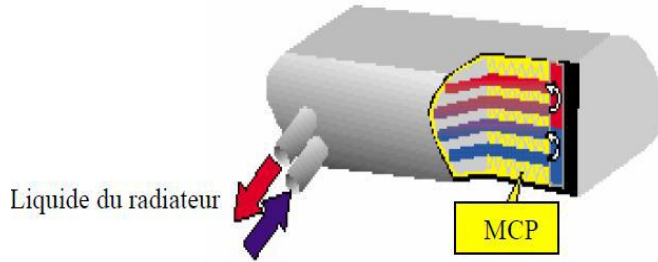
- التكييف يستعمل في البنوك و المستشفيات و المكاتب
- إجراءات (العمليات) : مصانع الحليب والخبز .
- الحماية : قاعات المراقبة والأعلام الالي .

✓ استخدام مواد ال MCP في محركات ذات الاحتراق الداخلي :

استعمال الطاقة الكامنة من اجل تسخين المحركات ذات الاحتراق الداخلي مثل محركات الديزل قبل التشغيل حيث يعمل النظام على طرد الحرارة أثناء تغير حالة ال MCP من السائل الى الصلب ، مما يساعد على تجنب الكثير من السلبيات التي تتسبب فيها تشغيل المحركات وهي باردة . مثل زيادة استهلاك والوقود وزيادة تركيز الغازات المنبعثة ل CO2 غازات CnHn .

فال MCP يعمل مثل بطارية التخزين لحرارة الكامنة هذه البطارية متصلة بمبرد اين تخزن حرارة إضافية عندما يدور المحرك في درجة حرارة عمله او وظيفته هذه الحرارة نافعة لبداية تشغيل البارد للمحرك او حتى أثناء البرودة في الاشتغال فهي تفيد الإحماء السريع

.....



الشكل 3-7/ يمثل البطارية الحرارية

✓ استخدام ال MCP في تبريد الكتروني :

نجد العديد من البحوث الحديثة العلمية مهمة باستعمال ال MCP في الأنظمة الإلكترونية وهي في تزايد مستمر نظرا لزيادة الحاجة للطاقة ومحاوله تصغير الأجهزة قدر الإمكان فكان التركيز أكثر على ملائمة حرارة الأجهزة الإلكترونية فاستعمال التقنية غير النشطة في التبريد يعطي ايجابية الصيانة . كما نجد في بعض التطبيقات الخاصة نجد تكييف قطع حاويات او علب تحتوي على اجهزة الكترونية

هناك تقنيات مختلفة لتنفيذ نظام تخزين الحرارة الكامنة مثل المبادلات الانبوية ومبادلات التغليف ، لتحسين نقل الحرارة يجب ان يتم على هذا النوع من الانظمة بحيث تكون قابلة للعمل وفعالة، والحلول المقترحة لتحقيق هذه الاهداف هي مايلي:

-زيادة سطح التبادل بين مادة التبريد ومواد تغيير الطور

لم يتم تطوير تكنولوجيا تخزين الحرارة الكامنة صناعيا حتى الان ,وقد اجريت دراسات حول هذا النوع من التكنولوجيا على نطاق المخترع او النموذج الاولي

-استخدام المواد المركبة مع الموصلية المحسنة
-استخدام وسيط لنقل حرارة سائل التبريد الى المادة المراد وضعها

3-3-4/التخزين الكيميائي:

يمكن تخزين الطاقة الشمسية كيميائيا اما بواسطة تخزين الوقود الناتج عن التفاعلات الكيموضوئية او التخزين الناتج عن التفاعلات الكيميائية العكسية وذلك كما يلي:

3-3-4-1/التخزين الوقود:

يقصد بالتخزين الوقودى تخزين الطاقة الشمسية على شكل وقود يمكن انتاجه بواسطة التفاعلات الكيموضوئية , وفي هذه الحالة يمكن استخدام بطاريات تخزين خاصة يحدث منها تفاعلات كيميائية عن طريق تأثير الضوء (الاشعاع الشمسي) عند الشحن , ثم تفريغها بالطريقة الكهربائية التقليدية, ومن اهم التفاعلات المعروفة في تخزين الطاقة الشمسية كيميائيا مايلي:
حيث يمثل الفوتون جسيم الطاقة الموجودة في الاشعاع الضوئي (الشمسي) ومن الممكن ايضا استخدام التحليل الكهربائي للماء (الكهروليتي) لإنتاج غاز الاكسجين والهيدروجين وإعادة اتحادهما في معدات خلوية خاصة تدعى خلايا الوقود لإنتاج الطاقة الكهربائية وفي هذه الطريقة يمكن تخزين الاكسجين والهيدروجين بفاعلية عالية على شكل غاز او سائل وعلى هذا الاساس يمكن استخدام الهيدروجين فيما بعد كوقود فعال غير ملوث للبيئة لتشغيل محركات السيارات والآلات والمعدات الكهربائية المختلفة, يخزن الهيدروجين في اشكال مختلفة كغاز مضغوط او كسائل او كمواد معدنية مهدرجة لان له كثافة تخزين مرتفعة ومستقرة. [2]

3-3-4-2/التخزين الحراروكيميائي:

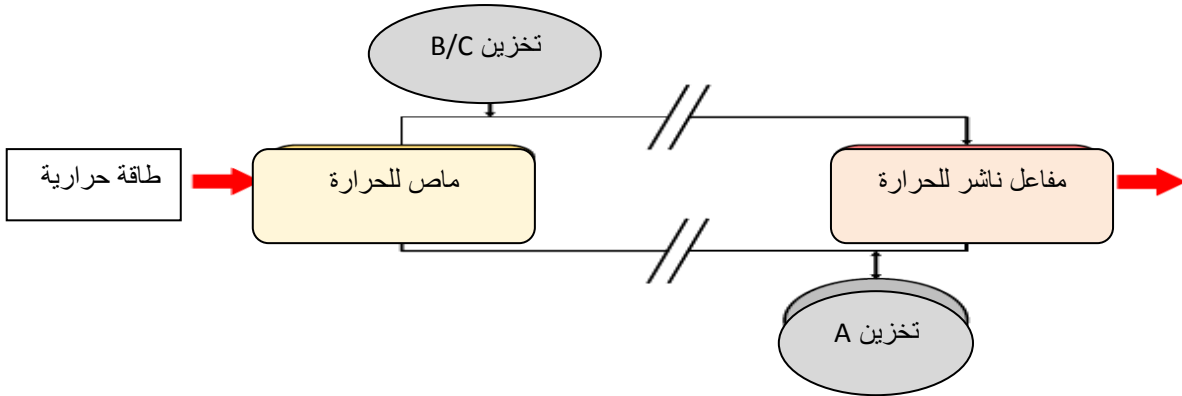
الطاقة الحراروكيميائية هي الحرارة الممتصة أو المخررة أثناء حدوث تفاعل كيميائي ماص للحرارة أو ناشر للحرارة. ويعتمد تخزين الطاقة الحراروكيميائية على طاقة الروابط الكيميائية خلال تفاعل كيميائي عكوس. في هذا النظام سعة تخزين الحرارة مرتفعة عموما لأن الطاقة الكيميائية تكون مرتفعة عند كسر الروابط الكيميائية وإعادة تركيبها في تفاعل كيميائي عكوس. ويعتبر هذا النظام أكثر تعقيدا من التخزين المحسوس والكامن. كما يجب في هذا النظام ان تكون المركبات الكيميائية المستخدمة تكون غير ضارة وغير قابلة للتآكل و يعتمد هذا النظام على الطاقة الممتصة وتحريرها في بداية الشوط الثاني وإصلاح العلاقات الجزئية عكسها تماما التفاعل الكيميائي. في هذه الحالة تعتمد على الحرارة المخزنة على كمية من تخزين المواد والحرارة رد فعل ماص للحرارة ومنطقة التحويل.

