الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية الرياضيات وعلوم المادة
قسم الفيزياء

مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي تخصص فيزياء الطاقوية والطاقات المتجددة

# تخزين الطاقة الشمسية الحرارية بواسطة المواد متغيرة الطور PCMفي منطقة ورقلة

من إعداد الطالبتين:

- حنونة حليمة
- غنوم مجدة

نوقشت وأجيزت أمام اللجنة:2020/09/30

| | | | |
|---|---|---|---|
| محسن حسين | أ .محاضر - أ - | جامعة قاصدي مرباح – ورقلة | رئيسا |
| تليلي صالح | أ .مساعد -ب - | جامعة قاصدي مرباح - ورقلة | مناقشا |
| سوداني محمد البار: | أ .محاضر -أ - | جامعة قاصدي مرباح – ورقلة | مؤطرا |

السنة الجامعية: 2019 / 2020

# الاهداء

إلهي لا يطيب الليل إلا بشكرك و لا يطيب النهار إلا بطاعتك.و لا تطيب اللحظات إلا بذكرك ..

الله ﷻ

إلى من بلغ الرسالة و أدى الأمانة. و نصح الأمة. إلى نبي الرحمة و نور العالمين..

سيدنا محمد "صلى الله عليه و سلم"

وقضى ربك ألا تعبدوا إلا إياه وبالوالدين إحسانا .....

"الآية23 ، الإسراء"

إلى التي طالما حلمت أن تبصر نجاحي والتفوق الدائم في دراستي، إلى روحها الطاهرة نبع الحنان، إلى الخير والصفاء رحمها الله تعالى واسكنها فسيح جنانه

أمي الغالية

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار. إلى من علمني العطاء دون انتظار.. إلى من أحمل اسمه بكل افتخار. أرجو من الله أن يمد في عمرك لترى ثمارا قد حان قطفها بعد طول انتظار

والدي العزيز

إلى النور الذي أستضئ به طريقي في هذه الدنيا وكانت بمثابة امي " نوال"

الى توأم روحي، فاطمة الزهراء، مروة، دنيا، فردوس، ابتهال، عبلة وهند

إلى من كانوا ملاذي وملجئي، إلى إخوتي الذكور كل واحد باسمه والى زوجاتهم وابناءهم

إلى كل الأهل والأقارب العائلة الكريمة، "عائلة حنونة"

إلى أخواتي واصدقائي وصديقاتي ، مجدة، خليصة ، شيماء ، نور الهدى، حنين، سمية، فاطمة الزهراء، سناء، رانيا،خضرة.....

الى كل زملائي ورفقائي في الدفعة في كلية الرياضيات وعلوم المادة

إلى كل من أسهم في أن يخرج هذا العمل للنور ولو بابتسامة

إلى كل من علمني حرفا والى كل من وسعتهم ذاكرتي ولم تسعهم مذكرتي

أهدي عملي المتواضع

حليمة

# الاهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات حمدا كثيرا طيبا مباركا فيه كما ينبغي لجلال وجهه وعظيم سلطانه وكما يليق بعظيم نعمه علينا.

الحمد لله الذي هدانا إلى طريق العلم والمعرفة، و فقنا لانجاز هذه لمذكرة و إتمام هذا البحث العلمي المتواضع و الذي هديه:

*إلى من يشتهي اللسان نطقها وترف العين لوحشتها إلى من تخشع الأحاسيس لذكرها،

ويرتجف كبدي كلما ابتعدت عنها ، إلى من يحن القلب لتقبيلها وتشتاق الاذن لسماع دعواتها (امي الغالية)

*إلى من علمني أبجدية الحَياة و سقاني كأسها حُلوها و مُرها إلى من ناضل لأجلي لأرتاح و هيأ لي أسباب النجاح، إلى من أتمنى أن أعمل لأكون له ثمرة طيبة الجهد وصمودا و تضحيات لعمره.(ابي الغالي)

*إلى من هم أنس عمري و مخزن ذكرياتي و مصدر استمراري( اخواتي الاعزاء)

*إلى من رافقت دربي و آنست وحدتي إلى من تحملت معي عناء هذا الجهد وشقاءه(حليمة حنونة)

الى من تحلو بالإخاء وتتميز بالوفاء والعطاء الى ينابيع الصدف الصادق الى من سعدت برفقتهم في إلى من تمنى لي الخير دروب الحياة الحلوة و الحزينة، إلى كل من كانوا معي على طريق النجاح، وشجعني ولو بكلمة طيبة الى من عرفت اجدهم وعلموني ان لا اضيعهم(احبتي في الله)

(أجدهم وعلموني أن لا أضيعهم. } أحبتي في الله

مجدة

# تشكرات

"ربي أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت علي و على والدي و أن أعمل صالحا ترضاه و أدخلني برحمتك في عبادك الصالحين" "سورة النمل"19

أول من يشكر و بحمد آناء الليل و أطراف النهار, هو العلي القهار, الأول و الآخر و الظاهر و الباطن, الذي أغرقنا بنعمه التي لا تحصى, و أغدق علينا برزقه الذي لا يفنى, و أنار دروبنا,فله جزيل الحمد و الثناء العظيم, هو الذي أنعم علينا إذ أرسل فينا عبده ورسوله "محمدا بن عبد الله" عليه أزكى الصلوات و أزكى التسليم, أرسله بقرآنه المبين, فعلمنا ما لم نعلم, و حثنا على طلب العلم أينما وجد.

لك الحمد كله و الشكر كله أن وفقنا و ألهمنا الصبر على المشاق التي واجهتنا لإنجاز هذا العمل المتواضع.

من حق ذوي الفضل علينا أن ننوه له بالشكر الجزيل منذ بداية مشواري الدراسي حتى هذه اللحظة, كما نرفع كلمة الشكر إلى الأستاذ المشرف " سوداني محمد البار " التي ساعدنا على إتمام بحثنا، كما نشكر الأساتذة الذين لم يبخلوا علينا بالنصائح و إرشاداتهم ونخص بالذكر "د ستو نورالدين "

كما نشكر كل من مد لنا يد العون من قريب أو بعيد, و نشكر كل أساتذة و عمال قسم الفيزياء .

و في الأخير لا يسعنا إلا أن ندعو الله عز و جل أن يرزقنا السداد و الرشاد, و العفاف و الغنى و أن يجعلنا هداة مقتدين.

حليمة ومجدة

**الفهرس**


| | |
|---|---|
| **قائمة الجداول** | |
| **قائمة الاشكال** | |
| **قائمة الرموز** | |
| **مقدمة عامة** | **01** |
| **الفصل الأول: الاشعاع الشمسي** | |
| **مقدمة** | **03** |
| **I-1- مصدر الطاقة الشمسية** | **03** |
| **I-2- مميزات الطاقة الشمسية** | **03** |
| **I-3 -الاشعاع الشمسي** | **04** |
| **I- 4- الثابت الشمسي** | **04** |
| **I -5- طيف الإشعاع الشمسي** | **05** |
| **I- 6- العوامل المؤثرة على شدة الاشعاع الشمسي** | **06** |
| **I-7- الزوايا الشمسية** | **07** |
| **I- 7-1- زاوية الميل الشمسي δ** | **07** |
| **I- 7-2- زاوية الارتفاع الشمسي h** | **08** |
| **I- 7-3- زاوية السمت الشمسي a** | **09** |
| **I-7-4- زاوية السمت الرأسي z** | **09** |
| **I-7-5- زاوية دائرة العرض ϕ** | **09** |
| **I-7-6- زاوية خط الطول L** | **10** |
| **I-8- التوقيت الشمسي Tvs والمحلي TL** | **10** |
| **I-9- تحديد توقيت الشروق والغروب** | **11** |

| | |
|---|---|
| I-10- حساب شدة تدفق الاشعاع الشمسي المباشر والمنتشر | 12 |
| I-11- استخدامات الطاقة الشمسية | 12 |
| الخاتمة | 13 |
| الفصل الثاني: المركزات الشمسية | |
| مقدمة | 14 |
| II-1- تعريف المركزات الشمسية | 15 |
| II-2- مكونات المركزات الشمسية | 15 |
| II-2-1- العاكسReflector | 15 |
| II-2-2- المستقبل Receiver | 15 |
| II-2-3- فتحة العاكسAperture | 15 |
| II-3- نسبة التركيزRatio Concentration | 15 |
| II-3-1- المركزات الخطية | 16 |
| II-3-2- المركزات النقطية | 16 |
| II-3- 3- نظم التتبعSystems Tracking | 16 |
| II-4- المردود | 17 |
| II- 4-1-المردود الضوئي | 17 |
| II-4-2-المردود الحراري | 17 |
| II-4-3- درجة حرارة الركود | 18 |
| II-5- آلية عمل المركزات الشمسية | 18 |
| II-6- أنواع المركزات الشمسية | 19 |
| II-6- 1 -مركزات الاسطواني القطع المكافئ | 19 |
| II-6-2 -مركزات الأطباق Concentrators Dish | 20 |
| II-6-3 –عواكس فرينل الخطية Concentrators Frensel Linear | 22 |

| | |
|---|---|
| II-6-4 -مركزات برج القويConcentrators Tower Power | 23 |
| II-7- المقارنة بين مختلف أنظمة التركيز الشمسي | 25 |
| الخاتمة | 25 |
| الفصل الثالث: دراسة المواد متغيرة الطور | |
| المقدمة | 27 |
| III- 1 - طرق تخزين الطاقة الشمسية | 27 |
| III- 2- فوائد التخزين الحراري | 28 |
| III- 3- معايير تصنيف أنظمة التخزين الحراري | 28 |
| III-4- خصائص التخزين الحراري | 30 |
| III-5- أنظمة التخزين الحراري | 30 |
| III-5-1- الحرارة المحسوسة | 31 |
| III-5-2- التخزين الكيميائي | 34 |
| III-5-3- الحرارة الكامنة | 36 |
| III-6 - مميزات كل نظام وتطبيقاته | 37 |
| III-7- المواد متغيرة الطور | 38 |
| III-8- إيجابيات وسلبيات متغيرات الطور | 39 |
| III-9- أكثر المواد المتغيرة الطور استخداما | 39 |
| III-10- الظواهر المؤثرة على المواد متغيرة الطور التي تؤثر على كفاءة التخزين | 40 |

| | |
|---|---|
| III-11- اختيار المواد متغيرة الطور | 42 |
| III-12- تقنيات التكييف المواد متغيرة الطور | 42 |
| III-13- دمج بيانات معدنية مع المواد متغيرة الطور | 44 |
| III-13- تطبيقات المواد متغيرة الطور | 44 |
| الخاتمة | 47 |
| الفصل الرابع: مناقشة النتائج | |
| المقدمة | 49 |
| IV -1- مخطط العمل | 49 |
| IV-2- شدة الاشعاع الشمسي المباشر | 50 |
| IV-3- تأثير التدفق الكتلي للمائع | 50 |
| IV-4- تأثير طول المركز الشمسي | 58 |
| الخاتمة | 58 |
| الخاتمة العامة | 59 |
| المراجع | 60 |

## قائمة الجداول


| الجدول: | العنوان | الصفحة |
|---|---|---|
| الجدول III-1 | يوضح خصائص مواد التخزين الحرارة المحسوسة عند 20درجة مئوية | 32 |
| الجدول III-2 | خصائص ومواد التخزين بالسوائل في الجدول | 33 |
| الجدول III-3 | يلخص مميزات كل نظام والتطبيقات الاكثر مناسبة لاستخدامها | 37 |
| الجدول III-4 | يوضح بعض ايجابيات وسلبيات مختلف المواد متغيرة الطور | 38 |
| الجدول IV-1 | يوضح كمية الحرارة المجمعة خلال اليوم | 58 |

## قائمة الأشكال


| الشكل | العنوان | الصفحة |
|---|---|---|
| الشكل I-1 | الثابت الشمسي $I_o$ بدلالة اليوم من السنة | 5 |
| الشكل I-2 | توزيع طيف الإشعاع الشمسي | 5 |
| الشكلI- 3 | تأثير الغلاف الجوي على طيف الإشعاع الشمسي | 6 |
| الشكل I-4 | الزاوية ميل الشمسي $\delta$ | 8 |
| الشكل I-5 | زاوية كل من السمت الرأسية والسمت الشمسي | 9 |
| الشكل I-6 | زوايا تحديد الموقع(زاوية خط العرض$\phi$ وزاوية خط طولL ) | 10 |
| الشكل I -7 | بيان تغيرات التصحيح الزمني خلال ايام السنة | 11 |
| الشكل II-1 | المبدأ الرئيسي للتركيز الشمسي | 16 |
| الشكلII-2 | بعض اشكال والمقاطع الهندسية المعروفة في طرق تركيز الاشعاع الشمسي، و كذلك مسار اشعة الشمسية الواردة و المنعكسة | 18 |
| الشكلII-3 | صورة لمحطة تعتمد على تقنية الاسطواني القطع المكافئ | 19 |
| الشكلII-4 | صورة لمحطة شمسية تعتمد على تقنية الاطباق | 21 |
| الشكلII– 5 | صورة لعاكس فرينيل خطي | 22 |
| الشكل II– 6 | صورة لمحطة شمسية تعتمد على تقنية البرج القوي | 23 |
| الشكل II-7 | صورة لآلية عمل مركزات البرج القوي | 24 |
| الشكل II-8 | التركيز الهندسي ودرجة حرارة اشتعال مختلف المركزات الشمسية | 25 |
| الشكل III–1 | الطرق المختلفة لتخزين الطاقة الشمسية | 27 |
| الشكل III–2 | معايير تصنيف انظمة التخزين الحراري | 29 |
| الشكل III–3 | مخطط يوضح تقنيات تخزين الطاقة الحرارية | 31 |
| الشكل III–4 | مبدا تخزين الحراروكميائي | 35 |
| الشكل III–5 | منحنى يوضح الخطوات المختلفة خلال تخزين الحرارة الكامنة (صلب/سائلة) | 37 |

| | | |
|---|---|---|
| الشكل III–6 | منحنى يوضح ظاهرة فرط البرودة | 41 |
| الشكل III–7 | تكييف ال MCPفي عقيدات | 43 |
| الشكل III–8 | اشكال مختلفة من التغليف الكلي | 43 |
| الشكل III–9 | يمثل شكل من اشكال التغليف الكلي | 43 |
| الشكل III–10 | مختلف انواع التغليف الصغير | 44 |
| الشكل III–11 | وصف للتغليف الصغير | 44 |
| الشكل III–12 | تمثل مختلف انواع ادماج ال PCM عن طريق بينات معدنية | 44 |
| الشكل III–13 | يمثل البطارية الحرارية | 45 |
| الشكل III–14 | سكوتر كهربائي | 46 |
| الشكل III–15 | انبوبTSA الشمسية باستخدام MCP | 47 |
| الشكل IV-1 | رسم تخطيطي للبرنامج | 49 |

الرموز

**قائمة الرموز**

| الرمز | المقدار الفيزيائي | الوحدة في النظام الدولي |
|---|---|---|
| $\Delta Hn$ | أنتالبي التفاعل | J/mol |
| A | زاوية السمت الشمسي | ° |
| Cp | السعة الحرارية | $\frac{J}{K.kg}$ |
| Δt | التغير في درجة الحرارة اثناء عملية التخزين | K |
| E | كمية الطاقة المخزنة | J |
| Et | معادلة التصحيح الزمني | Min |
| H | زاوية الارتفاع الشمسيh | ° |
| $I_0$ | الثابت الشمسي | w/m |
| L | زاوية خط الطول للمنطقة | ° |
| M | كتلة مادة التخزين | Kg |
| $n_A$ | عدد المولات للمركب الكيميائي (A) | Mol |
| Nj | رقم اليوم من السنة | / |
| $\eta_{optique}$ | المردود الضوئي | / |
| Pr | شدة الاشعاع الواصل الى السطح الماص | $w/m^2$ |
| Pu | شدة التدفق الحراري المفيد | $w/m^2$ |
| Q | كمية الحرارة | J |
| $\eta_{thrmique}$ | المردود الحراري | / |

| | | |
|---|---|---|
| TL | التوقيت المحلي | H |
| Tvs | التوقيت الشمسي الحقيقي | H |
| Z | زاوية السمت الرأسيz | ° |
| Δ | زاوية الميل الشمس | ° |
| η | المردود | / |
| Φ | زاوية دائرة العرض | ° |
| $\tau$ | معامل النفاذية | / |

# مقدمة عامة

## مقدمة

يعد التكامل التكنولوجي بين الدول النامية والمتقدمة احد متطلبات ترويج استخدامات تطبيقات الطاقة الشمسية في كافة المجالات **[1]** ، حيث تعتبر الطاقة الشمسية المصدر الأساسي والرئيسي الذي يمد كوكب الأرض بالطاقة كما تعتبر المصدر الواسع الانتشار في مختلف أنحاء ألعالم حيث أن الطاقة التي يمكن الحصول عليها من أشعة الشمس لمدة 105 دقيقة، تكفي احتياجات واستهلاك العالم لمدة عام **[2].** تعتبر الشمس من أهم مصادر الطاقة، حيث تبلغ كثافة تدفق الطاقة المنبعثة منها $63Mw/m^2$ في جميع الاتجاهات، بينما تستقبل الأرض منها $1.7x10^{14}Kw$، وتكون كثافة تدفق الطاقة على سطح الأرض في حدود. $1Kw/m^2$ **[4,3]** وهذه الطاقة التي تصل سطح الأرض تقدر بحوالي 10 آلاف مرة من الطلب العالمي على الطاقة.الشمس آية من آيات الله في الكون، ولعظمها تكرر ذكرها في 33 موضع ا من القرءان .سخرها المولى لتتحقق الحياة لكل الكائنات على وجه الأرض، فمنها يستمدون الطاقة اللازمة لحياتهم، و يحدث تعاقب الليل والنهار، ولذلك امتن الله بها على عباده في قوله تعالى:

**﴿ وَسَخَّرَ لَكُمُ الشَّمْسَ وَالقَمَرَ دَائِبيْنِ وَسَخَّرَ لَكُمُ اللَّيْلَ وَالنهَارَ * وَآتَاكُمْ مِنْ كُلِّ مَا سَأَلْتُمُوهُ وَإِنْ تَعُدُّوا نِعْمَةَ الله لَا تُحْصُوهَا إِنَّ الإِنْسَانَ لَظَلُومٌ كَفَّارٌ ﴾ {إبراهيم:33 _34}**

كما قال تعالى:

**﴿ تَبَارَكَ الَّذِي جَعَلَ فِي السَّمَاءِ برُوجًا وَجَعَلَ فِيهَا سِرَاجًا وَقَمَرًا مُنِيرًا ﴾{الفرقان:61}**

وتعود معظم مصادر الطاقة المتجددة المتوفرة على سطح الأرض إلى الإشعاعات الشمسية فجميع أنواع الطاقات بما فيها البترول والغاز والفحم تكونت بسبب أشعة الشمس وما تلي ذلك من حرارة وضغط عبر الأحقاب الزمنية بالإضافة إلى مصادر الطاقة الثانوية مثل طاقة الرياح وطاقة الكتلة الحية..... الخ.**[2]**

ونظرا لغياب الشمس وبذلك محدودية مدة التشميس خلال الليل أو الغيوم والسحب والغبار فإنه تصبح الحاجة ماسة لتخزين الطاقة في أوقات الذروة لإعادة استرجاعها خارج مدة التشميس.