توفر هذه الطريقة نظاما تخزينيا عالي الكثافة عند درجات حرارة عادية , حيث يمكن تخزين الطاقة لمدة طويلة على شكل طاقة كامنة يمكن ضخها ونقلها فيما بعد لمسافات بعيد

التخزين الحراروكيميائي يستغل حالة الانعكاسية في التفاعلات الكيميائية لتخزين الطاقة. بشكل عام، فإن التفاعلات تحدث بالنموذج التالي :



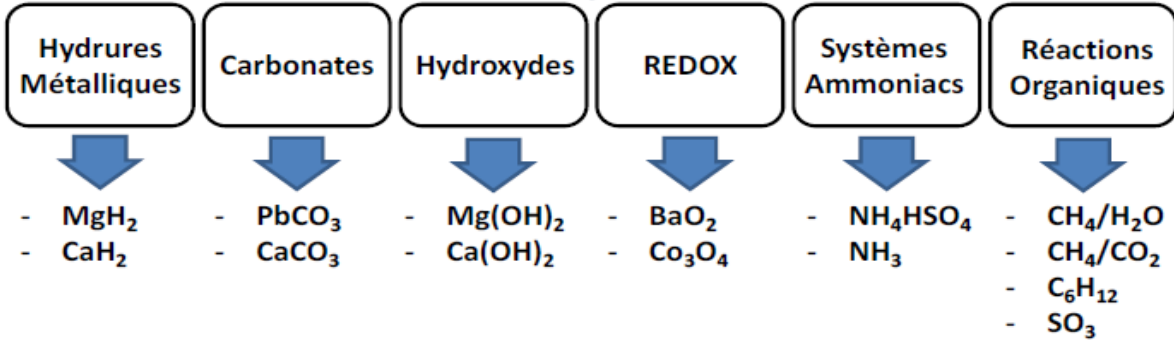
التفاعلات الأكثر شيوعا التي نواجهها هي من الشكل التالي: $A + \Delta H_f \leftrightarrow B + C$. لهذا النوع من التخزين، يجب أن يكون التفاعلات انعكاسية تماما حتى لا تفقد العملية قدرة التخزين خلال دورات. يظهر الرسم البياني مبدأ تخزين حراروكيميائي



الشكل 3-8 / مبدأ تخزين الحراروكيميائي

مختلف التفاعلات التي تم أو ما زالت قيد الدراسة لتطوير أسلوب التخزين الحراروكيميائي. يتم تصنيفها في ست فئات: هيدريدات المعادن والكربونات، هيدروكسيدات، تفاعلات الأكسدة والاختزال وأنظمة الأمونياك والتفاعلات العضوية بشكل موجز في الصورة :

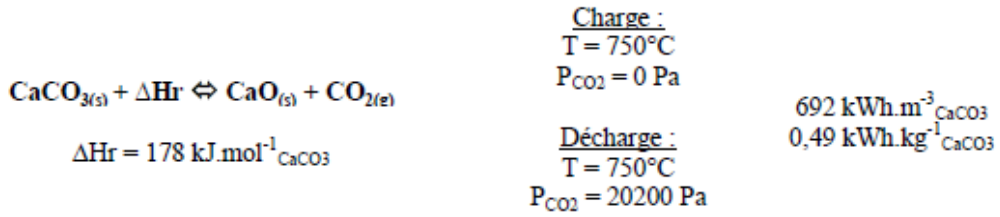
الحراري حرارية وتخزين الطاقة الحرارية عن طريق النظام الحراروكيميائي في درجات حرارة متوسطة وعالية (300 – 1000°C)



الشكل 3-9 / تصنيف التفاعلات المعمول بها

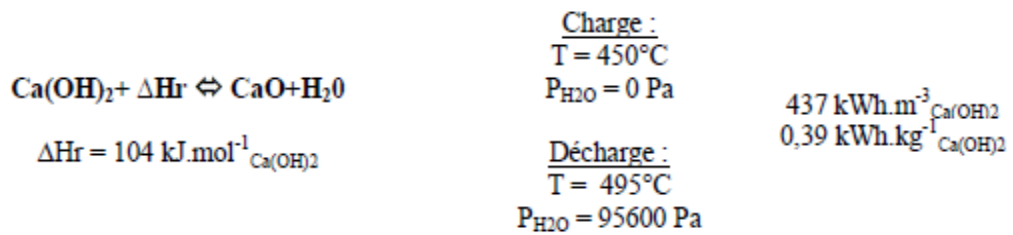
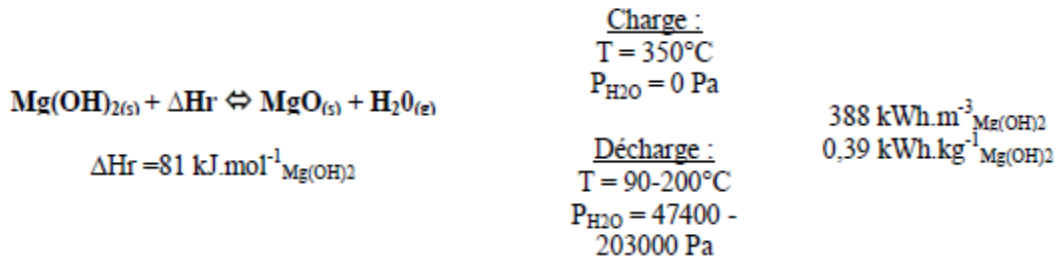
نلخص فيما يلي بعض البيانات من اجل تخزين الطاقة الحرارية في ارتفاع درجة الحرارة بواسطة التفاعلات الكيميائية الانعكاسية

REACTION	CONDITIONS OPERATOIRES DE CYCLAGE TESTEES	DENSITE ENERGETIQUE
الهيدريدات		
$\text{MgH}_{2(s)} + \Delta\text{Hr} \Leftrightarrow \text{Mg}_{(s)} + \text{H}_{2(g)}$ $\Delta\text{Hr} = 75 \text{ kJ.mol}^{-1}_{\text{MgH}_2}$	<p><u>Charge:</u> $T = 380^\circ\text{C}$ $P_{\text{H}_2} = 0,14 \text{ MPa}$</p> <p><u>Décharge:</u> $T = 230^\circ\text{C}$ $P_{\text{H}_2} = 0,44 \text{ MPa}$</p>	$580 \text{ kWh.m}^{-3}_{\text{MgH}_2}$ $0,80 \text{ kWh.kg}^{-1}_{\text{MgH}_2}$
الكربونات		
$\text{PbCO}_{3(s)} + \Delta\text{Hr} \Leftrightarrow \text{PbO}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)}$ $\Delta\text{Hr} = 88 \text{ kJ.mol}^{-1}_{\text{PbCO}_3}$	<p><u>Charge:</u> $T = 400^\circ\text{C}$ $P_{\text{CO}_2} = 101 \text{ Pa}$</p> <p><u>Décharge:</u> $T = 350^\circ\text{C}$ $P_{\text{CO}_2} = 101350 \text{ Pa}$</p>	$303 \text{ kWh.m}^{-3}_{\text{PbCO}_3}$ $0,09 \text{ kWh.kg}^{-1}_{\text{PbCO}_3}$



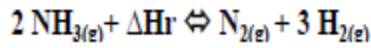
الهيدروكسيدات

DES



الامونياك

RES



$$\Delta \text{Hr}_{\text{Charge}} = 66,9 \text{ kJ.mol}^{-1}_{\text{NH}_3}$$

$$\Delta \text{Hr}_{\text{Décharge}} = 53 \text{ kJ.mol}^{-1}_{\text{NH}_3}$$

Charge :

$$T = 450^\circ\text{C}$$

$$P = 15 \text{ MPa}$$

Décharge :

$$T = 450^\circ\text{C};$$

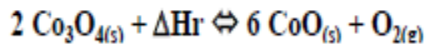
$$P = 30 \text{ MPa}$$

$$745 \text{ kWh.m}^{-3}_{\text{NH}_3(l)}$$

$$1,09 \text{ kWh.kg}^{-1}_{\text{NH}_3(l)}$$

الاكسيدات

O



$$\Delta \text{Hr} = 205 \text{ kJ.mol}^{-1}_{\text{Co}_3\text{O}_4}$$

Charge :

$$T = 850^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{O}_2} = 0 \text{ Pa}$$

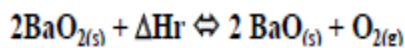
Décharge :

$$T = 500\text{-}700^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{O}_2} = 20200 \text{ Pa}$$

$$295 \text{ kWh.m}^{-3}_{\text{Co}_3\text{O}_4}$$

$$0,24 \text{ kWh.kg}^{-1}_{\text{Co}_3\text{O}_4}$$



$$\Delta \text{Hr} = 77 \text{ kJ mol}^{-1}_{\text{BaO}_2}$$

Charge :

$$T = 850^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{O}_2} = 0 \text{ Pa}$$

Décharge :

$$T = 550^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{O}_2} = 20200 \text{ Pa}$$

$$328 \text{ kWh.m}^{-3}_{\text{BaO}_2}$$

$$0,13 \text{ kWh.kg}^{-1}_{\text{BaO}_2}$$

العضويات		AN
$\text{CH}_{4(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)} + \Delta\text{Hr} \rightleftharpoons 3 \text{H}_{2(g)} + \text{CO}_{(g)}$ $\Delta\text{Hr} = 206 \text{ kJ.mol}^{-1}_{\text{CH}_4}$	<u>Charge :</u> $T = 850^\circ\text{C}$	$7,8 \text{ kWh.m}^{-3}_{\text{CH}_4(g)}$ $4,34 \text{ kWh.kg}^{-1}_{\text{CH}_4(g)}$
$\text{CH}_{4(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(g)} + \Delta\text{Hr} \rightleftharpoons 4 \text{H}_{2(g)} + \text{CO}_{2(g)}$ $\Delta\text{Hr} = 206 \text{ kJ.mol}^{-1}_{\text{CH}_4}$	<u>Décharge :</u> $T = 400-700^\circ\text{C}$	
$\text{CH}_{4(g)} + \text{CO}_{2(g)} + \Delta\text{Hr} \rightleftharpoons 2\text{H}_{2(g)} + 2 \text{CO}_{(g)}$ $\Delta\text{Hr} = 247 \text{ kJ.mol}^{-1}_{\text{CH}_4}$	<u>Charge :</u> $T = 700 - 850^\circ\text{C}$	$7,7 \text{ kWh.m}^{-3}_{\text{CH}_4(g)}$ $4,28 \text{ kWh.kg}^{-1}_{\text{CH}_4(g)}$
$\text{C}_6\text{H}_{12(g)} + \Delta\text{Hr} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_6(g) + 3 \text{H}_{2(g)}$ $\Delta\text{Hr} = 206,7 \text{ kJ.mol}^{-1}_{\text{C}_6\text{H}_{12}}$	<u>Charge :</u> $T = 300^\circ\text{C}$ $P = 0,1 \text{ MPa}$	$530 \text{ kWh.m}^{-3}_{\text{C}_6\text{H}_{12(l)}}$ $0,68 \text{ kWh.kg}^{-1}_{\text{C}_6\text{H}_{12(l)}}$
$\text{C}_6\text{H}_{12(g)} + \Delta\text{Hr} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_6(g) + 3 \text{H}_{2(g)}$ $\Delta\text{Hr} = 206,7 \text{ kJ.mol}^{-1}_{\text{C}_6\text{H}_{12}}$	<u>Décharge :</u> $T = 340^\circ\text{C}$ $P = 7 \text{ MPa}$	
SO ₃		SC
$2 \text{SO}_{3(g)} + \Delta\text{Hr} \rightleftharpoons 2 \text{SO}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)}$ $\Delta\text{Hr} = 98 \text{ kJ.mol}^{-1}_{\text{SO}_3(g)}$	<u>Charge :</u> $T = 800 - 1100^\circ\text{C}$ $P = 0,1 - 0,5 \text{ MPa}$	$646 \text{ kWh.m}^{-3}_{\text{SO}_3(l)}$ $0,34 \text{ kWh.kg}^{-1}_{\text{SO}_3(l)}$
$2 \text{SO}_{3(g)} + \Delta\text{Hr} \rightleftharpoons 2 \text{SO}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)}$ $\Delta\text{Hr} = 98 \text{ kJ.mol}^{-1}_{\text{SO}_3(g)}$	<u>Décharge :</u> $T = 500 - 600^\circ\text{C}$ $P = 0,1 - 0,5 \text{ MPa}$	

تخزين الحرارة الحراروكيميائي حاليا هو التخزين الحراري الاقل نضجا لكنه يوفر مزايا عدة على النظامين الاخرين : كثافة الطاقة (الحجمية او الكتلية) اكبر من 5 الى 10 مرات على التوالي فقط للحرارة الكامنة او انظمة تخزين الحرارة الحساسة يمكن ان تتم اعادة الحرارة عند درجة حرارة ثابتة

وقت التخزين ومسافة النقل من الكواشف هي غير محدودة من الناحية النظرية هو الوحيد الذي يمكن تخزين المنتجات في درجة حرارة الغرفة (لا توجد فقدان للحرارة)

3-4/ فوائد تخزين الطاقة الحرارية :

إن تخزين الطاقة على شكله "الحراري" هو الأداة التي يمكن أن تشارك في القدرة التنافسية للكثير من المجالات والتقنيات: شبكات الحرارة والبرودة و محطات الطاقة الشمسية، الأعمال الزراعية، والإسكان، والإلكترونيات، الخ كما يمكن إحصاء بعض ايجابيات تخزين الطاقة الحرارية في النقاط التالية :

* عندما يكون فائض الانتاج قابل للتخزين فإن ذروة الاستهلاك تكون مضمونة لتفريغ الطاقة المخزنة
* إدماج الطاقة المتجددة يكون سهل خاصة في حالة الحرارة الشمسية التي تصادف الاختلاف الليلي والنهار والاختلاف بين الفصول حيث تسمح انظمة التخزين بتنظيمها و تقليل من هذا المشكل .
*تتمين الطاقة الضائعة وهي الطاقة غير المستعملة أثناء الإجراء او بعد الانتهاء منه حيث ان الهدف هنا ليس الحصول على حرارة .
فتنتعش المنشآت الصناعية لكون الحرارة المفقودة خلال مدة العملية تخزن و تستخدم لاحقا لغيرها من الاحتياجات
مثل : بعض العمليات الصناعية كحرق الفضلات المنزلية و تبريد مركز المعطيات .

انظمة تخزين الطاقة تسمح بالتقليل من مشكل عدم انسجام توفر الطاقة ووقت المناسب لاستعمالها
وطلبها ضمان القدرة على توفير الطاقة في حالات الاستهلاك الاقصى وفي حالة الصيانة

- 1- المساعدة على معالجة ازدحام شبكة الحرارة فهذه الاخيرة وجب تطويرها بصفة مستمرة لان بعض القنوات قد تصبح غير كافية لمرور الطاقة فالتخزين الحراري يسمح بالتخلص من هذا الاحتقان
 - 2- يمكن التزاوج بين تخزين الطاقة الحرارية و مراكز توليد الطاقة لاستغلال الطاقة المحولة نهارا فتخزن لتفريغها ليلا (تخزين اليومي) و بالمثل تستغل الطاقة المحولة صيفا لتخزن وتفريغ شتاء (تخزين موسمي)
 - 3- ربح الطاقة باسترجاع وتتمين الطاقة الضائعة وهذا بتحسين المردود
- امكانية اختيار مصدر الطاقة المراد استعمالها حسب سعرها

3-5/ ملخص لميزات كل نظام والتطبيقات الأكثر مناسبة لاستخدامها

جدول 3-4/ يلخص مميزات كل نظام والتطبيقات الأكثر مناسبة لاستخدامها

نظام التخزين	التخزين الحراري الحساس	التخزين الحراري الكامن	التخزين الحراري الحراروكيميائي
مزايا كل نظام	<ul style="list-style-type: none"> - تقنيات بسيطة - مواد تخزين متوفرة - كثافة طاقة معتبرة لبعض مواد التخزين - اتساع نطاق درجة حرارة التخزين - استخدامات واسعة 	<ul style="list-style-type: none"> - كثافة تخزين أكبر - استنفاد حجم تخزين أقل - استرداد الطاقة في درجة حرارة ثابتة ويمكن التخزين في درجات حرارة منخفضة - الحاجة الى عزل أقل 	<ul style="list-style-type: none"> - كثافة طاقة عالية جدا - التخزين في درجة حرارة الغرفة - لا تحتاج الى عزل - مدة تخزين أطول - مسافة نقل أكبر
أنسب تطبيقات له	<ul style="list-style-type: none"> - تطبيقات الطاقة الشمسية - كتسخين الماء وتدفئة المباني 	<ul style="list-style-type: none"> - تكييف المباني - تبريد الآلات الالكترونية 	<ul style="list-style-type: none"> - التخزين الموسمي

الفصل الرابع: عرض

ومناقشة النتائج

عرض ومناقشة النتائج

يحتوي هذا الفصل على بعض نتائج الدراسات السابقة بغية تحليلها فيما يخص أنظمة تخزين الطاقة وكذا بعض القياسات لمركزين شمسيين مختارين

- 1-4) مقدمة.....
- 2-4) معايير تصنيف واختيار أنظمة التخزين.....
- المقارنة بين أنظمة التخزين.....
- 3-4) من حيث الكثافة الطاقوية, درجة الحرارة, مدة التخزين.....
- 4-4) نتيجة.....
- 5-4) من حيث مواد التخزين.....
- 1-5-4) مواد التخزين الحساس.....
- 2-5-4) مواد التخزين الصلبة.....
- 6-4) نتيجة.....
- 7-4) مواد التخزين الكامن.....
- نتيجة.....
- مواد متغيرة الطور غير العضوية.....
- مواد متغيرة الطور العضوية.....
- نتيجة.....
- 8-4) مواد التخزين الحراروكيميائي.....
- نتيجة.....
- الاشعاع الشمسي المركز.....
- 9-4) المركز الشمسي البؤري.....
- 1-9-4) نتيجة.....

.....(10-4) المركز الشمسي الغير بؤري.....

.....(1-10-4) نتيجة.....

.....(11-4) بعض الحلول والتوصيات.....

.....خلاصة.....

1-4 / مقدمة:

يعد تخزين الطاقة الحرارية بمختلف أنواعها إحدى الطرق الاقتصادية لتحقيق ترشيد استهلاك الطاقة في كل الميادين يمكن تخزين الطاقة الحرارية لفترات طويلة أو قصيرة حسب متطلبات الطاقة ويرافق ذلك آليتان رئيستان معروفتان هما الشحن والتفريغ وعلى هذا الأساس يعتمد تصميم نظام التخزين على عدة متغيرات وعوامل أهمها: شدة الإشعاع الشمسي ونوع وسط التخزين المستعمل ومقدار الفقد في الطاقة وتكلفة معدات التخزين وبالتالي يمكن الوصول إلى أنسب طرق التخزين المطلوبة. إن الحديث عن اختيار نظام التخزين المناسب يقودنا إلى الحديث عن المركبات الشمسية التي تلعب الدور الأساسي في استقطاب الإشعاع الشمسي وتحويله إلى طاقة حرارية، وهذا ما سيتم تناوله في هذا الفصل من الدراسة وهو المقارنة بين أنظمة التخزين الحراري والمعايير المعتمدة في اختيارها وكذا علاقة اختيار نظام التخزين المناسب للمركبات الشمسية البؤرية (كمثال نأخذ الصحن المقعر) وذات التركيز الخطي (مثل المجموع الشمسي الاسطواني القطع المكافئ).