ومن بين هذه الحلول اعتماد أنظمة لتخزين الطاقة في شتى أشكالها ،فالتخزين يهتم بالدرجة الأولى بالموارد الطاقوية أو بسهولة الوصول إليها فهو يوازن الإنتاج مع الاستهلاك كما أنه يحد من ضياع الطاقة، ويعتبر مهم حتى في حالة الطاقات المتجددة فالحاجة للتخزين هي استجابة لاعتبارات اقتصادية وبيئية وجيوسياسية وتكنولوجية .ومن أنواع التخزين نجد التخزين الحراري (المحسوس، الكامن، الحراروكيميائي)، غير أن مشكلة العزل والكثافة الضعيفة و قصر مدة التخزين لكلا النظامين( المحسوس، الكامن )تنقص من فعاليتهما بالمقارنة مع التخزين الحراروكيميائي، خاصة في مجال التخزين الموسمي فهذا الأخير لا يحتاج إلى

عزل وهذا ما يجعله يدوم لمدة أطول ويقلل من تكاليف التخزين، ليس هذه الميزة فقط فكثافة التخزين العالية كذلك تؤهله لأن يلقى اهتماما كبيرا من طرف خبراء الطاقة والتخزين .حيث إن الدراسات وبحوث لازالت متواصلة في تحسين مردود الخلية الشمسية وكذا التقليل من تكليفها من خلال مختلف العوامل المؤثرة **[5].**

وانطلاقا من هذه الأهمية جاء اختيارنا لموضوع بحثنا هذا وهو التخزين الحراري بواسطة المواد متغيرة الطور (PCM) والذي يعتبر حلا فيما يخص تثمين الطاقة الشمسية وتطبيقاتها الحرارية والصناعية والذي يتضمن دراسة اربعة فصول:

**الفصل الأول :**سنقدم فكرة عامة عن مجال الطاقة الشمسية والاشعاع الشمسي (الزوايا الشمسية والعوامل المؤثرة بتوزيع الاشعاع الشمسي).

**الفصل الثاني:** سنتعرف على مختلف المركزات الشمسية (خصائصها، انواعها وتطبيقاتها).

**الفصل الثالث:** تطرقنا إلى دراسة شاملة للتخزين الحراري في المواد متغيرة الطور .

**الفصل الرابع :** قمنا بتحليل ومناقشة النتائج المتحصل عليها بواسطة برنامج حاسوبي بلغة MATLAB تم فيه حساب شدة الإشعاع الشمسي المباشر والإشعاع المركز الواصل إلى مدينة ورقلة على طول السنة حسب أبعاد المركز حيث نستطيع تقدير الطاقة الفائضة التي نقوم بتخزينها ثم استرجاعها عند غياب الشمس .

# الفصل الأول

# الاشعاع الشمسي

**مقدمة :**

تعتبر الطاقة الواردة إلينا من الشمس من أهم أنواع الطاقات التي يمكن للإنسان استغلالها فهي طاقة دائمة لا ينتج عن استخدامها غازات أو نواتج ثانوية ضارة بالبيئة مقارنة بالمصادر الأخرى ولا تترك مخلفات على درجة من الخطورة مثل النفايات المشعة التي تنتج عن استعمال الطاقة النووية[6].

وقد استفاد الانسان منذ القدم في استغلال الطاقة الشمسية لمختلف احتياجاته مثل تجفيف المحاصيل الزراعية وتسخين المياه والطهي .....الخ. وسنتعرف في هذا الفصل على الطاقة الشمسية التي تصل سطح الارض واهم العوامل المؤثرة فيها.

## I-1- مصدر الطاقة الشمسية:

الشمس هي مصدر الطاقة على كوكب الأرض وهي عبارة عن كرة غازية يبلغ قطرها 696 مليون متر ،وكتلتها حوالي $2x10^{29}$ طن ودرجة حرارة سطحها حوالي°C 6000، ومكوناتها الأساسية هي غاز الهيدروجين (حولي75% ) و غاز الهليوم حوالي 25% بالإضافة إلي كميات ضئيلة من بعض العناصر الأخرى كالحديد والنيون والكربون .وتتولد الطاقة الشمسية نتيجة التحول المستمر لكل أربع ذرات من الهيدروجين إلى ذرة واحدة من الهيليوم في تفاعل اندماجي نووي ولما كانت كتلة ذرة الهيليوم الناتجة من التفاعل اقل من مجموع كتل ذرات الهيدروجين الداخلة فيه فان فرق الكتلة يتحول إلي ضوء و حرارة تنتقل على هيئة أشعة يبلغ معدل انبعاثها $3.8 \times 10^{23}$ *كيلوا وات* وتشع هذه الكمية في جميع الاتجاهات،ولا يصل منها إلا مقدار ضئيل يتناسب مع مساحة الأرض ومع المسافة بين الشمس والأرض ,وترسل الشمس أشعتها على شكل تيار من الجسيمات تدعى الفوتونات وتنطلق الأشعة الشمسية على شكل حزم موجية متوازية مختلفة الأطوال وتبلغ قيمة معدل الإشعاع الشمسي الساقط على المحيط الخارجي للأرض1367 وات لكل متر مربع[6].

## I-2- مميزات الطاقة الشمسية:

من أهم المصادر المتجددة للطاقة والتي يمكن استغلالها بدرجة كبيرة هي الطاقة الشمسية لما تتميز من:

1- طاقة لا تنضب متوفرة على مدار العام( تبدو أكثر ديمومة من الوقود الأحفوري أو النووي).

2- طاقة نظيفة غير ملوثة للبيئة( لا يصدر عن استخدامها ثاني أكسيد الكربون).

3- التكنولوجيا المستخدمة فيها غير معقدة ويمكن تصنيعها محليا.

4-إنها هبة من الله ولا تكلف شيئا عدا أجهزة التجميع [7].

## I -3-الاشعاع الشمسي:

تنتج الطاقة الشمسية عن التفاعل النووي للاندماج الحراري لأنوية الهيدروجين لتتحول الى أنوية هيليوم بنقص كتلي قدره 4 مليون طن في الثانية، وبذلك تشع استطاعة $3.8.10^{26}$ w والتي توافق طاقة كثافتها $63Mw/m^2$، ويصل منها إلى سطح الأرض حوالي $1\ Kw/m^2$مستغرقا مدة قدرها 8 دقائق و20 ثانية(12) ،حيث تبلغ درجة حرارة سطحها حوالي 5000k و تتراوح درجة حرارة مركزها بين (106 × 40 – 106 × 8) [12] ، و تشع الشمس (باعتبارها جسما اسودا )(نصف قطرها Rsودرجة حرارتها Ts ) هذه الطاقة بتدفق يعطى بقانون:stephen.

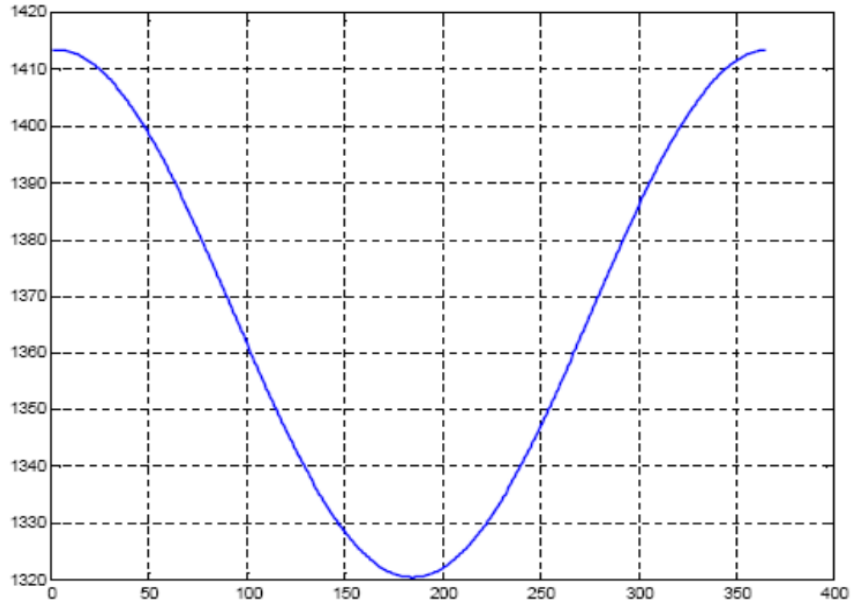
$$ø = \sigma T_s^4 4\pi R_s^2 \qquad (1\text{-}1)$$

ويقدر القطر الظاهري للشمس من سطح الأرض 32 دقيقة ( 0.53 °)

## I-4-:الثابت الشمسي:

هو تدفق الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح *مساحته* $1m^2$*مثبت* في نهاية الغلاف الجوي الأرضي في وضع يكون فيه عمودي على أشعة الشمس وذلك باعتبار المسافة بين الشمس والأرض على قيمتها المتوسطة خلال السنة والمقدرة ب ($1.5x10^8 Km$ ) و القيمة المتوسطة للثابت الشمسي **($I_o$=1353w/m 1.5 )** [8].

$I_o$w/m2




**(الشكل1.I): الثابت الشمسي$I_o$ بدلالة اليوم من السنة**

تتغير شدة تدفق الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي بالانحراف عن قيمة الثابت الشمسي $I_o$ ب (±3.3٪) حسب اقتراب أو ابتعاد الشمس عن الأرض وذالك حسب اليوم من السنة ,و تعطى علاقة التصحيح للثابت الشمسي **[8]:**

$$I_0 = E_0 (1 + 0.33Cos(Nj)) \qquad (2\text{-}1)$$

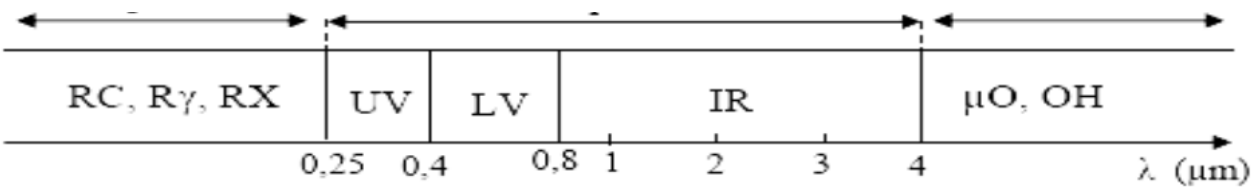
***Nj*:**رقم اليوم من السنة ابتدءا من 1جانفي(1.....365).

## I--5 طيف الإشعاع الشمسي:

إن الإشعاع الشمسي الصادر عن الشمس على شكل أمواج كهرومغناطيسية تتوزع طاقته على طيف الإشعاع حيث تكون98٪ من طاقة الإشعاع ضمن أطوال الموجات[ 0.25µm,4 µm] $\lambda \in$

بينما نجد1 ٪ من الطاقة تحت هذا المجال و1٪ فوق هذ ا المجال,كما هو مبين في الشكل

**1٪من الطيف الشمسي** **98 ٪من الطيف الشمسي** **1٪من الطيف الشمسي**




**(الشكل I.2)** :توزيع طيف الإشعاع الشمسي

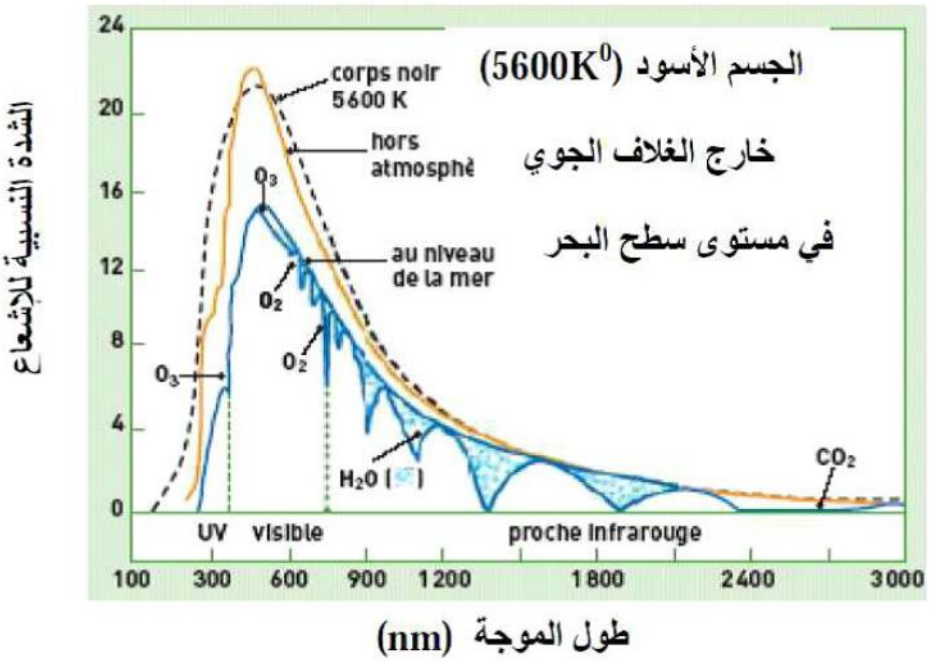
$\lambda \in [\ 0.25\ ,0.4\ ]\ \mu m$ المجال الفوق بنفسجي ويمثل 7٪ من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس

$\lambda \in [\ 0.4\ ,0.8\ ]\ \mu m$ المجال المرئي ويمثل 47.5٪ من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس

$\lambda \in [\ 0.8\ ,\ 4\ ]\ \mu m$ في المجال الاحمر ويمثل 45.5٪ من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس

إن طيف الإشعاع الشمسي يحاكي إشعاع الجسم الأسود في درجة حرارة T=5600k في مجال الطيف $\lambda \in [\ 0.25\ ,0.4\ ]\ \mu m$

بينما يصل إلى سطح الأرض بعد بعض الإمتصصات من قبل مختلف الغازات وبخار الماء داخل الغلاف الجوي,كما هو مبين في الشكل **(3.I )** [8].




**(الشكل3.I ):تأثير الغلاف الجوي على طيف الإشعاع الشمسي**

## I-6- العوامل المؤثرة على شدة الاشعاع الشمسي :

تتأثر شدة الإشعاع الشمسي قبل وصوله إلى الأرض بعاملين أساسين هما: الغلاف الجوي والزوايا الشمسية التي يسقط بها الإشعاع على الأرض وتتخذ أكثر المتغيرات التي تحدد هذين العاملين أسلوبا متناسقا يمكن به توقع شدة الإشعاع في موقع معين من الأرض اعتمادا على مكانه من الكرة الأرضية والزمن( اليوم والشهر و السنة).

وتأتي التغيرات الغير متوقعة في شدة الاشعاع في موقع معين من الأرض بسبب عوامل يصعب التحكم فيها، مثل الطقس وخصائصه من الحرارة وسحب و الرياح و الأمطار .....الخ.