2-4 / معايير اختيار نظام التخزين الحراري:

كمية الطاقة المخزنة والمستعادة ترتبط بالسعة الحرارية، فهي النقطة الرئيسية في تصميم نظام التخزين، لكن اختيار تكنولوجيا التخزين أمر بالغ الأهمية يقوم على عدة معايير تنظيمية واقتصادية وبيئية وكذا عامل الزمن وعدة عوامل أخرى يمكن تلخيصها فيما يلي:

- كثافة الطاقة، درجة حرارة وزمن التخزين (تخزين يومي، تخزين موسمي)

- خصائص مواد التخزين: وتشمل المعايير التالية:

* معايير ترموديناميكية (درجة حرارة انصهار، السعة الحرارية، الموصلية الحرارية.....)

* معايير فيزيائية وكيميائية (الاستقرار الكيميائي، الحجم المستنفذ، حدوث التحلل والتآكل).

* معيار بيئي: درجة التلوث، وجود أو عدم وجود تسمم.....

* المعيار الاقتصادي (تكلفة التصميم، التشغيل، الصيانة وإعادة التدوير)، [2]

❖ المقارنة بين أنظمة التخزين الحراري

3-4 / المقارنة من حيث الكثافة ودرجة الحرارة ومدة التخزين:

لحساب الكثافة الطاقوية تستعمل العلاقات التالية:

$$E_{MCP T1-T2^{\circ}c} = V \times \rho_{solide} \times C_p MCPsolide \times \Delta T_{solide} + V \times \rho_{solide} \times L_f + V \times \rho_{liquide} \times C_p MCPliquide \times \Delta T_{liquide} \quad 1-4$$

$$E_{FLUID T1-T2^{\circ}c} = V \times \rho_{FLUID} \times C_p FLUID \times \Delta T_{FLUID} \quad 2-4$$

الجدول التالي يبين بعض الخصائص الحرارية لأنظمة التخزين والمقارنة بينها

الجدول 4-1/ الخصائص الحرارية لأنظمة التخزين والمقارنة بينها

التخزين الحراروكيميائي	التخزين الكامن	التخزين الحساس	
$\sim 0.1 - 1Kwh. Kg^{-1}$	$\sim 0.05 - 0.1Kwh. Kg^{-1}$	$\sim 0.02 - 0.03Kwh. Kg^{-1}$	الكثافة الطاقوية الكتلية
$\sim 100 - 500Kwh. m^{-3}$	$\sim 50 - 100Kwh. m^{-3}$	$\sim 15 - 60Kwh. m^{-3}$	الكثافة الطاقوية الحجمية
درجة حرارة الشحن او المحيط	درجة حرارة الشحن	درجة حرارة الشحن	حرارة التخزين
غير محدودة	محدودة	محدودة	مدة التخزين
نظريا يحقق كثافة تخزين عالية تتفوق على الانظمة الاخرى يمكن تخزينها في درجة حرارة الغرفة طول مدة التخزين طول مسافة النقل نقل الحرارة غير محدود	لديه كثافة عالية نوعا ما مقارنة مع التخزين الحساس كما يمكن استرجاع الحرارة في ثبوت درجة الحرارة حيث انها تعتمد فقط كتلة المواد وحرارتها الكامنة	لديه كثافة طاقوية ضعيفة مقارنة مع انظمة التخزين الاخرى	التعليق
	بالامكان الرفع من درجة حرارة المواد المستعملة	زيادة التدرج في درجة الحرارة ΔT	بعض الحلول

4-4 / نتيجة:

التخزين الكامن لديه أفضلية من حيث كثافة الطاقة العالية وعلاوة على ذلك، استعادة الحرارة في درجة حرارة ثابتة ييسر استخدامها وضمان جودة طاقة مستقلة عن التدرج في درجة الحرارة بين سائل النقل ومواد التخزين إذا ما قورن بالتخزين الحساس لكن نظريا كثافة التخزين بالنسبة للنظام الحراروكيميائي تعتبر عالية جدا بالمقارنة مع كلا النظامين (الحساس والكامن) بالإضافة الى ميزة طول مدة ومسافة النقل فهذا يؤهل نظام التخزين الحراروكيميائي في ان يكون الافضل من حيث التخزين

الموسمي. [3]

4-5/ المقارنة من حيث مواد التخزين المستعملة:

4-5-1/ مواد التخزين الحساس السائلة:

الجدول 4-2/ يقدم خصائص بعض مواد التخزين الحساس السائلة

وسط التخزين	(k) درجة حرارة التخزين	الكثافة (Kg/m ³)	التوصيلية الحرارية (W/m.K)	السعة الحرارية (KJ/Kg.K)
HITEC الملح الشمسي	133 - 120	1990	0.6	-
الزيوت المعدنية	300 - 200	770	0.12	2.6
الزيوت الصناعية	350 - 250	900	0.11	2.3
زيت السيليكون	400 - 300	900	0.1	2.1
أملاح النتريت	450 - 250	1825	0.57	1.5
املاح النترات	565 - 265	1870	0.52	1.6
أملاح الكربونات	850 - 450	2100	2	1.8
الصوديوم السائل	530 - 270	850	71	1.3

الملاحظات:

يتبين لنا من خلال الجدول اتساع نطاق درجة حرارة التخزين

-الماء مثلا يعتبر وسط جيد للتخزين في درجات الحرارة المنخفضة لان له حرارة نوعية مرتفعة الا ان مشكلته الحاجة الى العزل الجيد واستعمال خزانات مقاومة للضغوط العالية.

-الزيوت المعدنية على الرغم من انها غير مكلفة نسبيا (حوالي \$ 4.2 / كيلوواط ساعي) لديها درجة حرارة تخزين عالية، الأمر الذي يجنب استخدامها لدرجات حرارة أقل من 300 °C. الزيوت الاصطناعية يمكن، في المقابل، أن تستخدم ما يزيد على 400°C لكن لديها مشاكل تسمم. وكذلك أملاح النترات المنصهرة لديها درجة حرارة تغيرها عالية الأمر الذي يتطلب سيطرة كاملة على الظروف الحرارية للتركيب ، وذلك لتجنب البقع الباردة في التركيب الذي يمكن ان تؤدي الى تصلب الأملاح، والحد من التآكل عند استخدامها.

4-5-2/ مواد التخزين الحساس الصلبة:

الجدول 4-3/ يقدم بعض مواد التخزين الحساس الصلب

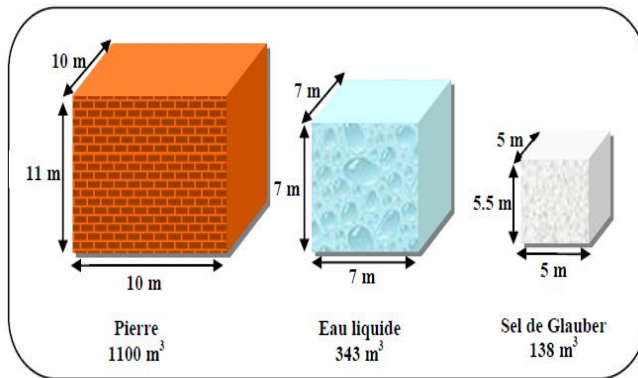
وسط التخزين	الكثافة (Kg/m ³)	الحرارة النوعية (J/Kg.K)	السعة الحرارية (KJ/Kg.K)	التوصيلية الحرارية (W/m.K)
الألمنيوم	2707	896	2.4255	204(à20°C)
أكسيد الألمنيوم	3900	840	3.2760	-
كبريتات الألمنيوم	2710	750	2.0325	-
الطوب	1698	840	1.4263	0.69(à19°C)
طوب المغنيزيوم	3000	1130	3.3900	5.07
الاسمنت	2240	1130	2.5310	0.9- 1.3
الحديد الصافي	7897	452	3.5694	73(à20°C)
كلوريد الكالسيوم	2510	670	1.6817	-
النحاس	8954	383	2.4294	385(à20°C)
طين رطب	1700	2093	3.5583	2.51
طين جاف	1260	795	1.0017	0.25
كلوريد البوتاسيوم	1980	670	1.3266	-
كبريتات البوتاسيوم	2660	920	2.4472	-
كربونات الصوديوم	2510	1090	2.7359	-
حجر الغرانيت	2640	820	2.1648	1.73 - 3.89
حجر الكلس	2500	900	2.2500	1.26 - 1.33
حجر الرخام	2600	800	2.0800	2.07 - 2.94
حجر رملي	2200	710	1.5620	1.83

الملاحظات:

مثلا في حالة المواد طوب و الاسمنت والرمل كثافة الطاقة منخفضة بالمقارنة مع باقي المواد الا ان وفرتها وقلة تكاليفها يجعل تطبيقها واسع ومتاح . كذلك لديها توصيلية حرارية منخفضة اذا ما قورنت بمواد تخزين معدنية أخرى لديها كثافة طاقة مرتفعة، لا سيما بعض المعادن مثل الفولاذ أو الحديد، الذي يمكن أن تصل إلى قيم 400kw/m^3 على نطاق درجة حرارة 100 C° ، وكذلك كثافته الحجمية العالية (للحديد 7200 kg/m^3 وللحديد و 7800kg/m^3 للفولاذ). ومع ذلك التكلفة العالية تحد تنميتها وريحتها.

وخلافا لتخزين السائل ، التخزين في الوسط الصلب يمكن أن تستخدم للتطبيقات مرتفعة ومنخفضة درجة الحرارة، ودون الحاجة إلى القلق حول مشكلة ضغط البخار في حالة الماء والقيود المفروضة على تقديم سوائل أخرى للتخزين (التآكل والاستقرار والسلامة...). يتم استخدام مجموعة واسعة من المواد الصلبة.

الحديد الزهر هو المادة الأكثر فعالية فيما يتعلق بكثافة التخزين التي تتجاوز الماء. ومع ذلك هذه المادة هي مكلفة جدا كما ذكرنا سابقا، مقارنة مع غيرها من المواد (الخرسانة والطوب والحجر والرمل...)، وفترة الاسترجاع لها معتبرة جدا. لتطبيقات الطاقة الشمسية الخرسانة والحجر هي المواد الأكثر استغلالا والأكثر مناسبة للتطبيقات في قطاع البناء. على سبيل المثال، من أجل تغير في درجة الحرارة 50 C° التغير في درجة الحرارة ، الخرسانة والحجر تخزن حوالي 36 kJ/kg . يوضح الشكل التالي المقارنة المثالية للحجم المطلوب لتخزين نفس الكمية من الطاقة المخزنة $(143,4.10^8\text{J})$. [1]



الشكل 4-1/ يوضح الحجم اللازم لنفس كمية الطاقة المحسوسة المخزنة

6-4/ نتيجة:

من خلال ما ورد نجد ان التخزين الحساس في المواد الصلبة متاح ومتوفر الا ان عيبه هو الحاجة الى العزل وكثافة طاقة منخفضة.

7-4/ مواد التخزين الكامن MCP

يتم عن طريق استخدام مواد تغيير الطور كما ذكر سابقا لذلك سنعرض مجموعة من الاعتبارات والتي يتم من خلالها اختيار مادة التخزين المناسبة للتخزين المعطى:

الجدول 4-4/ يوضح اعتبارات اختيار مادة MCP للتخزين الحراري الكامن

اعتبارات حرارية:	<ul style="list-style-type: none"> - مستوى درجة الحرارة مرحلة تغيير الذي يعتمد على التطبيق - قيمة الحرارة الكامنة لانصهار ($130\text{kJ/Kg} <$ لتكون قادرة على المنافسة) - الموصلية الحرارية العالية لحركية الشحن والتفريغ بسرعة - ضغط البخار منخفض لتقليل مشاكل مقاومة ضغط أنظمة التخزين اختيار مادة التخزين المناسبة يقوم على مجموعة من المعايير الخصائص الفيزيائية: - تغيير طفيف على مستوى الحجم أثناء تغيير الحالة من أجل ابعاد تصميم التخزين ومقاومت الضغط،
------------------	---

<p>- كثافة عالية بحيث MCP قد توفر تخزين كافي في أصغر حجم ممكن - انصهار منسجم عند استخدام جسم مركب.</p>	
<p>- حركية الشحن والتفريغ بشكل أسرع - تجنب البرودة الفائقة تضعف الحركية و قدرة التخزين البارد. اعتبارات الاستقرار والتوافق مع غيرها من المواد - استقرار الجسم في الدورات الحرارية - التوافق مع مواد حاوية التخزين من اجل كل الاطوار لتفادي مشاكل التآكل , التفاعلات الكيميائية أو التفاعل الكهروكيميائي</p>	<p>اعتبارات الحركية:</p>
<p>- الاستقرار الكيميائي في الجسم مع مرور الوقت ودرجات الحرارة - معدل تبلور جيد - القابلية للاشتعال - غير سامة .</p>	<p>الاعتبارات الكيميائية:</p>
<p>- تكلفة معقولة و تكون متوافرة.</p>	<p>الاعتبارات الاقتصادية:</p>

يقدم الجدول أدناه بعض خواص مواد تغيير الطور (صلب - سائل) العضوية وغير العضوية

الجدول 4-5/ بعض خواص مواد تغيير الطور (صلب-سائل) العضوية وغير العضوية

الخصائص	عضوية MCP	غير عضوية MCP
الحرارة النوعية (KJ/Kg)	2	2
الحرارة الكامنة (KJ/Kg)	190	230
كتلة تخزين (10J en Kg)	5300	4350
حجم تخزين (10J en m ³)	6.6	2.7

الملاحظات:

يتضح من الجدول الكثافة العالية وانخفاض حجم التخزين للمواد MCP بالمقارنة مع مواد التخزين الحساس خاصة مواد MCP غير العضوية وهذا يعتبر فائدة للتقليل من التكاليف بتوفير طاقة عالية بحجم أقل

- مواد MCP غير العضوية

الجدول (4-6) خصائص حرارية لبعض أهم مواد MCP غير العضوية

نوع المادة	المركبات	درجة حرارة الانصهار ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	$\Delta H_{fusion}(^{\circ}C)$ (KJ/Kg)	التوصيلية الحرارية ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	الكثافة ($Kg.m^{-3}$)
مواد غير عضوية	H ₂ O	0	333	0.612 liq à 20°C	988 liq à 20°C 917 sol à 0°C
	C _a Cl ₂ .6H ₂ O	29	190.8	0.540 liq à 38.7°C 1.088 sol à 23°C	1562 liq à 32°C 1802 sol à 24°C
	Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	89	162.8	0.490 liq à 95°C 0.611 sol à 37°C	1550 liq à 94°C 1636 sol à 25°C
	MgCl ₂ .6H ₂ O	117	168.6	0.570 liq à 120°C 0.694 sol à 90°C	1450 liq à 120°C 1569 sol à 20°C
مواد غير عضوية سهلة الانصهار	58.7% Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O +41.3% MgCl ₂ .6H ₂ O	59	132.2	0.565 liq à 85°C 0.678 sol à 38°C	1550 liq à 50°C 1630 sol à 24°C

- مواد MCP العضوية

يقدم الجدول (4-7) خصائص حرارية لبعض أهم مواد MCP العضوية

نوع المادة	المركبات	درجة حرارة الانصهار ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	$\Delta H_{fusion}(^{\circ}C)$ (KJ/Kg)	التوصيلية الحرارية ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	الكثافة ($Kg.m^{-3}$)
مواد عضوية	برافين C ₂₁ -C ₅₀	68-66	189	0.21 sol	0.83 liq à 70°C 0.930 sol à 20°C
	نافثالين	80	147.7	0.132 liq à 83.8°C 0.341 sol à 49.9°C	976 liq à 84°C 1145 sol à 20°C
مواد عضوية سهلة الانصهار	نافثالين 67.1% حمض البنزويك 32.9%	67	123.4	0.130 liq à 100°C 0.282 sol à 38°C	n.d.

878 liq à 45°C 1004 sol à 24°C	0.153 liq à 38.5°C	152.7	32	حمض الكابريك	أحماض دهنية
848 liq à 100°C 965 sol à 24°C	0.172 liq à 70°C	202.5	69	حمض الستياريك	

الملاحظات:

يتضح من خلال معطيات الجدول ميزة اتساع مجال درجة حرارة الانصهار لهذه المواد لكن بالمقارنة مع المواد غير العضوية لديها توصيلية حرارية منخفضة وكثافة طاقة أقل وهذا سيؤثر على كثافة التخزين والتبادل الحراري بين مواد التخزين وسائل نقل الحرارة كما ان لها مزايا وعيوب تم ذكرها انفا في الفصل السابق.

نتيجة:

التخزين في MCP يحتوي على مزايا كثافة الطاقة المرتفعة وصغر حجم التخزين مقارنة بالنظام المحسوس اي الحد من حجوم التخزين وبالتالي التقليل من تكاليف التصميم. كذلك امكانية التخزين في درجات حرارة منخفضة الا ان مشكلة العزل التي تبقى قائمة كذلك في هذا النظام كذلك بعض مشاكل تغير الطور كزيادة الضغط يجعل تطبيقها ليس بالأمر البسيط كالتخزين المحسوسة

8-4 / التخزين الحراروكيميائي:

خصائص التخزين لبعض هذه التفاعلات المستعملة بكثرة في الجدول.