لذلك لا يمكن تقدير تأثير الطقس خلال اليوم أو الشهر لموقع معين إلا بعد رصد العوامل المؤثرة فيه لعدة سنوات و من ثم حساب متوسط هذه المعلومات لذلك اليوم او الشهر او تلك الفترة[2].

## I-7- الزوايا الشمسية:

ان استخدام الطاقة الشمسية بشكل فعال يتطلب تفصيلية للعلاقة بين الشمس و الأرض والمنطقة موضع الاهتمام على سطح الارض فعند الحديث عن استخدام الطاقة الشمسية لابد من الاخذ بعين الاعتبار حقيقة ان الشمس هي مصدر الطاقة وان المطلوب هو رفع كفاءة استخدام هذه الطاقة. ولأجل تحقيق هذا الغرض فان الامر يتطلب المعرفة التفصيلية والدقيقة للعلاقة بين المواقع المختلفة على سطح الارض و الشمس [6].

### I-7-1- زاوية الميل الشمس δ:

هي زاوية ميلان محور دوران الأرض عن المحور العمودي على مستوى مدار الأرض حول الشمس، أو هي الزاوية التي يصنعها الخط الواصل من مركز الأرض إلى مركز الشمس مع مستوى خط الاستواء.

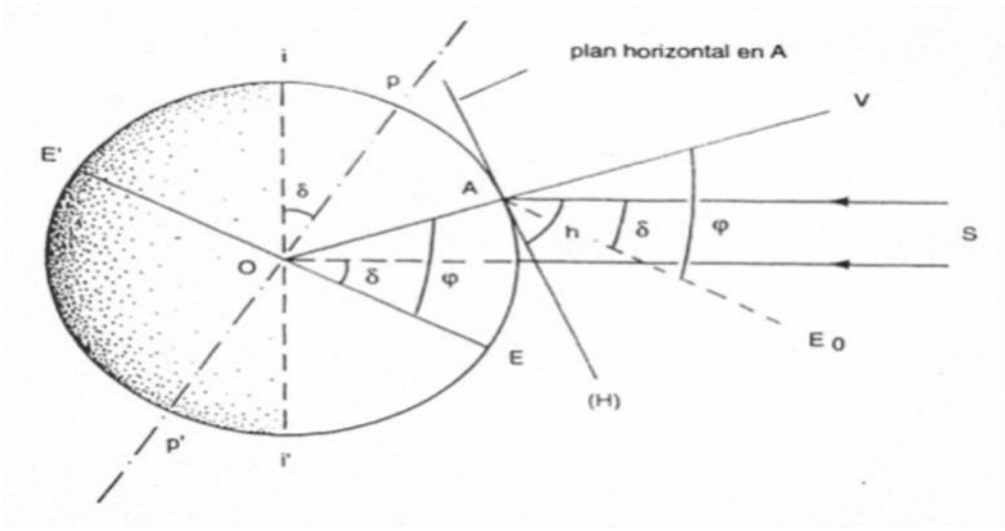
و تتغير هذه الزاوية على مدار السنة حيث تنعدم في الاعتدالين الربيعي (21 مارس ) والخريفي (23سبتمبر)،(مدار الاستواء) بينما تكون أعظمية عند الانقلاب الصيفي (22 جوان) "23.45" (مدار السرطان ) والانقلاب الشتوي (22 ديسمبر) 23.45- (مدار الجدي ) **[8،9 ].**

$$+23.45 \leq \delta \leq -23.45 \qquad (3\text{-}1)$$

نتيجة لذلك فان قيمة زاوية الانحراف لأي يوم من السنة يمكن اعتبارها ثابتة وتحسب بالعلاقة التالية**[8].**

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(284+n)\right) \qquad (4\text{-}1)$$

حيث n يمثل رقم اليوم من السنة من 1 الى 365




**(الشكل I.4)** : الزاوية ميل الشمسي δ.

## I-7-2- زاوية الارتفاع الشمسيh :

هي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين نقطة على سطح الأرض و مركز الشمس الأفقي الذي تمر فيه النقطة على الأرض، هذه الزاوية تساوي الصفر عند شروق و غروب الشمس وتأخذ القيمة العظمى عند وقت الزوال ألشمسي هذه الزاوية مهمة في تحديد كمية الاشعاع الواصل الي سطح الأرض**[8]**.

h = 0 : عند شروق وغروب الشمس. h > 0 : في النهار . h < 0 : .في الليل

وتكتب بالعلاقة ألتالية **[10]:**

$$\sin(h) = \sin\phi \cdot \sin\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos \qquad (5\text{-}1)$$

## I -7-3- زاوية السمت الشمسي a :

هي الزاوية المحصورة بين الخط المار في النقطة على سطح الأرض والمتجه جنوبا وبين المسقط الأفقي للخط الواصل بين النقطة والشمس هذه الزاوية تكون موجبة إذا كانت متجهة نحو الغرب

$$a \in [-180^0, +180^0] \qquad (6\text{-}1)$$

a = 0مسقط الشعاع الشمسي منطبق على المحور جنوب

a > 0 مسقط الشعاع الشمسي منحرف عن المحور جنوب باتجاه الغرب .

a < 0 مسقط الشعاع الشمسي منحرف عن المحور جنوب باتجاه الشرق.

ويمكن حساب زاوية السمت بالعلاقة **[10].**

$$\text{Sin a} = \frac{cos\delta_s . sinw}{cosh} \qquad (7\text{-}1)$$

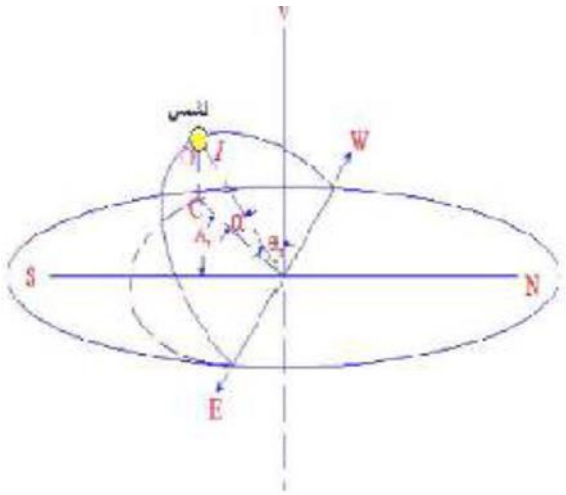
## I- 7-4- زاوية السمت الرأسي z :

هي الزاوية بين الشعاع الشمسي وسمت الأرض (الخط الشاقولي المار بالموقع) وبذلك فهي متممة زاوية الارتفاع الشمسي

$$Z = \frac{\pi}{2} - h \qquad (8\text{-}1)$$

ويمكن حسابها بالعلاقة التالية**[8]:**

$$Cos\theta z = cos\delta s . \cos L . \cos \omega + \sin \delta s . \sin L \qquad (9\text{-}1)$$




**(الشكل5.I)**:زاوية كل من السمت الرأسية والسمت الشمسي

## I- 7-5- زاوية دائرة العرض ϕ :

هي زاوية تحدد موقع النقطة على سطح الأرض حيث تعرف بانها الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين مركز الأرض وموضع النقطة على سطح الأرض مع مستوى خط الاستواء **[11].**

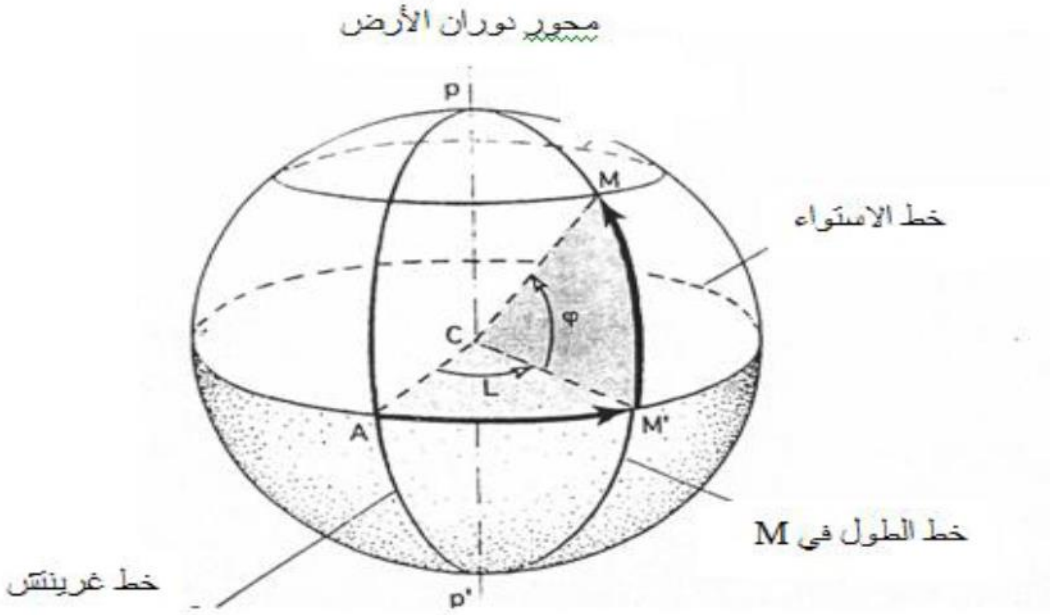
$$\phi \in [-90^0, +90^0] \qquad (10\text{-}1)$$

$\phi > 0$: شمال خط الاستواء $\phi < 0$:جنوب خط الاستواء

### I-6-7- زاوية خط الطول L :

هـي الزاويـة التـي يصـنعها خـط الطـول المـار بالمنطقـة مـع خـط الطـول المـار ببلـدة غـرينتش البريطانية - الذي نعتبره خط الصفر- وتقرأ الزاوية موجبة شرقا وسالبة غربا.

$$L \in [-180\ 0, +180\ 0] \qquad (11\text{-}1)$$




**الشكل(6.I )** : زوايا تحديد الموقع(زاوية خط العرض$\phi$ وزاوية خط طولL ) **[10].**

### I-8 - التوقيت الشمسي Tvs والمحلي TL:

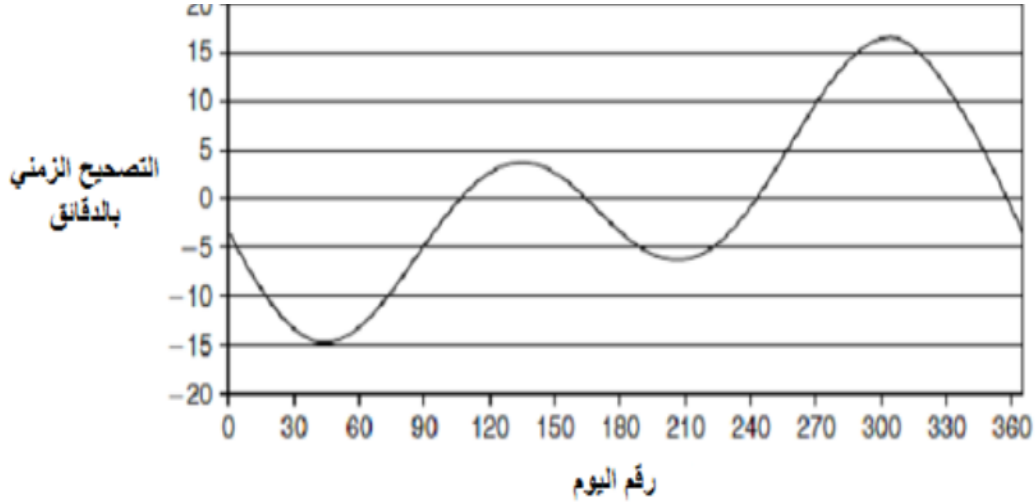
يختلف التوقيت المحلي لمنطقة عن التوقيت الشمسي ويتعلق هذا الاختلاف بثلاثة عوامل وهي:

- الفرق بين خطي الطول للمنطقة والخط المرجعي للتوقيت المحلي (خط غرينتش).

- التصحيح الزمني( المعادلة الزمنية )Et والمعبر عن الاطراب الناتج عن حركة الارض والدي يعطي العلاقة بالدقائق**[12].**

$$ET = 9.87 \sin\left[2 \cdot \frac{360}{365}(N-81)\right] - 7.53 \cos\left[\frac{360}{365}(N-81)\right] - 1.5 \sin\left[\frac{360}{365}(N-81)\right] \qquad (12\text{-}1)$$

التصحيح الناتج عن تغير التوقيت المحلي ( الصيفي ، الشتوي ) مقارنة بتوقيت غرينتش الذي قيمته في الجزائر C=-1، ويبين الشكل تغيرات التصحيح الزمني خلال ايام السنة




**(الشكل I.7):بيان تغيرات التصحيح الزمني خلال ايام السنة[12]**

وعليه تعطى العلاقة علاقة التوقيت الشمسيTvs :

$$Tvs = TL + Et + L/15 + C \qquad (13\text{-}1)$$

حيث Lزاوية خط الطول التي تقع عليه المنطقة وتكون موجبة إذا كانت المنطقة شرق خط غرينتش بينما تكون سالبة غرب خط غرينتش **[11].**

## I -9- تحديد توقيت الشروق والغروب:

عند الشروق والغروب تنعدم زاوية الارتفاع الشمسh (الشعاع الشمسي منطبق علي سطح الأرض).

$$\sin(h) = 0 \quad \Longrightarrow \quad h = 0$$

ومنه تتحصل على قيمة زاوية الساعة الشمسية(ws) للشروق او الغروب:

$$\cos w_s = \tan L \ \tan \delta_s \qquad (14\text{-}1)$$

ومنه يكون التوقيت الشمسي للشروق:

$$Ts_{coucher} = 12 + \frac{Ws}{15} \qquad (15\text{-}1)$$

والتوقيت الشمسي للغروب :

$$Ts_{coucher} = 12 + \frac{Ws}{15} \qquad (16\text{-}1)$$

وتكون مدة النهار لهذا اليوم **[11]:**

$$\Delta t = \text{Tscoucher} - \text{Tslever} \qquad (17\text{-}1)$$

## I -10- حساب شدة تدفق الاشعاع الشمسي المباشر والمنتشر:

التدفق المباشر :

تعطى عبارة الإشعاع المباشر الواصل إلى سطح الأرض من خلال صيغة kastem **[13]**

$$I_o s = 1353 * \exp\left[\frac{-m\,h * u}{m\,h + 9.4}\right] \qquad (18\text{-}1)$$

التدفق المنتشر:

لتحديد الإشعاع المنتشر الذي يصل سطح الأرض بفعل جزيئات غازات الغلاف الجوي وكذا العوالق الصلبة بالعلاقة التجريبية التالية [11]:

$$\text{Dos} = \left(\frac{1353}{25}\right) * \left(\sin(h) * \left(0.5 * \left(u - 0.5 - \left(\sin(h) * (0.5)\right)\right)\right)\right)$$

ومنه يكون الإشعاع الكلي الواصل لسطح الأرض هو مجموع الإشعاعيين المباشر والمنتشر

$$G_0^* = I_0^* + D_0^* \qquad (20\text{-}1)$$

## I -11- إستخدامات الطاقة الشمسية:

1- تسخين المياه:

يستخدم السخان الشمسي في تجميع الأشعة الشمسية الساقطة على المجمعات الشمسية وتحويلها إلى طاقة حرارية وذلك للاستفادة منها في تسخين المياه، حيث تخزين المياه في خزان حراري قد يكون من الزجاج أو الزجاج الليفي للاحتفاظ بحرارة الماء.

2- التدفئة:

هي ضخ الحرارة المكتسبة في المجمعات إلى داخل الحيز المادي، حيث يمكن تدفئة البنايات باستخدام الهواء أو الماء. فعند التدفئة بالهواء يتم تسخين الهواء في المجمعات الشمسية ثم يدفع إلى داخل البناية. أما بالنسبة للتدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل الماء فإنها تتضمن مبادلات حرارية لنقل الحرارة من الماء القادم من المجمع الشمسي إلى الهواء المدفوع إلى داخل الحيز.

التبريد الشمسي:

هو ضخ الحرارة من داخل حيز معين إلى الخارج وهي نقيض لعملية التدفئة، ومن أجل تحقيق هذا يجب استخدام أداة ميكانيكية تقوم بضخ الحرارة إلى الخارج. الأسلوب الشائع لهذا الضخ هو دفع الهواء البارد إلى داخل الحيز مما يؤدي إلى نقل الحرارة إلى الخارج مباشرة.

3- تجفيف المحاصيل:

يستخدم لتخليص المحاصيل من السوائل الموجودة فيها وذلك لمنعها من التلف وجعلها صالحة للتخزين لمدة أطول.

4- تحلية المياه:

إن أزمة المياه الناشئة في العالم تدفعنا للبحث عن طرق جديدة للحصول على مياه تتلاءم مع متطلبات الحياة، وذلك لزيادة عدد السكان وتوسع القدرات الإنتاجية في المجالات الصناعية والزراعية حيث تكون تحلية مياه البحر أنس الوسائل لتحقيق المتطلبات المتزايدة. إن أكثر الطرق شيوعا لتحلية المياه بالطاقة الشمسية هي طريقة المقطر الشمسي حيث يستخدم الطاقة الشمسية في تبخير الماء [14].