الجدول (8-4) يوضح الخصائص الحرارية لأكثر التفاعلات استعمالا في التخزين الحراروكيميائي

الكثافة الطاقوية (KWh/m ³)	درجة حرارة التفاعل °C	التفاعل
580	Charge 380/décharge 230 P _{H₂} (0.14 / 0.44) MPa	$MgH_2 + \Delta H \leftrightarrow Mg + H_2$
692	Charg 750/décharge 750 P _{CO₂} (0 / 20200) Pa	$CaCO_3 + \Delta Hr \leftrightarrow CaO + CO_2$
388	Charge 350/décharge 90-200 P _{H₂O} (0 / 47400-203000) Pa	$Mg(OH)_2 + \Delta Hr \leftrightarrow MgO + H_2O$

الملاحظات:

يلاحظ من الجدول ارتفاع كثافة الطاقة ودرجة حرارة التفاعل وهذه تعتبر أهم مزايا هذا النظام , ولكل تفاعل من هذه التفاعلات مميزات أخرى وبالمقابل بعض المشاكل التي تواجه استخدامها. [3]

نتيجة:

يظهر لنا فوائد تخزين حراروكيميائي ، وذلك بفضل عدم حاجته لنظام العزل و كثافة عالية من الطاقة (100-500 kWh.m-3 أو 1-0,5 kWh.kg-1), وكذا ارتفاع درجات الحرارة التشغيل (100-1000 °C) نظريا، لان المنتجات يمكن تخزينها في درجة حرارة الغرفة (أي لا فقدان للحرارة).

❖ الاشعاع الشمسي المركز:

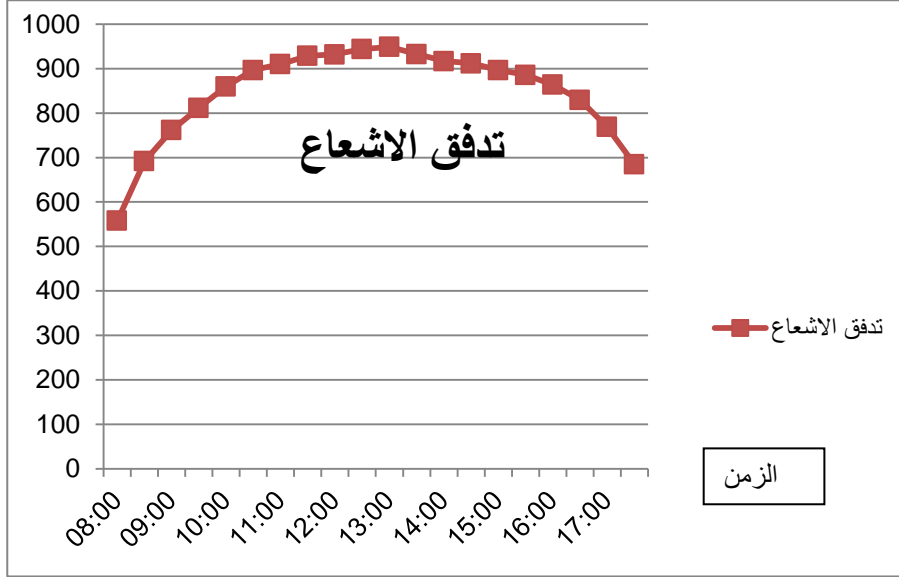
بناء على شدة الاشعاع الشمسي الواصل لمدينة ورقلة خلال يوم 21 جوان من الساعة الثامنة صباحا حتى الخامسة والنصف مساء بفارق زمني بين القياس قدر بنصف ساعة كما هو مبين في الجدول التالي:

جدول 4-9/ يبين شدة الاشعاع الشمسي في مدينة ورقلة بدلالة الزمن

التوقيت	درجة حرارة الجو	تدفق الاشعاع
08:00	34,3	558
08:30	35,6	692
09:00	36,4	762
09:30	37,4	812
10:00	38,2	860
10:30	39,4	897
11:00	40,1	910
11:30	40,7	929
12:00	43,9	932
12:30	41,1	944
13:00	43,3	949
13:30	45	933
14:00	43,5	917
14:30	44,7	912
15:00	46,2	897
15:30	46,9	886
16:00	45,8	864
16:30	45,3	830
17:00	45,3	769
17:30	44,8	685

ثم قمنا برسم منحنى الاشعاع الشمسي المقاس بدلالة الزمن كالتالي:

التدفق الاشعاعي



الشكل 4-2 / الاشعاع الشمسي لمدينة ورقلة بدلالة الزمن

بعد ذلك قمنا باختيار مركزين شمسيين لهما تركيز شمسي مختلف احدهما بؤري التركيز والثاني خطي التركيز وبأبعاد وأنصاف اقطار مختلفة بغية معرفة مدى اهمية تأثير نوع المركز الشمسي وأبعاده على اختيار مركز شمسي مناسب لدرجة الحرارة المطلوبة وكذا نمط تخزين الحرارة الانسب له.

4-9 / المركز الشمسي البؤري النقطي: هي مراكز ثلاثية الابعاد وتستخدم عموما عندما يشترط وجود تركيز عالي يتراوح ما بين 500 الى 10000

ابعاده:

$$D_1 = 0.5 \text{ m}$$

$$D_2 = 1 \text{ m}$$

$$D_2 = 0.05 \text{ m} \text{ مع قطر المستقبل}$$

ولدينا العلاقة التي تربط بين مساحة فتحة الدخول (سطح استقبال الاشعاع الشمسي) ومساحة فتحة الخروج (السطح الماص) بما يعرف ب انسيبة التركيز الهندسي كالتالي:

$$Cr = \frac{Sb}{Sr}$$

5-4

وعليه يكون لدينا التركيز الهندسي للمركز المقعر :

$$Cr1 = \frac{\pi \frac{D1^2}{4}}{\pi \frac{D2^2}{4}} = \left(\frac{D1}{D2}\right)^2 \quad 6-4$$

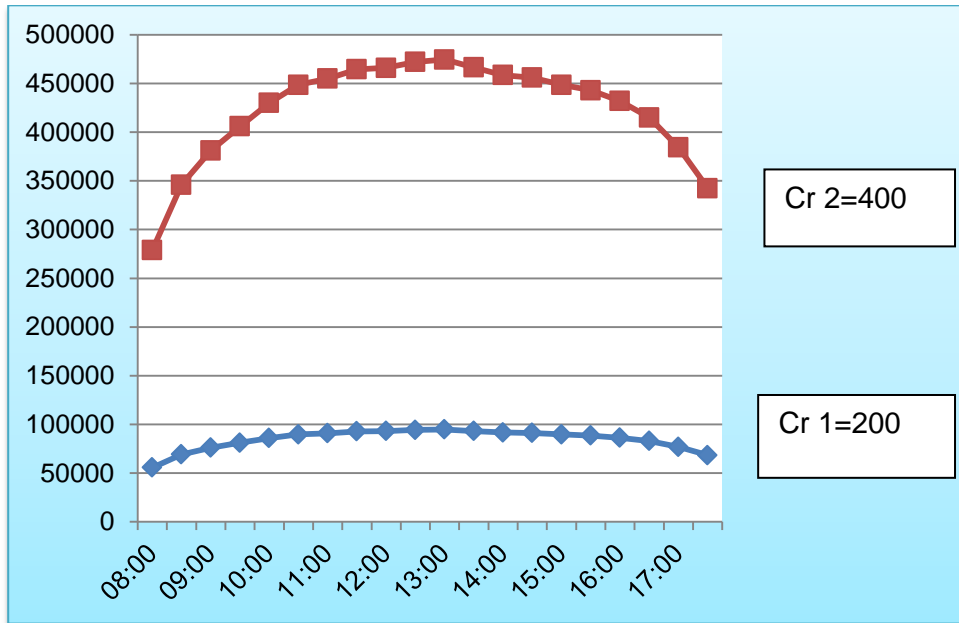
$$Cr1 = \left(\frac{0.5}{0.05}\right)^2 = 100 \quad \text{ت.ع}$$

$$Cr2 = \frac{\pi \frac{D3^2}{4}}{\pi \frac{D4^2}{4}} = \left(\frac{D3}{D4}\right)^2$$

$$Cr1 = \left(\frac{1}{0.05}\right)^2 = 400 \quad \text{ت.ع} :$$

التركيز الهندسي

نتحصل بعدها على المنحنى البياني التالي:



الشكل 3-4 / تركيز الهندسي للمركزين الشمسيين المقعرين

الملاحظات:

من خلال المقارنة بين شدة تدفق الاشعاع وقيم التركيز الهندسي للمركزين نلاحظ ان قيمة الاشعاع قد تضاعفت مئة مرة بالنسبة للمركز ذو النصف قطر السطح المستقبل 0.5 متر بينما قد تضاعف بمقدار 400 مرة بالنسبة للمركز الشمسي ذو النصف قطر 1 متر.