## الخاتمة:

الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض من شروق الشمس إلى غروبها يمكن مضاعفة شدته من عشرات إلى آلاف المرات بواسطة المركزات الشمسية ذات البؤرة الخطية أو نقطية [11]،الطاقة عامل مهم لتطوير الحياة البشرية وللحد من تأثير مصادرها التقليدية على البيئة، إنصب الإهتمام على البديل المتجدد ومن أمثلها الطاقة الشمسية حيث يقدر متوسط تدفقها في صحراء الجزائر ب: $2650kwh/m^2/years$ في 86% من اجمالي المساحة حيث تبلغ مدة التشميس 3500 h /years .وللمنطقة المدروسة في ولاية ورقلة والتي لها الموقع الممتاز الموافق لخط طول $\lambda= 5.24°$ وخط عرض $\phi=31.57°$ يجعل منها مكان لاستغلال وتثمين هذه الطاقة الهائلة . يمكن استغلال الطاقة الشمسية في عدة مجالات : كهربائية باستخدام الخلايا الشمسية وحرارية بتوجيهها وتركيزها وهذا في المركزات الشمسية وهي :عدسة فرينل ومركز القطع المكافئ كما سنراه في الفصل التالي[5].

# الفصل الثاني:

# دراسة المركزات الشمسية

## مقدمة :

يتم تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية او حرارية باستخدام اليتي التحويل الكهروضوئي والتحويل الحراري باستخدام وسائل متطورة حيث تستخدم الخلايا (الالواح ) الشمسية لتحويل الاشعاع الشمسي الى طاقة كهربائية كما يستعمل أيضا بما يسمى بالمركزات الشمسية لتجميع وتركيزها ثم استغلالها اما بتحويلها الى حرارة او استعمالها بشكل اخر لاستغلالها في مجالات مختلفة كالإضاءة .....الخ[15]. وفكرة استخدام الطاقة الشمسية في التسخين أوفي تحريك الآلات ليست جديدة على الإطلاق ويحدثنا التاريخ بأن أرخميدس الذي عاش في القرن الثالث قبل الميلاد قد استخدم الأشعة الشمسية في إحراق بعض سفن العدو في احدى معارك ألحربية ومن المعتقد أنه استخدم بعض المرايا لتركيز أشعة الشمس على صواري هذه السفن[6].

وتعتبر مشاريع الطاقة الشمسية من المشاريع الجاذبة للاستثمار ذات العائد الاقتصادي العالي خصوصا تكنولوجيا المركزات الشمسية، كما أن استخدام هذه الطاقة سيحل العديد من مشاكل منها :

**1-** إيجاد عائد اقتصادي من استمرارية التيار الكهربائي وتشجيع المستثمرين في الصناعات المختلفة.

**2-** الحفاظ على البيئة من الغازات الضارة الناتجة عن حرق الوقود الأحفوري.

**3-** توفير الطاقة الكهربائية والمياه اللازمة للقرى والمناطق البعيدة التي تحتاج إلى أموال طائلة لمد شبكات نقل الكهرباء للوصول إليها ولتكنولوجيا بسيطة وغير معقدة .

**4-** المساهمة في حل مشكلة المياه في القرى والمناطق النائية والمجتمعات الصغيرة مما يقلل الهجرة الى المدن المكتظة بالسكان و بالتالي يقلل الازدحام والكثافة السكانية والمساعدة على إنشاء مجتمعات عمرانية جديدة .

**5-** توفير البترول والغاز الطبيعي وتصدير الفائض منه لدعم الاقتصاد القومي [16].

## II-1- تعريف المركزات الشمسية:

مركزات الطاقة الشمسية هي أجهزة تعمل على تجميع وتركيز الاشعاع الشمسي لاستعماله في مجالات مختلفة ، فهي الاداة التي تجمع الاشعة الواردة لتركزها على مستقبل وتحويلها الى طاقة حرارية او كهربائية يمكن استخدامها لأغراض متعددة.

## II-2- مكونات المركزات الشمسية:

العديد من أنواع المركزات يمكنها تركيز تدفق شعاع الشمسي على سطح المستقبل يمكن أن تكون المجمعات عاكسة أو كاسرة، ويمكن أن تكون اسطوانية الشكل لتركز الاشعة الشمسية على خط أو ذات محور.

II-2- 1- العاكسReflector

يكون ذو سطح منحنى بهدف تركيز الأشعة كما يطلي بمادة لامعة كالألمنيوم والفضة لعكس أشعة الشمس نحو المستقبل ولا يشترط أن يكون سطح العاكس قطعة واحدة، فقد يتكون من عدة شرائح مستوية إلي جانب فبعضها البعض، كما هو الحال في المركز المخروطي ( Conical Concentrator) و قطع مستوية من المرايا يميل كل منها بزاوية معينة كما في (Frensel Mirrors ) ليعكس الأشعة الساقطة عليه نحو مستقبل مركزي يمكنه إنتاج بخار يكفي لتشغيل توربينات بخارية.

II-2-2- المستقبل Receiver:

يعمل المستقبل على استقبال الأشعة القادمة من العاكس وامتصاصها وتحويلها إلي حرارة تنقل إلى المائع الذي يمر داخله، وعادة ما تكون مساحة المستقبل أقل من مساحة العاكس.

II-2-3- فتحة العاكسAperture :

هي الفتحة التي تدخل منها أشعة الشمس إلي السطح العاكس

## II-3- نسبة التركيزRatio Concentration :

تعرف بأنها النسبة بين مساحة فتحة السطح العاكس وسطح المستقبل، وقد تزيد هذه النسبة عن الواحد الصحيح في أجهزة التسخين الشمسي للمياه والمقطرات الشمسية Solar Stills والبرك الشمسية Solar Ponds [17].

$$Cr = \frac{Ac}{Ar} \qquad (1-2)$$

وهذا يعني انه كلما كانت مساحة السطح الماص صغيرة كان معامل التركيز الشمسي كبيرا[17].

II-3-1- المركزات الخطية :

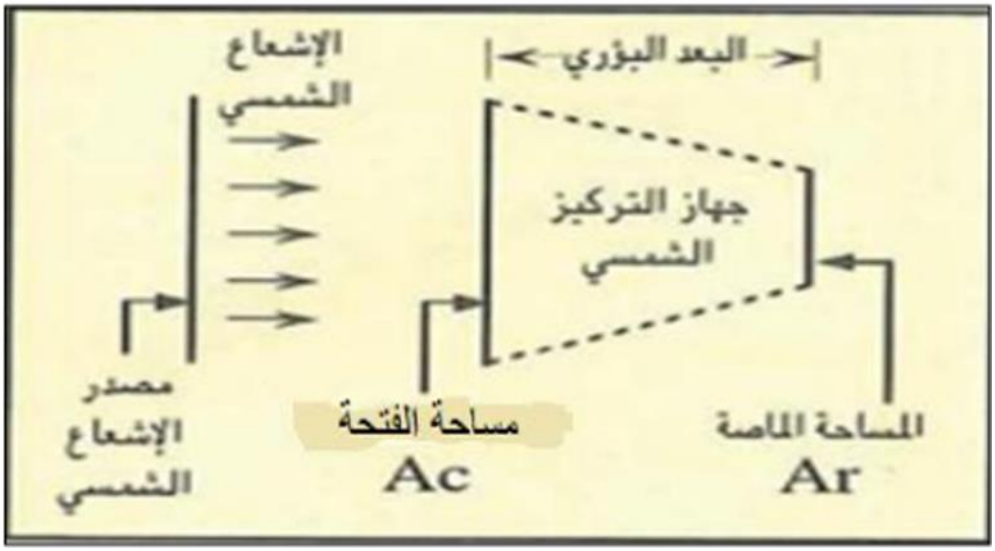
يتم تركيز الاشعاع الشمسي المباشر خطيا بواسطة عاكس على سطح أنبوب ماص مثبت في المحور البؤري ،ويتم التتبع الشمسي وفق محور دوران واحد للرفع من المردود و من أهمها الاسطواني والقطع مكافئ (PTC)، وعاكس فرينال الخط( LFR) حيث تبلغ نسبة تركيز هذه الانظمة (30-80) وتصل درجة حرارة المائع 400 °C [12] .

II-3-2- المركزات النقطية:

يتم تركيز الاشعاع الشمسي المباشر الساقط على سطح عاكس في نقطة البؤرة ،من خلال نظام الصحن القطع المكافئ(DP)، ليتم التتبع الشمسي وفق محوري دوران للمحافظة على تركيز الاشعاع في نقطة البؤرة ليتم توليد الكهرباء من خلال محرك ستيرلينغ او بواسطة الغازات الموضوعة في البؤرة في أنظمة برج القوى كما تستخدم الزيوت الاصطناعية والاملاح المنصهرة والبخار او الهواء المضغوط .[11]

**II-3-3- نظم التتبع Systems Tracking :**

تطورت أنظمة التتبع من النظم اليدوية إلي أخرى آلية إما تعمل اعتمادا علي توجيه حساس Sensor نحو قرص الشمس يرسل إشارة إلي وحدة التحكم لتوجيه فتحة العاكس دائما باتجاه الشمس أو اعتمادا علي الساعة بمعني تغيير زاوية توجيه فتحة العاكس كل عدة دقائق بقيمة محددة. وهناك نوعين من التتبع ،تتبع بمحوري دوران (تتبع ارتفاع وسمت الشمس ) او بمحور دوران واحد (تتبع ارتفاع او السمت ).




**(الشكل II-1) :المبدأ الرئيسي للتركيز الشمسي[17]**

## II-4-المردود :

مردود المجمع الشمسي الكلي هو النسبة بين الطاقة الحرارية التي امتصها المائع وسيط التسخين خلال زمن محدد وطاقة الاشعاع الشمسي التي استقبلها سطح المجمع الشمسي خلال نفس الزمن وذلك تحت شروط الاشعاع الشمسي الوارد على سطح المجمع .

- ويتميز المركز الشمسي بمردود للعمليات الضوئية (مردود ضوئي) ومردود للعمليات الحرارية (مردود حراري) [18].

**II-4**-1- المردود الضوئي:

هو نسبة شدة الاشعاع الواصل الى سطح الانبوب الماص (فتحة الخروج) الى شدة الاشعاع الشمسي الوارد على سطح الاستقبال (فتحة الدخول) ويتعلق بمعامل نفاذ τ كل من الغطاء الزجاجي والضرف الزجاجي ومعامل انعكاس ρ السطح العاكس .

ويبرز هذا المردود العيوب الضوئية للمواد المكونة للمركز الشمسي وكذا الضياع الضوئي الناجم عن عدم تركيز الاشعاع الشمسي المنتشر وتعطى عبارته: [11]

$$\eta_{optique} = \left[\frac{I_b + \frac{1}{Cr} I_d}{I_b + I_d}\right] . \tau_b . \tau_e . \rho_m^n \qquad (2\text{-}2)$$

حيث Cr: يعبر عن التركيز الهندسي

n: متوسط عدد الانعكاسات

وتعطى العلاقة التجريبية لn بالعلاقة التالية :

$$n = 1 + 0.07\ Cr \qquad (3\text{-}2)$$

II-4-2- المردود الحراري:

نسبة شدة الاشعاع الشمسي الواصل الى السطح الماص $p_r$ وشدة التدفق الحراري المفيد $p_u$ (الذي اكتسبه المائع) [11].

$$\eta_{thrmique} = \frac{P_u}{P_r} \qquad (4\text{-}2)$$

$$p_u = m C_f ( T_{fs} - T_{fe}) \qquad (5\text{-}2)$$

حيث :

$$P_r = P_u + P_p \qquad (6\text{-}2)$$

$P_p$: تمثل تدفق الضياع الحراري

II-4-3- درجة حرارة الركود:

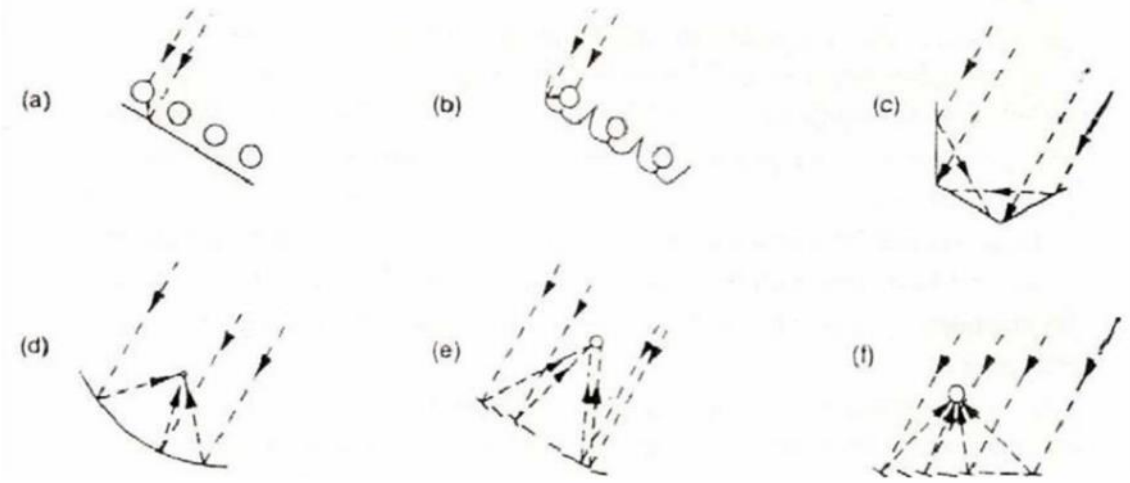
حالة المجمع الشمسي دون سريان المائع وسيط التسخين ونسمي درجة حرارة الركود (من غير سريان) وفي هذه الحالة يكون تدفق الاشعاع الشمسي الوارد على سطح المجمع يساوي تدفق الضياع الحراري )[11].

## II-5- آلية عمل المركزات الشمسية:

يتعمد مبدا التشغيل المركزات الشمسية على الخطوات التقنية التالية.

1- تركيز الاشعاع الشمسي على سطح المستقبل (الماص) المثبت في البؤرة .
2- امتصاص الاشعاع الشمسي من طرف المستقبل وتحويل الطاقة الى حرارة.
3- نقل هذه الحرارة الى المائع وسيط التسخين ثم تخزينها عند الحاجة[18].

ويوضح الشكل الاتي بعض اشكال والمقاطع الهندسية المعروفة في طرق تركيز الاشعاع الشمسي، و كذلك مسار اشعة الشمسية الواردة و المنعكسة.



**(الشكلII-2): بعض اشكال والمقاطع الهندسية المعروفة في طرق تركيز الاشعاع الشمسي، و كذلك مسار اشعة الشمسية الواردة و المنعكسة.**

## II-6- أنواع المركزات الشمسية :

II-6-1- مركزات الاسطواني القطع المكافئ:

تعتمد محطات توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية الحرارية علي تركيز الطاقة الحرارية لأشعة الشمس المباشرة علي أنبوب يمر به سائل (ماء، محلول ملحي، زيت، .. إلخ) المستقبل فترتفع درجة حرارة السائل بفعل حرارة الشمس من 70 إلي 100 مرة لتتراوح درجة الحرارة بين 550 – 350 فيتحول إلى بخار يكفي لإدارة توربينات بخارية [1].

_وبمعنى اخر:

وتعتمد هذه الطريقة على تركيز الطاقة الشمسية الساقطة على المرايا المقعرة على شكل قطع ناقصة تتابع أشعة سقوط الشمس وبالتالي يمكن التحكم في زاوية انعكاس هذه الأشعة عن طريق ما يسمى بالهلوسات لتتركز في بؤرة هذه المرايا التي تعتبر هي الغلاية المستقبلة لأشعة الشمس طيلة سطوع الشمس لترفع درجة حرارة المياه لتصل الى الغليان وتصبح بخارا يدير التوربينة البخارية التي تدفع المولد ليولد الكهرباء كما انه يمكن استخدام بعضا من البخار في التخزين عن طريق الملح المنصهر أو في تحلية المياه [19].

**(الشكلII-3) : صورة لمحطة تعتمد على تقنية اسطواني القطع المكافئ [1].**

❖ **تطبيقاته:**

- تستخدم محطات (PTC) لتوليد الكهرباء متصلة بالشبكة عند حرارة متوسطة الى مرتفعة .

- تعتبر اكبر المحطات قدرة حتى الان (80ميجا وات كهرباء).

- اجمالي ما تم بناءه من محطات (PTC)تعدى 500ميجا وات .واجمالي ما تحت الانشاء او مقترح اكثر من 10جيجا وات .

❖ **مزاياه:**

- توجد محطات تجارية قائمة بالفعل .اكثر من مليار كيلو وات ساعة من خبرة التشغيل ،احتمالات التشغيل عند500 درجة مؤية (400 درجة مؤية اثبتت تجاريا ).
- تم اثبات متوسط كفاءة سنوية 14بالمئة (كهرباء منتجة نسبة الاشعاع الشمسي الساقط على المحطة) تجاريا.
- قيمة الاستشارية وتكاليف التشغيل على خبرة تجارية فعلية .
- يمكن بناءها بصورة نمطية .
- استغلال جيد لمساحة ارض الموقع .
- مثبتة القدرة على التهجين (استخدام اكثر من تطبيق في ان واحد) .
- يمكن اضافة تخزن حراري .

❖ **عيوبه :**

- الاعتماد على الزيت كوسيط حراري حيث تكون درجة حرارة التشغيل في حدود400°C مما يؤدي الى انتاج بخار متوسط الجودة .

II-6-2- مركزات الأطباق Dish Concentrators:

بتركيب طبق ذو سطح استقبال عاكس لأشعة الشمس علي وحدة لتتبع الإشعاع الشمسي يمكن توجيه الإشعاع الشمسي إلى مستقبل يتحرك مع حركة الطبق، وتصل درجات الحرارة في هذا النوع إلى نحو 750درجة مئوية وتسمي أيضا مركزات الأطباق المنحنية Compound Curvature Concentrators حيث أن سطحها العاكس ينحني في مستويين، كما يطلق عليها Dish Concentrators لأنها تشبه الطبق

**(الشكلII-4 ): صورة لمحطة شمسية تعتمد على تقنية الاطباق [1]**

❖ **تطبيقاته :**

- نظام متكامل ومحطات صغيرة غير متصلة بالشبكة او مجمعة في محطات اكبر متصلة بالشبكة .
- اكبر المحطات قدرة حتى الان 100ميجا وات كهرباء .
- 100ميجا واط مقترحة و500ميجا واط في استراليا والولايات المتحدة .

❖ **مزاياه:**

- متوسط كفاءة مستوى مرتفع يتعدى 30بالمئة .
- يمكن بنائها بصورة نمطية .
- امكانية مثلى لادماج التخزين الحراري في المحطات الكبيرة .
- خبرة عملية في تشغيل المحطات الاولى .
- سهلة التصليح والانتاج بطريقة نمطية .
- لا تحتاج دورتها الى مياه تبريد.

❖ **عيوبه :**

- لم تقم محطات تجارية بقدرات كبيرة بعد .
- لم نثبت توقعات انخفاض التكلفة بزيادة الانتاج بعد.
- صعوبة التوصيل بالشبكة .

- مازالت امكانية اضافة وقود اخر للتهجين قيد البحث والتطوير.

II-6-3- عواكس فرينل الخطية Linear Frensel Reflector :

تعتمد هذه التقنية على ا ستخدام مرايا عاكسة مسطحة أو بها انحناء وتركيز أشعة الشمس على مستقبل أو أكثر يوضع أعلى المرايا واستخدام البخار الناتج في توليد الطاقة الكهربائية من توربينات بخارية [20,21].

**(الشكلII– 5): صورة لعاكس فرينيل خطي[20] [21].**

❖ **تطبيقاته:**

- محطات متصلة بالشبكة ،او توليد بخار كي يستخدم في محطات الطاقة التقليدية.
- اكبر المحطات قدرة حتى الان 5جيجا وات في الولايات المتحدة و177ميجا وات تحت الانشاء .

❖ **المزايا:**

- سريعة التجهيز .
- يستخدم مرايا مسطحة متوفرة بالأسواق تشكل في الموقع مما يقلل من تكاليف التصنيع .
- امكانية التهجين .
- استغلال ممتاز لمساحة الارض في وقت الظهيرة.

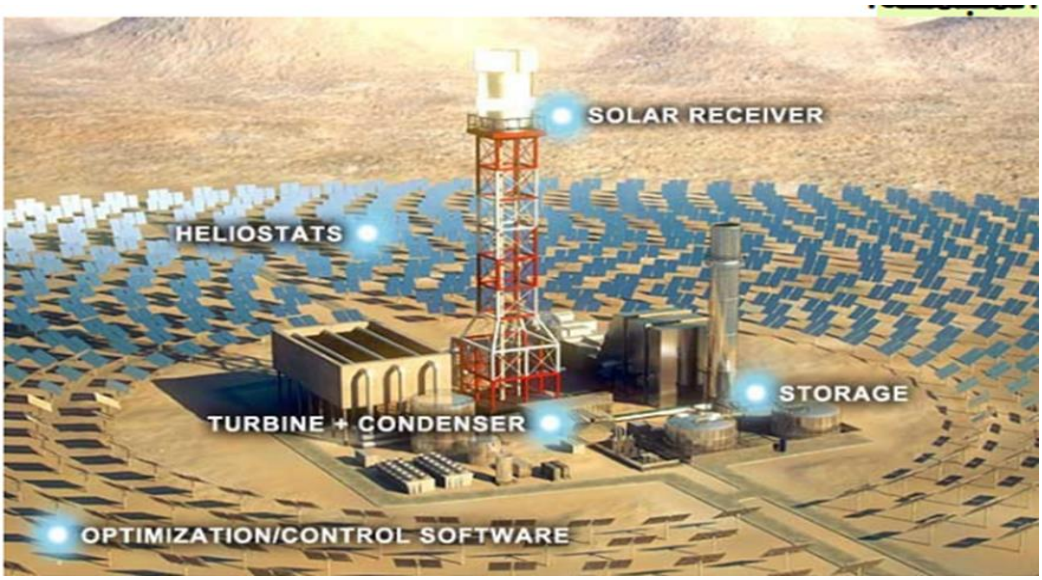
❖ **عيوبه :**

- دخلت مؤخرا للأسواق بمحطات صغيرة حتى الان.

II-6-4- مركزات برج القوي Power Tower Concentrators :

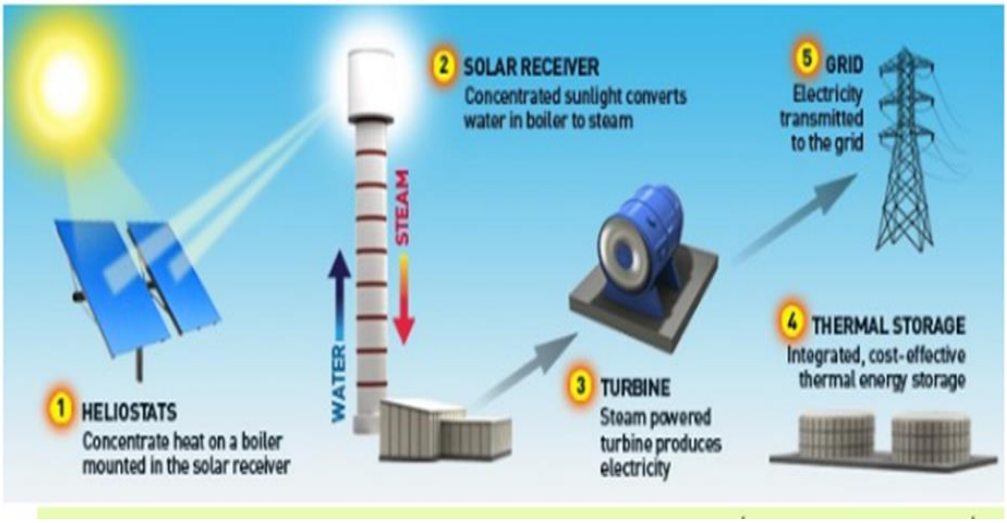
هذا النوع من محطات الطاقة الشمسية الحرارية يتميز من ناحية التصميم بالبرج المرتفع الذي يكون محاط من جميع الاتجاهات بمرايا عاكسة للضوء. كما انه يتميز من ناحية التشغيل ان التحكم به يكون عن طريق برنامج حاسوبي يجعل كل من هذه المرايا يتتبع الشمس ويعكسها علي قمة هذا البرج وعمل المرايا تكون كل منها منفصل في حركته عن الأخرى اعتمادا علي زاوية سقوط اشعة الشمس عليها وكذلك بعدها عن البرج [22].

تعتمد هذه التقنية علي استخدام عواكس مستقلة مركبة علي نظام تتبع لحركة الشمس مع توجيه الإشعاع الشمسي نحو مستقبل مركزي مثبت فوق برج يعمل كغلاية لتوليد البخار وتحميصه ثم دفعه إلى توربينات بخارية ، وبتركيز أشعة الشمس من 800 إلي 1000 مرة يمكن الوصول إلي درجات حرارة مرتفعة تصل إلي نحو1000درجة مئوية بحسب السائل المستخدم.




**(الشكلII– 6): صورة لمحطة شمسية تعتمد على تقنية البرج القوي[22].**

تبدأ العملية حينما تصطدم أشعة الشمس بآلاف المرايا قابلة للحركة بشكل اتوماتيكي لتتبع اشعة الشمس وتقوم بتسليطها علي خزان مياه والموضح في الصورة بأسم Solar Receiver ويمكن ايضا ان نسميهBoiler . هذا الخزان يكون مثبت علي قمة برج يمكن ان يصل ارتفاعه الي 150 متر، فيتحول الماء الي بخار محمص بضغط مرتفع وحرارة عالية. ويقوم البخار الناتج بإدارة توربينات تقوم بدورها بتحويل طاقة البخار الي كهرباء أو حتي استغلال البخار الناتج بشكل مباشر في أغراض صناعية.




(الشكل II- 7):صورة لآلية عمل مركزات البرج القوي **[22].**

❖ **تطبيقاته:**

ـ محطات متصلة بالشبكة وعمليات صناعية عند حرارة مرتفعة .

-اكبر المحطات قدرة حتى الان (20ميجا وات كهرباء) محطات تحت الانشاء بقدرة كلية 50ميجا وات و100ميجا وات على الاقل تحت التخطيط .

❖ **مزاياه:**

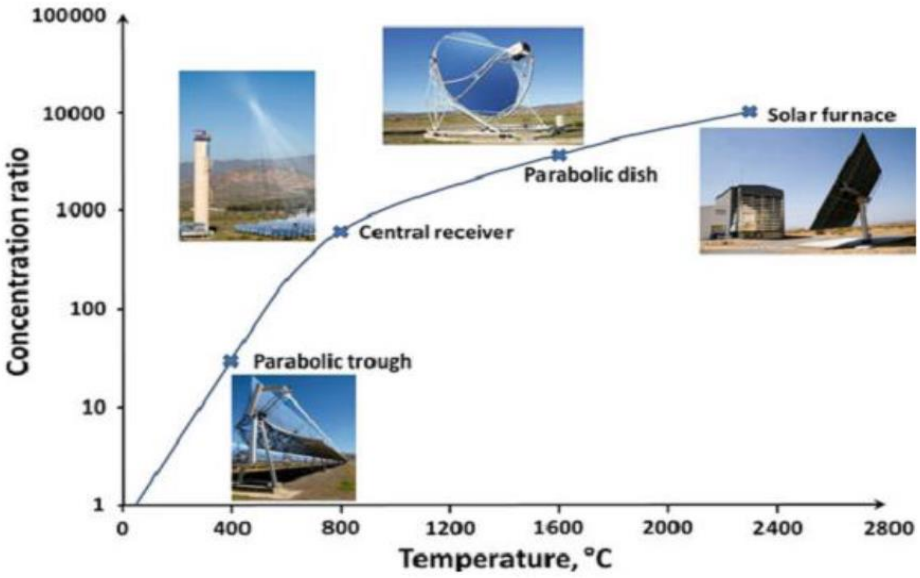
- تم اثبات متوسط كفاءة عند حرارة تشغيل 565درجة مؤية مع امكانية تشغيل عند درجات حرارة اعلى من 1.000درجة مؤية على مدى المتوسط .
- امكانية التهجين .
- امكانية التخزين عند درجات حرارة عالية .
- اكثر ملائمة لاستخدام التبريد لاستخدام التبريد الجاف من القطع المكافئ او فرينيل.
- اكثر ملائمة للمواقع غير مستوية .

❖ **عيوبه :**

مازالت توقعات الاداء السنوي وتكاليف البناء والتشغيل بحاجة الى قدرات اكبر كي تقيم بدقة.

## II-7- المقارنة بين مختلف أنظمة التركيز الشمسي :

يوضح المنحنى حدود التركيز الهندسي ودرجات حرارة التشغيل لمختلف أنظمة التركيز الهندسي ويعتبر مجال اشتغال مركزات القطع الناقص هو الانسب لتوليد البخار بينما الأنظمة الأخرى تكون مناسبة في صهر المعادن والاملاح والتخزين الحراري.




الشكل (II-8) :التركيز الهندسي ودرجة حرارة اشتعال مختلف المركزات الشمسية**[23].**

## الخاتمة:

تعمل المركزات الشمسية على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية تستخدم في إدارة توربينات بخارية لإنتاج الكهرباء، وهو ما يعنى إمكانية تكامل المركزات الشمسية مع محطات التوليد التقليدية للاستفادة بربط هذه النظم بالشبكة الكهربائية على نحو آخر يمكن استخدام الطاقة الشمسية في إنتاج الطاقة الكهربائية وتحلية المياه في نفس الوقت، وذلك بتركيز الإشعاع الشمسي على أنبوب ينتج منه بخار يكفى لإدارة توربينات بخارية، والاستفادة من فائض الطاقة في تحلية مياه البحر، ويتوقع أن تلقى هذه التقنية رواجا في المستقبل القريب وخاصة في الدول التي تعاني من شح المياه العذبة.

ومع تمتع الدول العربية بتوافر معدلات مرتفعة من الإشعاع الشمسي الكلى تتراوح بين 4إلى8 ك.و.س./م2/يوم كما تنحصر كثافة الإشعاع الشمسي المباشر بين 1700 إلى 2800 ك.و.س./م2/السنة مع غطاء سحب منخفض يتواجد بنسبة 10%إلى 20 %على مدار السنة بما يسمح بالاستخدام بشكل فعال

مع التقنيات الشمسية المتوافرة حاليا لنلقي الضوء علي هذه التكنولوجيا ومدى إمكانية الاستفادة منها مستقبليا.

تهدف أجهزة تركيز الإشعاع الشمسي إلي زيادة كثافة الإشعاع على السطح الماص الى معدل أعلى من المعدل الطبيعي، وتتم هذه العملية بواسطة أسطح عاكسة على السطح الماص بهدف الحصول على درجات حرارة مرتفعة، وبغرض التبسيط سنعرض لبعض المصطلحات المستخدمة في هذا المجال[1].

.

# الفصل الثالث:

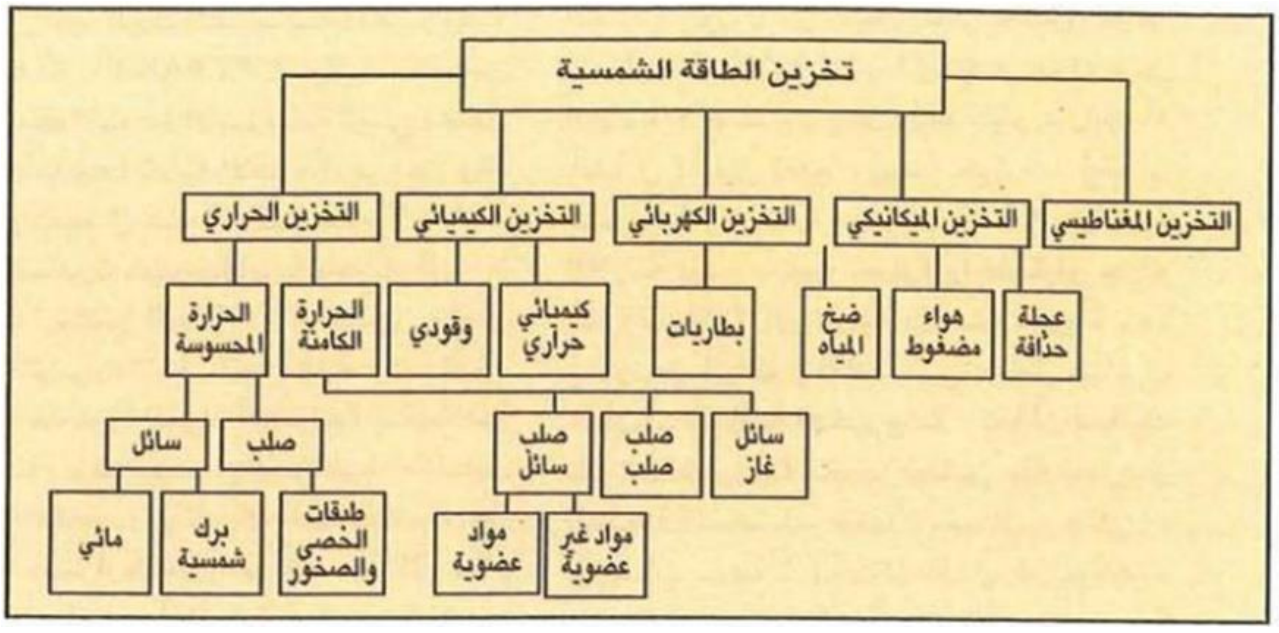
# التخزين الحراري بواسطة مواد متغيرة الطور

## المقدمة :

تخزين الطاقة الشمسية هو ضرورة ملحة لإعادة استغلالها بعد غياب الشمس بسبب الغروب او السحب والغيوم ،ويتم استغلالها في توليد الكهرباء وفق آليتي التحويل اما الكهروضوئي عن طريق الخلايا الشمسية أو الحراري ، وذلك بواسطة محطات مركِّزة لأشعة الشمس وكذلك أنظمة تخزين مستقلة في الشبكة الكهربائية .وتتصف محطات الطاقة الشمسية المركزة بارتفاع تكلفة إنتاج الطاقة الكهربائية مقارن بالخلايا الكهروضوئية ومع قدرتها العالمية التي تزيد على 200 جيجا واط ، تدخل تلك الطاقة مرحلة نضجها التكنولوجي. إلا أن عليها أن تبدأ في تحمل أعبائها الذاتية في شبكة الكهرباء بدلًا من الاعتماد على مصادر الطاقة القديمة لسد النقص في الأيام الغائمة، والدخول إلى حيز العمل فور غروب الشمس وفقًا لقول توماس باور، رئيس فريق تكنولوجيا العمليات الحرارية في *DLR*، علاوة على ضجيج الضواغط في حيز العمل. إن من شأن نظام التخزين الحراري المقترن بمحطة الطاقة الشمسية أن يسهل من المنافسة المباشرة مع مولدات الكهرباء التي تعمل بالفحم والغاز الطبيعي. كما أن من شأنه أيضًا أن يخفف من وطأة الانقطاع على مرافق التوليد التي عليها أن تزيد من إنتاجها في الأيام الغائمة، وأن تبيع الكهرباء أحيانًا بأسعار سالبة في الأيام المشمسة والعاصفة.