بينما اذا قمنا بالمقارنة بين المركزين نجد ان المركز ذو فتحة الاستقبال 1 متر كان الافضل من حيث قيم التركيز الهندسي بالنسبة للمركز الاخر

اما الان ومن ناحية اخرى قمنا بحساب التدرج او الفرق في درجة الحرارة المقدمة من طرف كل مركز للمقارنة بينهما باستعمال العلاقة التالية:

$$\mu x \left(I x \pi \frac{D^2}{4} \right) x \Delta t = m C_p x \Delta T \quad 7-4$$

حيث:

μ : يمثل المردود الحراري

I : يمثل شدة الاشعاع الحراري

D : يمثل قطر المركز

C_p : السعة الحرارية الكتلية

Δt : يمثل اجمال الزمني لأخذ القياسات

وبأخذ قيمة للمردود الحراري مساوية لل: $\mu = 60\%$

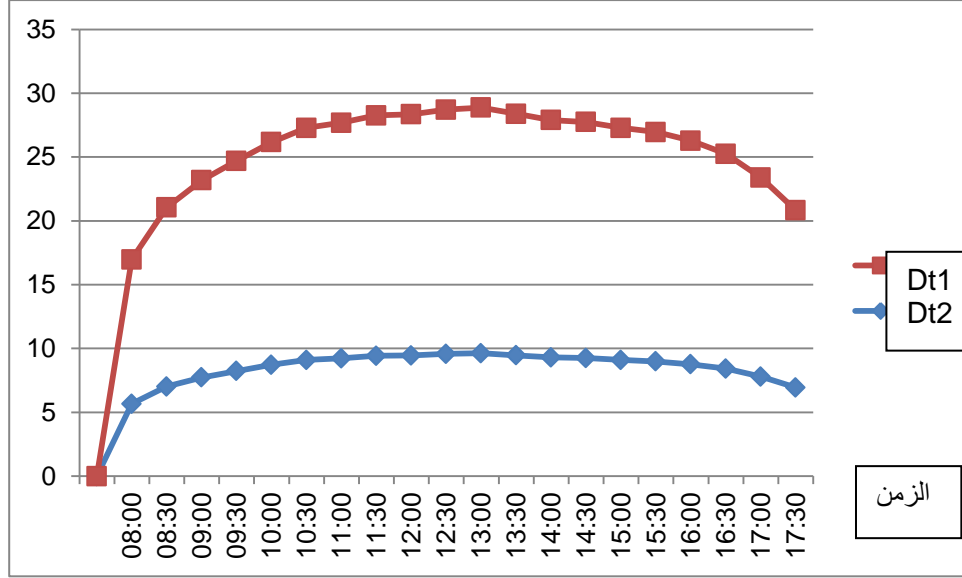
وباعتبار الماء المستعمل في هذه الحالة هو الماء ذو السعة الحرارية

$$C_p = 4180 \text{ (kj/kg} \cdot \text{k)}$$

$$m = 10 \text{ kg}$$

$$\Delta t = 1800 \text{ s}$$

فتحصلنا على منحنى التدرج الموالي:



الشكل 4-4/ التدرج في درجة الحرارة لكلا المركزين المقعيرين بدلالة الزمن

نتيجة: 1-9-4

من خلال قيم الجدول المعطاة ومن خلال المنحنى البياني نلاحظ ان قيمة التغير في درجة حرارة المائع بالنسبة للمركز الشمسي الثاني اكبر من المركز الاول .

وباعتبار المائع (الماء) في هذه الحالة ساكن نلاحظ وصوله الى درجة التبخر تقريبا في المركز الشمسي الاول في الزمن 13:30 زوالا بينما في المركز الثاني يقابله الوصول الى التبخر في الزمن 11:00 صباحا مما يستدعي استخدام الية تغير الطور وتحويل نمط تخزين الحراري من الحساس الى الكامن .

10-4/ المركزات الشمسية ذات البؤرة الخطية : وهي مركزات ثنائية الابعاد مثل عدسات فرنيل والمركزات الاسطوانية

القطع مكافئ وتختار للتركيز الصغيرة او المتوسطة.

وبنفس الخطوات التي استعملت سابقا مع المركز الصحن المكافئ تم استعمالها مع المركز الاسطواني بأبعاد افتراضية هي:

$$S1 = 3m \times 1m$$

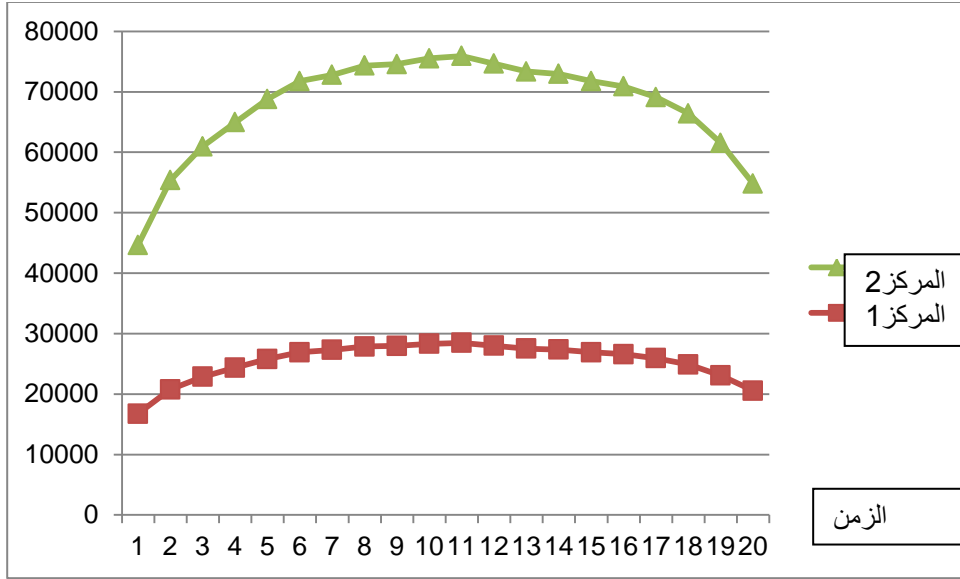
$$S2 = 1.5 m \times 1.5m$$

وباستعمال العلاقة (4-5) نجد:

$$C1 = 30$$

$$C2 = 50$$

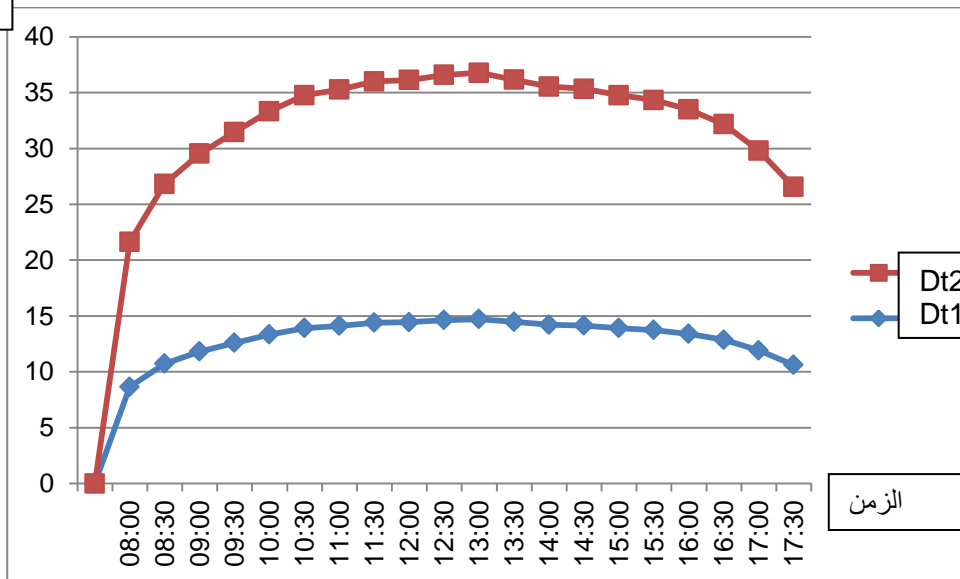
التركيز الهندسي



الشكل 4-5 / قيم التركيز الهندسي للمركزين

من خلال المقارنة بين شدة تدفق الاشعاع وقيم التركيز الهندسي للمركزين نلاحظ ان قيمة الاشعاع قد تضاعفت 30 مرة بالنسبة للمركز ذو النصف قطر السطح المستقبل الاول بينما قد تضاعف بمقدار 50 مرة بالنسبة للمركز الشمسي الثاني. بينما اذا قمنا بالمقارنة بين المركزين نجد ان المركز الثاني يعتبر ذو تركيز افضل من الاول. وباستعمال العلاقة رقم نحصل على الشكل 4-6 الذي يبين قيم الفرق في درجة الحرارة للمركزين الشمسيين المستعملين: (مع الابقاء على المائع المستعمل السابق الا وهو الماء كتلته 50 كيلوغرام)

التدرج في درجة الحرارة



الشكل 4-6 الفرق في درجة الحرارة للمركزين بدلالة الزمن

4-10-1 / نتيجة:

من خلال النتائج المتحصل عليها في الجداول السابقة والمنحنيات نجد ان الاختيار الجيد لأبعاد المركز الشمسي دور فعال للحصول على درجة الحرارة المطلوبة وبالتالي توفير طاقة حرارية أكثر , كما ان اختيار نظام التخزين الحراري مرتبط اساسا بكمية الحرارة المنتجة من طرف المركز الشمسي فمشكلة تغيير الطور في حالة استعمال الماء كمائع لنقل الحرارة يتطلب منا البحث عن حلول بديلة له رغم سعته الحرارية العالية وخلوه من عامل السمية

4-11 / بعض الحلول والتوصيات:

- من الممكن الابقاء على الماء كمائع للتخزين الحراري لغرض الحصول على درجات حرارة اقل من 100 درجة.
- كما يمكن اضافة بعض المواد الكيميائية التي تجعل درجة حرارة تبخر الماء أكبر من ال 100 درجة
- او بالإمكان استبدال الماء بإحدى الزيوت الحرارية التي سبق وان تعرضنا لها .
- او جعل الماء يدور في حلقة لطرد الحرارة المكتسبة.