## III-1- طرق تخزين الطاقة الشمسية :

يتم تخزين الطاقة الشمسية وفق طرق واليات مختلفة نختار الطريقة حسب النمط المطلوب لاسترجاعها وتكلفتها المادية ومردود استرجاعها ومدة تخزينها.



**(الشكل III–1):الطرق المختلفة لتخزين الطاقة الشمسية [24].**

## III-2-فوائد التخزين الحراري:

ان تخزين الطاقة على شكلها الحراري هو الأداة التي يمكن ان تشارك في القدرة التنافسية للكثير من المجالات والتقنيات ، كما يمكن إحصاء بعض إيجابيات تخزين الطاقة الحرارية في النقاط التالية :

1 - عندما يكون فائض الإنتاج قابل للتخزين فان ذروة الاستهلاك تكون مضمونة لتفريغ الطاقة المخزنة .

2- ادماج الطاقة المتجددة يكون سهل خاصة في حالة الحرارة الشمسية التي تصادف الاختلاف الليل والنهار والاختلاف بين الفصول حيث تسمح أنظمة التخزين بتنظيمها وتقليل الاختلاف .

3- تثمين الطاقة الضائعة وهي الطاقة غير المستعملة اثناء الاجراء او بعد الانتهاء منه لكون الحرارة المفقودة خلال مدة العملية تخزن وتستخدم لاحقا لغيرها من الاحتياجات مثل: بعض العمليات الصناعية كحرق الفضلات المنزلية وتبريد مركز المعطيات .

4- أنظمة تخزين الطاقة تسمح بالتقليل من مشكل عدم انسجام وتوفر الطاقة في الوقت المناسب لاستعمالها وطلبها .

5- ضمان القدرة على توفير الطاقة في حالات الاستهلاك الأقصى وفي حالة الصيانة .

6- المساعدة على معالجة ازدحام شبكة الحرارة فهذه الأخيرة وجب تطويرها بصفة مستمرة لان بعض القنوات قد تصبح غير كافية لمرور الطاقة فالتخزين الحراري يسمح بالتخلص من هذا الاحتقان

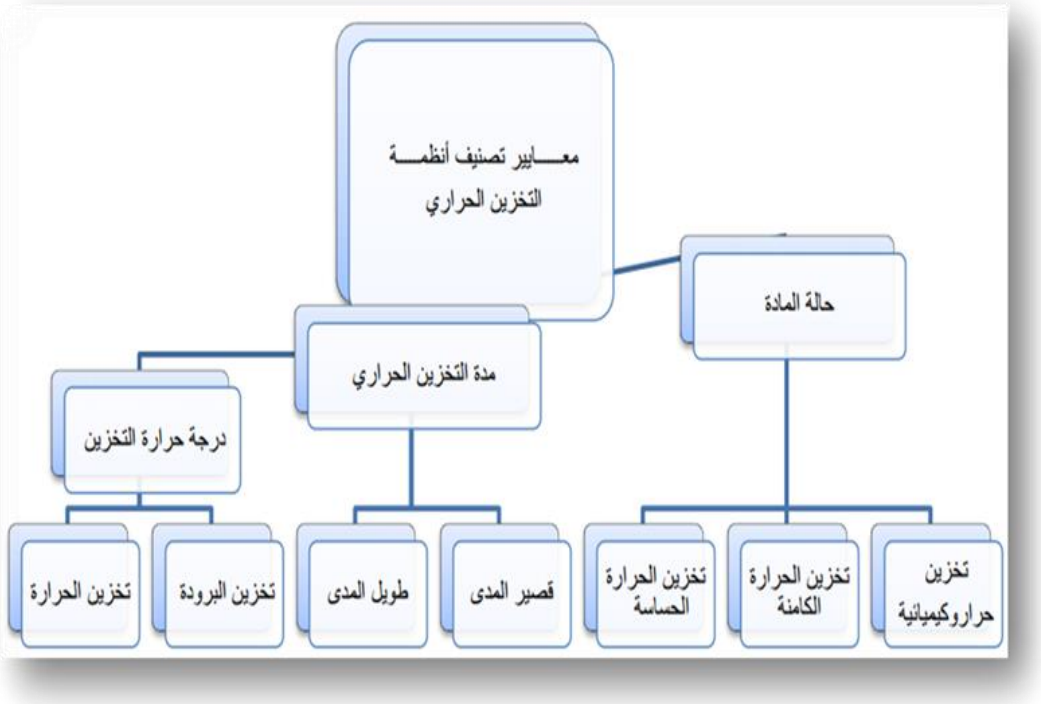
7- يمكن التزاوج بين تخزين الطاقة الحرارية ومراكز توليد الطاقة لاستغلال الطاقة المحولة نهارا بتخزينها ومن ثم تفريغها ليلا (تخزين يومي) وبالمثل تستغل الطاقة المحولة صيفا لتخزن وتفرغ شتاءا (تخزين موسمي).

8- ربح الطاقة باسترجاع وتثمين الطاقة الضائعة وهذا بتحسين المردود .

9- إمكانية اختيار مصدر الطاقة المراد استعمالها حسب سعرها [25].

## III-3- معايير تصنيف أنظمة التخزين الحراري:

الحاجة وترتبط بمجموعة من المواصفات والقيود التنظيمية والاقتصادية والبيئية وكدا عامل الزمن وعدة عوامل ان كمية الطاقة المخزنة والمستعادة ترتبط بالسعة الحرارية فهي النقطة الرئيسة في تصميم نظام حراري لكن اختيار تكنولوجيا التخزين امر بالغ الأهمية يقوم على عدة معايير أخرى تعتمد على أخرى يمكن تلخيصها في ما يلي:



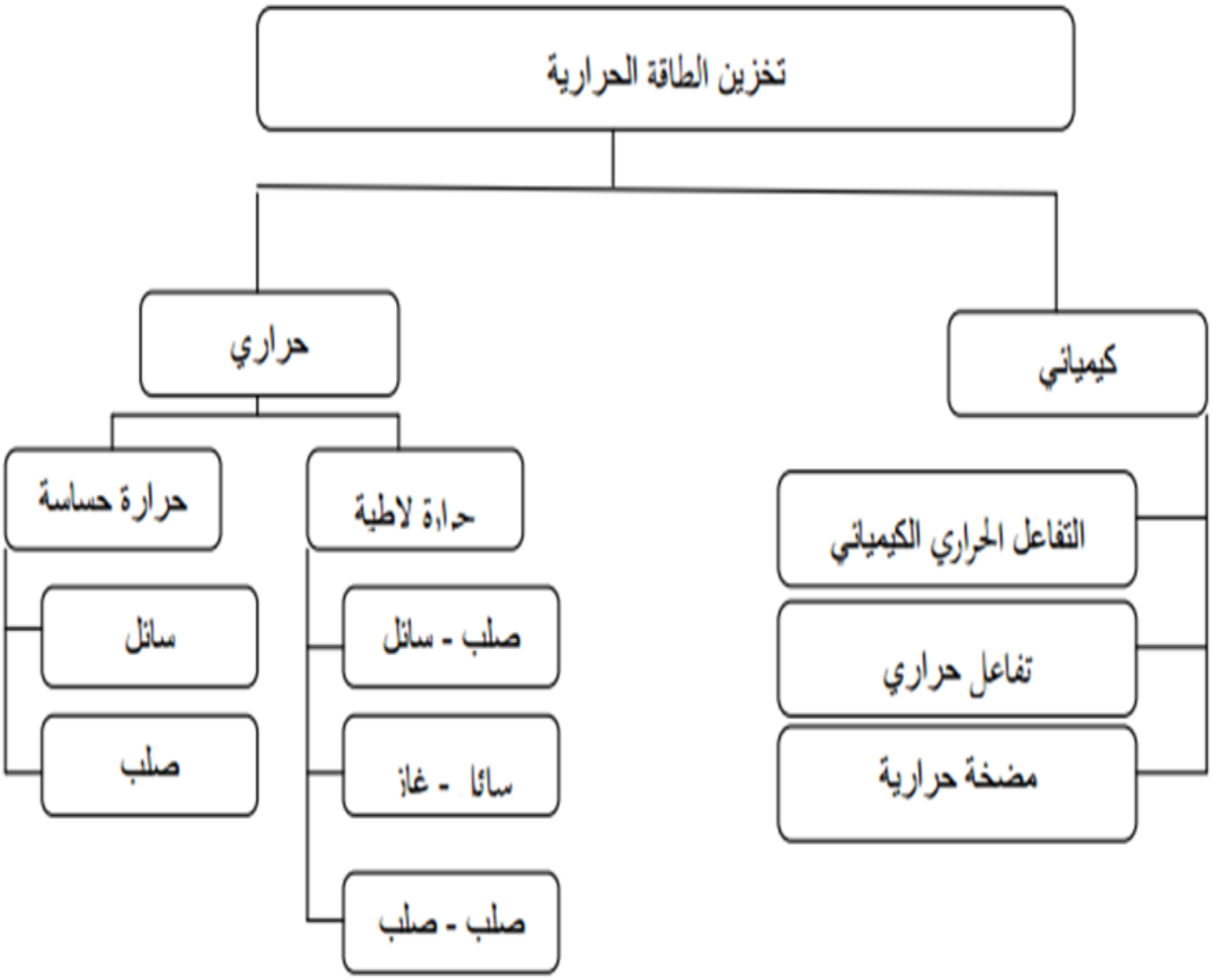

**(الشكل III–2):معايير تصنيف انظمة التخزين الحراري[26].**

## III-4- خصائص التخزين الحراري:

وتشمل المعايير التالية:
معايير ترموديناميكية: (درجة حرارة الانصهار، السعة الحرارية، التوصيلة الحرارية).
معايير فيزيائية وكيميائية: (الاستقرار الكيميائي، الحجم المستنفذ، عدم حدوث التحلل والتآكل).
معيار بيئي: (درجة التلوث، وجود او عدم وجود تسمم).
المعيار الاقتصادي: (تكلفة التصميم، التشغيل، الصيانة وإعادة التدوير)، والتطور التكنولوجي).

## III-5- أنظمة التخزين الحراري:

نحاول من خلال هذا الفصل التعريف بأنظمة تخزين الطاقة الحرارية حيث ان الطاقة الحرارية هي مجموع الطاقة الكامنة والحركية للذرات والجزيئات التي تشكل المادة على المستوى المجهري ، فبعد هذه الاهتزازات الذرية والجزيئية تتكون الطاقة الحرارية في المواد، وهكذا فان الطاقة الحرارية يمكن تخزينها على انها تتغير في الطاقة الداخلية للمادة على شكل حرارة محسوسة او حرارة كامنة او حراروكيميائية او مزيج من هذه الأنظمة.




**(الشكل III–3):مخطط يوضح تقنيات تخزين الطاقة الحرارية[25].**

III-5-1-الحرارة المحسوسة:

تخزين الحرارة المحسوسة هو تقنية التخزين الأكثر نضجا حتى الأن، هذا النوع من التخزين يستخدم صناعيا في العديد من محطات الطاقة الشمسية (برج الطاقة الشمسية) يعتمد مبدأ تخزين الحرارة المحسوسة المتراكمة عن طريق تغير في درجة حرارة الوسط دون تغيير في البنية الفيزيائية او الكيميائية كالماء والصخور والحصى والطوب الأحمر وبعض الزيوت والاملاح والمواد غير العضوية وغيرها وفي حالة المواد الصلبة المسامية فان الحرارة تخزن عن طريق تدفق الغاز او السائل عبر مساماتها و تجاويفها ويرتبط اختيار المادة عند تخزين الحرارة المحسوسة بنوع التطبيق ودرجة الحرارة المطلوبة في هذا النظام

حيث كمية الطاقة المخزنة في هذه الحالة تعطى بالعلاقة التالية:

$$Q = \int_{T2}^{T1} m\, Cp\, dT \qquad (1-3)$$

**Q:** كمية الحرارة المخزنة.

m : كتلة مادة التخزين.

**Cp:** الحرارة النوعية الخاصة بمادة التخزين.

dT:التغير في درجة الحرارة اثناء عملية التخزين.

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

$$\boldsymbol{Q = \int_{T2}^{T1} m\, Cp\, (T2 - T1)} \qquad (2-3)$$

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

- إذا كان:$T_1$اقل من$T_2$في هذه الحالة نتكلم عن التخزين الساخن.

- اذا كان:$T_1$اكبر من$T_2$في هذه الحالة نتكلم عن التخزين البارد [27].

### *III-5-1-1* التخزين بالمواد الصلبة:

يعد استخدام الصخور والحصى من اهم مبادئ التخزين بالمواد الصلبة، وفي هده الطريقة يتم وضعه متراصة في حيز مغلق ومعزول ،وهي مناسبة جذا للاستخدام في المباني او المرافق العامة ،كما تجنبنا مشاكل اخرى تسببها بعض السوائل مثل: تآكل والاستقرار والامن، يوجد تنوع كبير في المواد الصلبة المستعملة فنجد مثلا: مادة حديد الزهر (la fonce) هي المادة الاكثر ملائمة نظرا لكثافة تخزينها التي تتغدى الماء .لكن تبقى مكلفة مقارنة بالمواد الاخرى مثل: الخرسانة –الطوب –الحجر ، وهدا التخزين يستعل عند درجة حرارة أكبر ن C100° بالتعاون مع تدفئة الهواء بالطاقة الشمسية علما ان الحصى يمكن ان يستعمل في درجة حرارة تفوق حتى C1000°.

- الجدول (1) يوضح بعض خصائص المواد المستعملة في تخزين الحرارة الحساسة عند الدرجة C°20

**(الجدول III-1): يوضح خصائص مواد التخزين الحرارة المحسوسة عند 20°C**

| السعة الحرارية الحجمية $kj/m^3$ | الحرارة النوعية j/kg.k | الكثافة $kg/m^3$ | المواد |
|---|---|---|---|
| 1.28 | 879 | 1458 | الطين |

| | | | |
|---|---|---|---|
| الطوب | 1800 | 837 | 1.57 |
| 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 |

III-5-1-2- المواد السائلة :

يمكن تلخيص خصائص ومواد التخزين بالسوائل في الجدول التالي:

**(الجدول III-2): خصائص ومواد التخزين بالسوائل في الجدول.**

| المادة | خصائصها |
|---|---|
| **الماء** | يعتبر الماء أفضل وسيط للتخزين في درجات الحرارة المنخفضة وهذا يرجع للسعة الحرارية الكبيرة التي تميزه مقارنة مع الاجسام الأخرى **4185 J /Kg K**(عند20°**C** ) وهكذا فالماء يستطيع تخزين حوالي **250J /Kg** عند تغير الحرارة 60°**C**إضافة الى ان الماء غير مكلف وهو موجود بكثرة ويمكن الحصول عليه بسهولة<br><br>لكن ارتفاع ضغط بخاره بالنسبة للتطبيقات في درجة الحرارة العالية يستوجب عملية عزل الماء وهو مكلف فالخزان يجب ان يقاوم الضغوط العالية كما ان الماء لا يعتبر فقط كوسيط لتخزين لكن يستعمل كوسيط نقل الطاقة . |
| **زيوت عضوية** | لديها ضغط بخار أضعف من الماء كما يمكن استعمالها في درجات حرارة عالية أكثر من C°300 لكن اقل من C°350لتجنب تفكيكها.<br><br>سعتها الحرارة من 25% الى 40 % من سعة الماء |
| **املاح معدنية ذائبة** | يعتبر هيدروكسيد الصوديوم هو الأكثر استعمالا لديه درجة انصهار قيمتها C°320<br><br>ومن الممكن استعماله في درجة حرارة أكبر من C°800 لكنه يسبب تآكل ويصعب تخزينه في درجة حرارة عالية |

III-5-2- التخزين الكيميائي:

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

***III-5-2-1 -التخزين الوقودي:***

يقصد بالتخزين الوقودي 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 ما يلي:

$$2\,NOCl + \text{فوتونات} \longrightarrow 2\,NO + Cl_2 \quad (3\text{-}3)$$

حيث يمثل الفوتون جسيم الطاقة الموجود في الاشعاع الضوئي (الشمسي) ومن الممكن ايضا استخدام التحليل الكهربائي للماء (الكهروليتي) لإنتاج غاز الاكسجين والهيدروجين واعادة اتحادهما في معدات خلوية خاصة تدعى خلايا الوقود لإنتاج الطاقة الكهربائية وفي هذه الطريقة يمكن تخزين الاكسجين والهيدروجين بفعالية 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[28].

***III-5-2-2-الحرارو الكيميائي :***

الطاقة الحراروكيميائية هي الحرارة الممتصة او المحررة اثناء حدوث تفاعل كيميائي ماص للحرارة او ناشر للحرارة ويعتمد تخزين الطاقة الحراروكيميائية على طاقة الروابط الكيميائية خلال تفاعل كيمائي عكوس .في هذا النظام سعة تخزين الحرارة مرتفعة عموما لان الطاقة الكيميائية تكون مرتفعة عند كسر الروابط الكيميائية واعادة تركيبها في تفاعل كيميائي عكوس .

ويعتبر هذا النظام اكثر تعقيدا من التخزين المحسوس والكامن .كما يجب في هذا ان تكون المركبات الكيميائية المستخدمة تكون غير ضارة وغير قابلة للتأكل ويعتمد هذا النظام على الطاقة الممتصة وتحريرها في بداية الشوط الثاني واصلاح 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 وتعطى حرارة التخزين الحراروكميائي بالعلاقة التالية:

$$E = \sum_{i=1}^{N} \int_{Ti}^{Tf} mi\ Cpi\ .dT + nA\Delta Hn \qquad (4\text{-}3)$$

E: كمية الطاقة المخزنة (J).

m: كتلة المادة المتفاعلة (kg).

$n_A$: عدد المولات (mol) للمركب الكيميائي (A).

$\Delta Hn$: انتالبي التفاعل( $J.mol^{-1}$ ) [29].

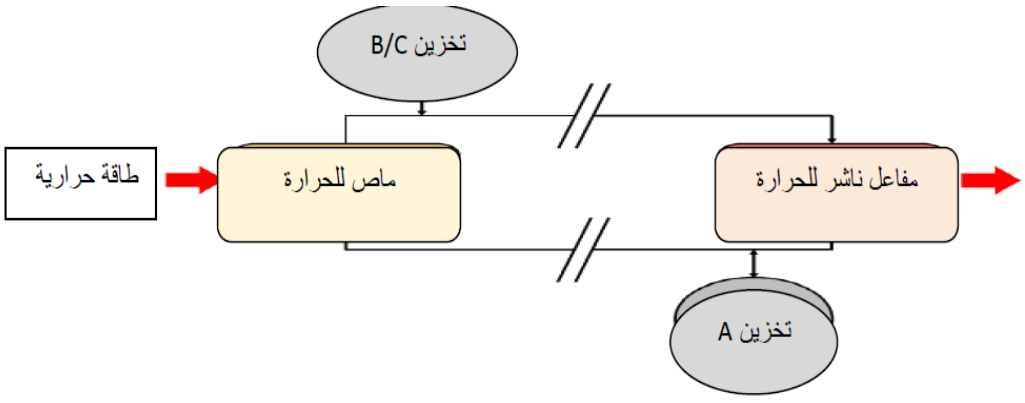
مصطلح تخزين حراروكيميائي يغطي ظاهرتين :الامتصاص والتفاعل الكيميائي .التخزين الحراري بالامتصاص يناسب تخزين في درجات الحرارة المنخفضة (T=80°c)، في حين تطبيقات مراكز الطاقة الشمسية (T=200-1000°c) هنا تفاعلات تركيبات كيميائية تبدو الاكثر ملاءمة. التخزين الحراروكيميائي يستغل حالة الانعكاسية في التفاعلات الكيميائية لتخزين الطاقة .بشكل عام ،فالتفاعلات تحدث بالنموذج التالي :

$$A + B + \Delta Hr \leftrightarrow C + D \qquad \textbf{(5 -3)}$$

التفاعلات الاكثر شيوعا التي نواجهها هي من الشكل التالي:

$$A + \Delta Hr \leftrightarrow B + C \qquad (6-3)$$

هذا النوع من التخزين يجب ان يكون التفاعلات انعكاسية تماما حتى لا تفقد العملية قدرة التخزين خلال دورات .يظهر الرسم البياني مبدا تخزين الحراروكيميائي .




**(الشكل III–4): مبدا تخزين الحراروكميائي [29].**

III-5-3-الحرارة الكامنة :

عند حدوث تبادل حراري في وسط ما فان ذلك يوافق تغير في الطور من حالة الى اخرى مثل تغير لحالة من صلب الى سائل الى غاز. تدعى هده الالية بالتخزين الحراري الكامن. اذن يمكن القول ان الحرارة الكامنة هي كمية الحرارة الازمة لتحويل المادة من حالة الى اخرى لكل واحد كيلوغرام من المادة وتغير من الخصائص المميزة للمادة. فخلال مرحلة تغير الحالة للمواد من الصلب الى السائل او من السائل الى الغازية يمكن تخزين الطاقة الحرارية بدون تغير في درجة حرارتها بطريقة ايزوتارم، فعند حدوث التحول لابد 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

$$Q = m\,(hf - hi) = m\,\Delta hf \qquad (J) \qquad (7\text{-}3)$$

وعند اخد درجة الحرارة الابتدائية للمادة $T_i$ ودرجة حرارة انصارها $T_f$ فيمكن كتابة العلاقة:

$$Q = m\,(h_f - h_i) = m\,C_p\,(h_f - h_i) + m\Delta h_f \qquad (J) \qquad (8\text{-}3)$$

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

-اذا Tf هي درجة حرارة تغير الطور لمادة نقية الذي تتغير درجة حرارت من T1الى T2،حيث :

$T1 \leq Tf \leq T2$فان الطاقة المخزنة خلال هدا التحول تعطى بالعلاقة التالية والتي تمثل حدين ما الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة للكتلة m.

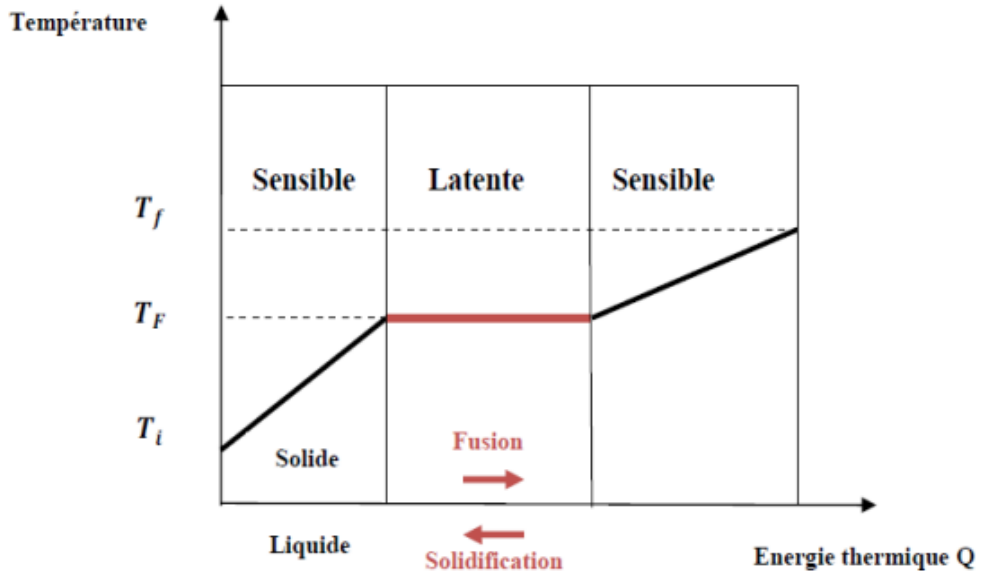
$$\Delta H = \int_{Ti}^{Tf} m\,Cs\,dT + mL + \int_{Ti}^{Tf} m\,CL\,dT \qquad (9\text{-}3)$$

**Cs(T) :** الحرارة النوعية لجسم في حالة صلب

**CL (T):** الحرارة النوعية لجسم في حالة سائلة

**L :** الحرارة الكامنة لتغير الطور

إذا اتينا الى تغير الانتالبي بدلالة درجة الحرارة فسنتحصل على المنحنى التالي الملاحظ ان الانقطاع يسبب تغير الحالة (وليس لتغير في درجة الحرارة) [30].




**(الشكل III–5):منحنى يوضح الخطوات المختلفة خلال تخزين الحرارة الكامنة(صلب/سائلة) [31].**

## III-6- مميزات كل نظام وتطبيقاته:

**(جدولIII-3):يلخص مميزات كل نظام والتطبيقات الاكثر مناسبة لاستخدامها [27] [32].**

| نظام التخزين | التخزين الحراري الحساس | التخزين الحراري الكامن | التخزين الحراري الحراروكيميائي |
|---|---|---|---|
| مزايا كل نظام | - تقنيات بسيطة<br>- مواد تخزين متوفرة<br>- كثافة الطاقة معتبرة لبعض مواد التخزين<br>- اتساع نطاق درجة حرارة التخزين<br>-استخدامات واسعة | -كثافة تخزين أكبر<br>-استنفاذ حجم تخزين اقل<br>- استراد الطاقة في درجة حرارة ثابتة ويمكن التخزين في درجات حرارة منخفضة<br>-الحاجة الى عزل اقل | - كثافة الطاقة عالية جدا في درجة حرارة الغرفة<br>-لا تحتاج الى عزل<br>- مدة التخزين أطول<br>- مسافة نقل اكبر |

| | | | |
|---|---|---|---|
| التطبيقات المناسبة له | - تطبيقات الطاقة الشمسية<br>- كتسخين الماء والتدفئة والمباني | - تكييف المباني<br>- تكييف الآلات الالكترونية | - تخزين موسمي |
| الكثافة الطاقوية الحجمية | $\sim 15 - 60 Kwh.m^{-3}$ | $\sim 50 - 100 Kwh.m^{-3}$ | $\sim 100 - 500 Kwh.m^{-3}$ |
| الكثافة الطاقوية الكتلية | $\sim 0.02 - 0.03 Kwh.Kg^{-1}$ | $\sim 0.05 - 0.1 Kwh.Kg^{-1}$ | $\sim 0.1 - 1 Kwh.Kg^{-1}$ |
| حرارة التخزين | درجة حرارة الشحن | درجة حرارة الشحن | درجة حرارة الشحن او المحيط |
| مدة التخزين | محدودة (ساعات –شهر – يوم) | محدودة (ساعات –شهر –يوم) | غير محدودة |

## III- 7- مواد متغيرة الطور :

تدعى كل مادة قادرة على تغير حالتها الفزيائية ضيق بالمادة متغيرة الطور يرمز لها ب PCM وتبقى مرحلة تغير الطور السائدة في الانصار /التصلب. درجات الحرارة هذه متوفرة طبيعيا وموجودة في كل مكان في حياتنا اليومية على سبيل المثال 6H2O.CaCl2،حيث تحتوي على نقطة انصار تقدر ب72°C،يمكن دمجها في هيكل المبنى لتخفيف التقلبات النهارية في درجة الحرارة المحيطة يجب احترام المعاير عند اختيار مادة تغير الطور:

- الموصلية الحرارية العالية.
- الكثافة العالية .
- انفاض 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 للاشتغال .

- الاقتصادية .

- وفرة المواد المستعملة[31].

## III- 8- إيجابيات وسلبيات متغيرات الطور:

لجميع أنظمة تخزين الطاقة لمتغيرات الطور ايجابيات وسلبيات يمكن تلخيصها في الجدول التالي :

**(جدولIII- 4):يوضح بعض ايجابيات وسلبيات مختلف مواد متغيرة الطور[33].**

| المواد متغيرة الطور | الايجابيات | السلبيات |
|---|---|---|
| سائل /صلب | توظيف الحرارة المحيطية<br>قيمة كبيرة للحرارة الكامنة | تغيير كبير في الحجم السائل بعد التحول معقد<br>وبه درجة حرارة كبيرة من التسممية<br>التآكل مع جدران الحاوية<br>الحاجة الى الفعالية الكبيرة للتبادل الحراري |
| صلب /صلب | امتصاص واعطاء الحرارة مع<br>عدم التحول الى سائل<br>تغير طفيف في الحجم | الحرارة الكامنة ضعيفة<br>صعوبة ايجاد مستويات درجة حرارة لتغير<br>الحالة متناسقة مع التطبيقات |

## III 9- أكثر المواد المتغيرة الطور استخداما:

يمكن تصنيف متغيرات الطور PCMعادة في ثلاث فئات :

- ✓ **المواد الغير عضوية**: هيدرات الملح والاملاح والمعادن والسبائك.
- ✓ **المواد العضوية:** البارافين، البارافين الاجسام غير البارافينية.
- ✓ **المواد سريعة الانصهار(Eutectic) :** الاجسام غير العضوية او العضوية.

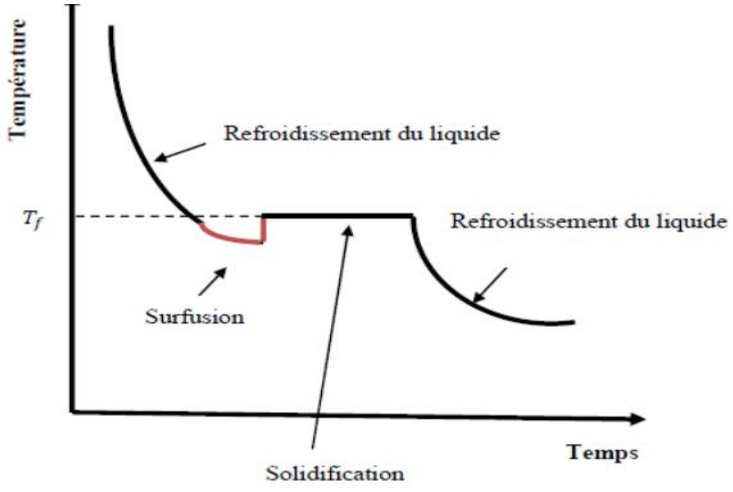
## III -10-الظواهر المؤثرة على متغيرات الطور التي تؤثر على كفاءة التخزين:

III-10-1- فرط البرودة (La surfusion ):

عند تبريد السائل لبعض المواد عموما لا يلاحظ تصلبه عند لحظة الوصول الى درجة حرارة اندماج المادة حيث يمكن ان تبقى في الحالة السائلة طيلة عشرات درجات حرارة تغير الحالة ، وعند بداية عملية التصلب تطرد الحرارة واذا كان السائل كبيرا نوعا ما وكان التبادل مع الخارج ضعيف فإن بداية التصلب تسبب ارتفاع في درجة حرارة المادة الى غاية الوصول الى درجة حرارة تغير الطور .هذه الظاهرة تقلل من الفعالية الحرارية لوحدات التخزين عن طريق الحرارة الكامنة بالمقارنة مع تخزين بالحرارة الحساسة ، في الحقيقة فقدان الحرارة اثناء التصلب تكون في درجات حرارة دنيا اقل من تلك المتعلقة ببداية التخزين اذا لدينا فرق بين الحرارة الممتصة أثناء التخزين وتلك المسترجعة اثناء التبريد حيث لا نجد هذا المشكل الا عند البعض من مواد MCP مثل مواد غير العضوية ( أملاح مائية ) .

- **أما عن الحلول المقترحة فنجد :**
- إدراج مواد إضافية نشطة على سطح.
- تسهيل تنويه (la nucleation ) بواسطة بلورات صلبة ثابته او مستقرة حول درجة حرارة التبلور.
- نحافظ على منطقة باردة داخل المادة .

ففرط التبريد يمنع استعمال الحرارة الكامنة لتغير الطور عند درجة الحرارة المرغوب فيها .و قد يكون فرط التبريد إيجابيا لبعض التطبيقات مثلا في التخزين لمدة طويلة فهذه الظاهرة تسمح بتخزين MCP عند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة انصهار جسم صلب [31] [34].



**(لشكل III–6):منحنى يوضح ظاهرة فرط البرودة[34].**

III-10-2- فرط التسخين (La surchauffe ) :

فرط التسخين لجسم معين هو الاستمرار في تسخينه بعد تغير حالته اي حتى بعد انصهاره او بعد تبخره .فإذا كان الفرط في التسخين في مدة زمنية قصيرة فالحرارة المخزنة في النظام تعتبر حساسة وغذا كان فرط التسخين في مدة طويلة فتخزين الحرارة هنا بالحرارة الكامنة يفقد أهم ايجابياته مقارنة بالحرارة الحساسة [34،31].

III-10-3- التمـــــدد (La dilatation) :

أثناء تغير الطور من الصلب الى السائل المادة تغير من كثافتها وبالتالي يتغير حجمها وهنا يطرح مشكل التخزين في بعض التطبيقات خاصة التي يستعمل فيها حاويات مغلقة اين يتطلب الامر زيادة تحمل في الضغط [34] .