خلاصة:

في هذا الجزء من الدراسة توصلنا الى وصف بعض المعايير والمواصفات الواجب مراعاتها اثناء اختيار المركز الشمسي المناسب والمطلوب لدرجات حرارة معينة عن طريق اختيار الابعاد المناسبة له. وكذا من خلال المقارنة بين انظمة التخزين الحراري المعروفة تمكن من الربط بين نوع المركز الشمسي المطلوب ونظام التخزين الموافق له.

خاتمة عامة

خاتمة

ان ازدياد الطلب على الطاقة والمشاكل الناجمة عن تلوث البيئة ادى التوجه لرفع كفاءة استخدام الطاقة من خلال الابحاث العلمية المرتبطة بالطاقات المتجددة خاصة الشمسية منها

ان الحديث عن الطاقة الشمسية يدفع بنا الى الحديث عن المراكز الشمسية كجزء لا يتجزأ من هذه التقنية اذ ان استخدام المراكز الشمسية في محطات الطاقة الكهروشمسية يمثل التكنولوجيا الواعدة من اجل انتاج الطاقة الحرارية الشمسية مما يحقق ترشيدا في استهلاك الوقود اللازم لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة وبالتالي التخفيف من الاضرار الناتجة عن التلوث.

ولكن كغيرها من الطاقات المتجددة الاخرى لا تخلو من المشاكل يتمثل اهمها في طبيعتها المتغيرة وعدم تزامنها الدائم ووقت الحاجة لها ومن هنا تنبع اهمية تخزين الطاقة الشمسية كتقنية هامة لتوفير طاقة في كل الاوقات بعد دراسة مختلف انواع المراكز الشمسية وكذا انماط تخزين الطاقة الحرارية و المقارنة فيما بينها من اجل اختيار الانسب حسب درجة الحرارة المطلوبة وكيفية الاستغلال فإننا نسجل النتائج التالية:

فيما يخص المقارنة بين انظمة التخزين وجدنا ان التخزين الكامن لديه افضلية من حيث كثافة الطاقة العالية، استعادة الحرارة في درجة حرارة ثابتة ييسر استخدامها وضمان جودة طاقة مستقلة عن التدرج في درجة الحرارة بين سائل النقل ومواد التخزين إذا ما قورن بالتخزين الحساس لكن نظريا كثافة التخزين بالنسبة للنظام الحراروكيميائي تعتبر عالية جدا بالمقارنة مع كلا النظامين (الحساس والكامن) .

كما نجد ان التخزين الحساس في المواد الصلبة متاح ومتوفر الا ان عيبه هو الحاجة الى العزل وكثافة طاقوية منخفضة.

التخزين في MCP يحتوي على مزايا كثافة الطاقة المرتفعة وصغر حجم التخزين مقارنة بالنظام الحساس اي الحد من حجوم التخزين وبالتالي التقليل من تكاليف التصميم . كذلك امكانية التخزين في درجات حرارة منخفضة الا ان مشكلة العزل التي تبقى قائمة كذلك في هذا النظام.

لنختم بعرض ومناقشة لنتائج المقارنة بين المركز الشمسي القطع المكافئ والصحن المقعر بتقدير شدة الاشعاع الشمسي الساقط على مدينة ورقلة في يوم 21 جوان وحساب قيم التركيز الحراري والفرق في درجة الحرارة المتحصل عليها باستعمال هذين المراكزين , ثم توصلنا الى ان قيم التركيز الهندسي للمراكز الشمسية تتضاعف بالكثير من المرات للمراكز ذات انصاف الاقطار والأبعاد الاكبر وبالتالي الحصول على فرق أكبر في درجة الحرارة

وخلاصة القول فان الموضوع تخزين الطاقة الشمسية يعد في اطواره الاولى ولا يزال في حاجة الى تكثيف الجهود في البحث والتطوير ,وقد نلاحظ عند دراسة معظم التقنيات التحريية المتوفرة حاليا كالحرارية ان بعضها قد دخل طور الاستخدام التجاري بينما بعضها الاخر ما يزال حبيس المختبرات .

قائمة المراجع

قائمة المراجع

[1] Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies –Engineering Sciences Series Vol.38 N 6 2016

Stanford Univacity Global Climat end Energy Project–An Assesment of [2] Solar Energy Conversion Technologies Research Opportuntles –summer 2006

[3] دكتور سيد محمود حسين والدكتور محمد الصالح سميعي تحت عنوان تخزين الطاقة الشمسية مقال من مجلة العلوم والتقنية ربيع الاول 1416هـ العدد الرابع والثلاثون

[3] بالعيد فريحة وبن عزوز الزهرة تحت عنوان دراسة مقارنة بين انظمة تخزين الطاقة الحرارية مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر اكاديمي من جامعة قاصدي مرياح ورقلة تخصص فيزياء طااقوية بتاريخ 23/05/ 2017

[4] هاشم المحفوظ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة البحث تحت عنوان استخدام المواد متغيرة الطور لتخفيض احتياجات الطاقة في الابنية السكنية مجلة جامعة البحث –المجلد 39 –العدد 10-2017 ا.د سهيل حنا د.مها احمد

[5] مسعودي الضاوية تخصص فيزياء الاشعاعات كاشف وبصريات الكترونية تحت عنوان : تأثير مخروط عاكس على تركيز مركز شمسي مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر اكاديمي من جامعة قاصدي مرياح ورقلة سنة 2011/

[6] سوداني عبد البار ,دراسة نظرية لمجمع شمسي اسطواني مقعر ذي غطاء زجاجي مذكرة ماجستر ,جامعة قاصدي مرياح ورقلة 2009

[7] محمد رأفت اسماعيل رمضان تحت عنوان محطات مركزات الطاقة الشمسية لدكتور مهندس محمد الخياط كتاب الطاقة المتجددة الطبعة الاولى 1986م-1406هـ –دار الشروق للنشر مقال من مجلة الكهرباء العربية العدد 99 يناير 2010

[8]E-mail: Mohamed .elkhayat@yahoo.com

[9]Principales technologies du stockage d'énergie au japon

الملخص:

يعد تخزين الطاقة الشمسية الحرارية بالطرق الثلاثة احدى الطرق الاقتصادية لتحقيق ترشيد استهلاك الطاقة في شتى الميادين ان الهدف من هذه الدراسة هو التطرق لمختلف انواع طرق التخزين الحراري والمقارنة بينها من نواحي عدة لتسهيل اختيار النظام المناسب وكذا العلاقة بين الطاقة الشمسية والمركبات الشمسية المختلفة وأنظمة تخزين الطاقة الحرارية بغية الحصول على درجة الحرارة المطلوبة على اساس النتائج المتحصل عليها

الكلمات المفتاحية: المركبات الشمسية، نظام المجمع القطع المكافئ، نظام تخزين الطاقة الحرارية

Summary:

The storage of solar thermal energy in the three ways is one of the economical ways to achieve rational energy consumption in various fields The objective of this study is to discuss different types of thermal storage methods and compare them in many ways to facilitate the selection of the appropriate system As well as the relationship between solar energy and various solar concentrates and thermal energy storage systems in order to obtain the required temperature based on the results obtained

Keywords: solar concentrators, assembler system parabola, thermal energy storage system

Résumé:

Le stockage de l'énergie solaire thermique des trois est l'un des moyens économiques de réaliser une consommation d'énergie rationnelle dans divers domaines L'objectif de cette étude est de discuter des différents types de méthodes de stockage thermique et de les comparer de plusieurs façons pour faciliter la sélection du système approprié. Ainsi que la relation entre l'énergie solaire et divers concentrés solaires et systèmes de stockage d'énergie thermique afin d'obtenir la température requise en fonction des résultats obtenus

Mots-clés: concentrateurs solaires, système d'assembleur parabole, système de stockage d'énergie thermique