III-10-4- التـــآكل (La corrosion) :

نقص الاستقرار على المدى الطويل لنظام حاوية ال MCP كثيرا ما قللت من توسع استخدام التخزين بالحرارة الكامنة ويمكن اختصار اسباب هذه الظاهرة في عاملين هما :

- نقص الاستقرار الكيميائي للمادة في حد ذاتها او التأكل بين المادة MCP ومادة صنع الحاوية وبهذا الخصوص يعتبر البيرافين مناسب للمحافظة على خصائصه الكيميائية خلال أطوار الشحن والتفريغ .
- وفي المقابل الطبيعة الأيونية للأملاح المائية تسبب مشكلة التآكل مع الحاويات المعدنية [ 31 ،34].

III-10-5- فصل الطور(La ségrégation de phase ) :

الكثافة العالية لتخزين أملاح المائية تنقص عموما مع عدد الدورات بسبب فصل مراحل الأطوار هذه الظاهرة مرتبطة بتكوين متبادل لـ الهيدرات (n-1)H2O أثناء انصهار المركب n مرة الهيدرات H2On يجعل السيرورة غير قابلة للانعكاس وتأثر سلبا على فاعلية النظام ، يمكن التغلب على المشكل بإضافة مادة للMCP تمنع سقوط الطور الأكثر كثافة في عمق الحاوية أو بداخلها ويجعل MCP أكثر لزوجة هناك تجارب على صوديوم الثلاثي المائي ( NaCH3COO.3H2O ) بينت ان إضافة الطين (20% من الكتلة ) أو الداميدون ( 50% من الكتلة ) تسمح بتجنب هذه السلسلة [34].

## III -11- اختيار متغيرات الطور:

لتسهيل اختيارMCP بالنسبة لتطبيق معين نأخذ بعين الاعتبار بعض المعايير أهمها :

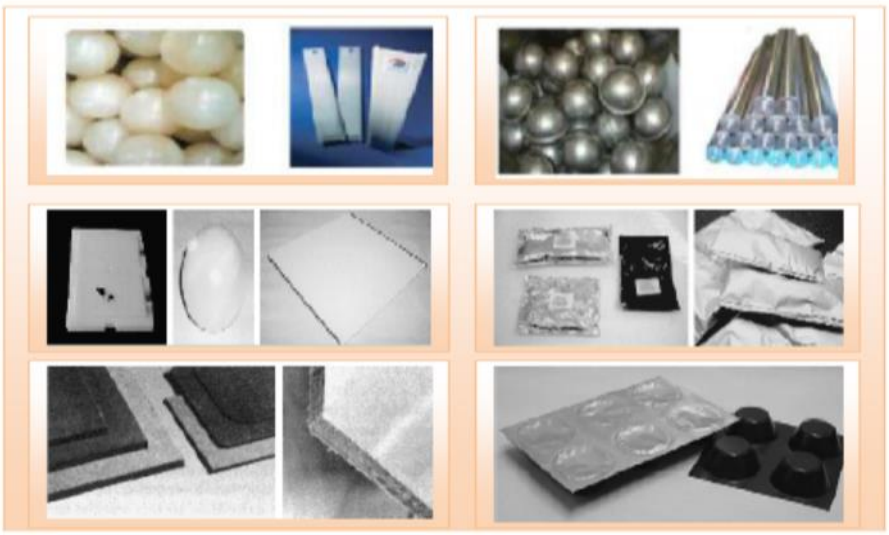
- اعتبارات حرارية .
- الخصائص الفيزيائية.
- الاعتبارات الحركية.
- اعتبارات الكيميائية .
- اعتبارات إقتصادية [31].

## III -12- تقنيات التكييف لمواد متغيرة الطور:

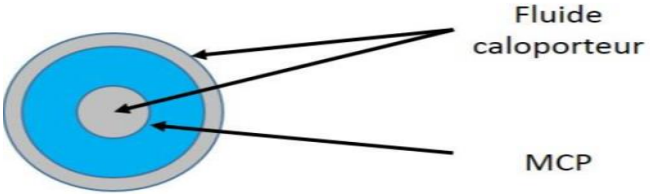
تكييف الPCM يقوم على عدة مبادئ للتوفيق بين مادة التخزين (الحاوية)ومواد تغير الطور PCM فعندما تصبح الPCM سائلة وبسبب لزوجتها الضعيفة نسبة التسرب تزداد بقوة فنجد اشكال مع حاوية التخزين في الأخير يمكن القول ان تغيير الطور بسبب تغير في الحجم ممكن ان يؤدي الى كسر الحاوية إذا كانت هذه الأخيرة لا تستطيع استيعاب هذا التغير يوجد عدة تقنيات لتكييف مواد تغير الطور منها:

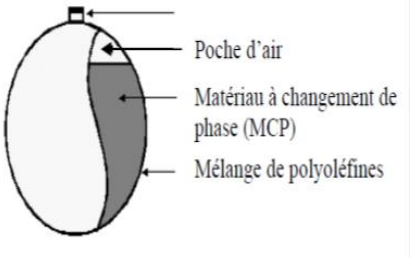
III-12-1- التغليف الكلي :

هي آلية تكون مادة تغيير الطور مغلفة في contenants على شكل ( انابيب - كريات–أكياس – أسطوانات – ألواح .....) بأبعاد ميترية او ديسيمترية مثل بعض الاجراءات الصناعية تستعمل ..... في كريات بلاستيكية وبها ثلاث اقطار (77-78- 98 ) mm تستعمل على حسب درجات حرارة تحول مادة الـMCP المغلفة 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 الـMCP وغلافها و الذي يمكن ان يظهر بعد عدة دورات من الانصهار و التصلب .و في بعض الحالات التحول الحراري والتسربات تسجل مشكل [30،31،34].



(لشكل III–7) :تكييف ال MCPفي عقيدات[34]



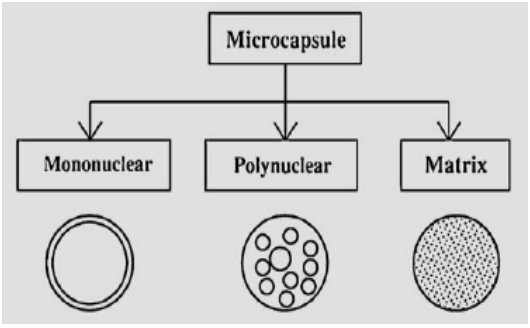




(الشكل III–8):اشكال مختلفة من التغليف الكلي (الشكل( III–9):يمثل شكل من اشكال التغليف الكلي [34] .

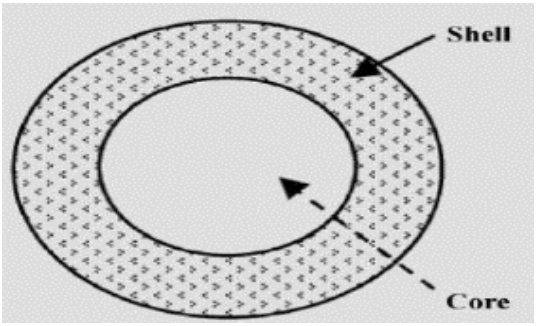
III-12-2- تغليف صغير:

هي مجموعة تقنيات تسمح بالحصول على جسيمات من حجم 10nmالى 1000µm تأخذ عدة أشكال ( كريات – أسطوانات صغيرة عمودية(longitudinaux ) تحتوي على مادة MCP في حويصلات مغلفة 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 ميكرو كبسولي لـ MCP تتم عن طريق :

- اضافة الغرافيت .
- اضافة SiC سيليكون كاربيد.
- دهن كرية نحاس تحتوي على الـ MCP بشريط من مادة النيكل[29,30,33].




**(لشكل III– 10):** مختلف انواع التغليف الصغير




**(لشكل III– 11):** وصف للتغليف الصغير

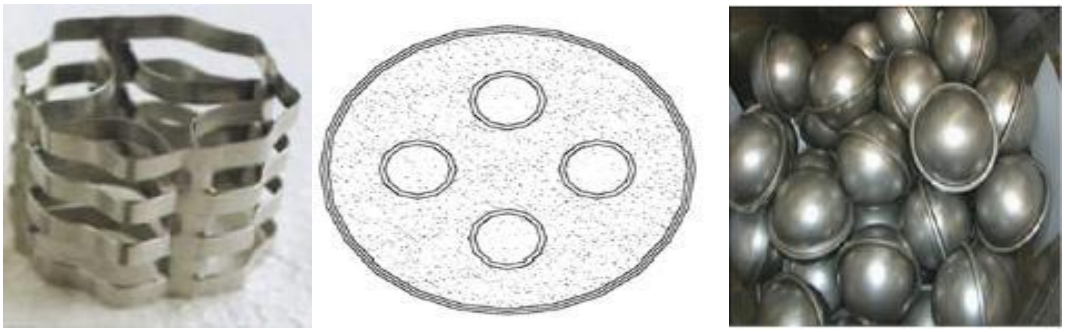
## III- 13- دمج بيانات معدنية مع مواد متغيرة الطور :

هذه الطريقة تستعمل بنيات معدنية على شكل اسطواني أو كروي من الفولاذ (الشكلIII – 12) اعطت هذه الطريقة الايجابيات التالية:

- تحسين توصيلية الحرارية للـ MCP .

- تخفيظ وقت الانصهار / التصلب .

- زيادة تكلفة النظام



**(لشكل III– 12) :** تمثل مختلف انواع ادماج ال PCM عن طريق بينات معدنية [31]

## III-14- ـتطبيقات المواد متغيرة الطور:

III-14-1- تطبيقات مواد الـ MCPفي الصناعة

- **التكييف:** يستعمل في البنوك و المستشفيات و المكاتب .....الخ.
- **إجراءات ( العمليات ) :** مصانع الحليب والجبن .
- **الحماية :** قاعات المراقبة والآعلام الالي[33] .

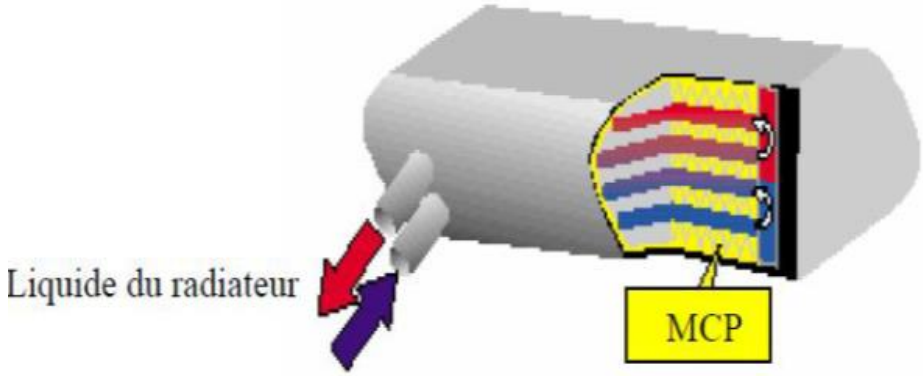
III-14-2- تطبيقات مواد الـ MCPفي التبريد الحراروكيميائي:

استعمال التبريد الحراروكيميائي مع الـ MCP المغلفة والمدمجة مع صمام حراري (thermosiphon)هذا النظام يوظف باستعمال طاقات متجددة خاصة بالطاقة الشمسية الضوئية المعنية بتوليد الكهرباء على شكل تيار مستمر كما أن هذا النوع من التبريد لديه مجال تطبيق واسع في تخزين الاغذية والأدوية ، إذا كان استعمال MCP يطور او يحسن بشكل واضح نسبة الأداء فإن إظافة الصمام الحراري ليس ضروري [33] .

III-14-3- تطبيقات مواد الـ 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 لـ **CO2** غازات CnHn [33].

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




**(الشكل III–13):** يمثل البطارية الحرارية. [33]

III-14-4- تطبيقات الـ MCP في بطارية ايون الليثيوم :

تستعمل MCP هنا من أجل المحافظة على ثبات درجة الحرارة في البطاريات دون استعمال مكونات التبريد النشطة مثل المروحية نجدها تستعمل في السكوتر الكهربائي الشكل 14 لهذا التطبيق ايجابيات هي انها:

- مضغوطة.
- وزنها خفيف.

- بطارية أيون الليثيوم الجديدة تحتوي على 18650 خلية Li-ion محاطة بـ MCP مع فتحة درجة الحرارة بين ( C° 41و C° 44C) شكل جديد للتبريد الحراري [31] .

**الشكل (III- 14):** سكوتر كهربائي

III-14-5- تطبيقات مواد الـ MCPفي المباني :

تعتبر الراحة الحرارية هي احدى حاجات البديهية اللازمة في كل المنشأة 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 بتغير 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 [31].

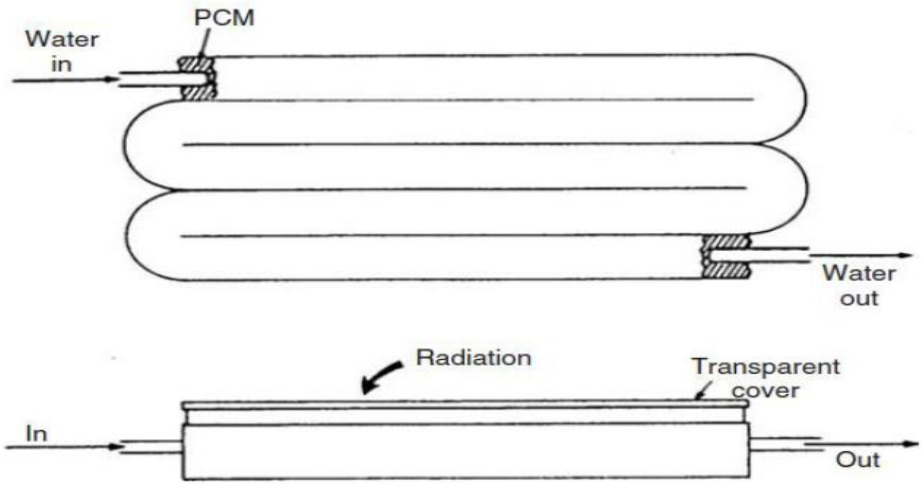
III-14-6- تطبيقات مواد الـ MCPفي التخزين الشمسي الحراري :

المشكلة الرئيسية المرتبطة باستعمال الطاقة الشمسية الحرارية تتعلق بالتخزين فإنتاج الماء الصحي الساخن عن طريق تنقل الماء عبر الواح شمسية مرتبط مباشرة بوجود الشمس هذه الطاقة يمكن الحصول عليها حتى اثناء عدم الحاجة اليها حيث تستعمل ال MCP بتخزين هذه الطاقة بالحرارة الكامنة يسمح بتجاوز هذه المشكلة جزئيا .

فكمية الطاقة المخزنة في بالون من نفس الحجم تكون اكبر باستعمال الـ MCP من استخدام الماء فقط وكمثال على ذلك نجد تطبيق سوكولوف وكيزمان(1991) لل MCP لتسخين المياه يحتوي النظام

على أنبوب شمسي يتكون من أنبوبين متحدة المركز مع المسافة بينهما مليئة ب MCP (الشكل III ) . يتم امتصاص الإشعاع الشمسي مباشرة على السطح الخارجي وبعد ذلك تنتقل الى. ال MCP حيث يتم تخزينها كحرارة حساسة وكامنة .البناء بسيطة .ولهذا النظام مزايا تشمل:

- الحرارة الكامنة كبيرة.
- التخلص من المكونات المكلفة مثل خزان المياه والمضخة وأجهزة التحكم.
- ملائمة النظام لبناء وحدات وتركيب.
- الحماية من التجمد.




**(الشكل III–15) :** انبوبTSA الشمسية باستخدام MCP [29] [31].

III-14-7- تطبيقات ال MCPفي تبريد الكتروني:

نجد االعديد من البحوث الحديثة العلمية مهتمة باستعمال ال MCP في الأنظمة الإلكترونية وهي في تزايد مستمر نظرا لزيادة الحاجة للطاقة ولمحاولة تصغير الأجهزة قدر الإمكان فكان التركيز أكثر على ملائمة حرارة الأجهزة الإلكترونية ، فاستعمال التقنية غير النشطة في التبريد يعطي إيجابية الصيانة . كما نجد في بعض التطبيقات الخاصة بتكييف قطع حاويات علب تحتوي على أجهزة الكترونية [35].

## الخاتمة :

المواد متغيرة الطور(PCM) عبارة عن مواد تمتص كمية كبيرة من الطاقة الحرارية عند تغير الطور( صلب /سائل )وتقوم بتحريرها عند التصلب لذلك احدى استخدامات المواد متغيرة الطور هي تخزين الطاقة الحرارية حيث يمكن للمواد متغيرة الطور المدمجة مع مواد البناء ان تزيد من العطالة الحرارية للأبنية وان تخفض الطاقة اللازمة للتدفئة والتكييف يعتبر هذا مناسبا بشكل خاص للأبنية التجارية التي تكون عادة ذات هيكل خفيف ،لكن الايصالية الحرارية الضعيفة للمواد متغيرة الطور تعتبر من اهم الخواص التي تحد من استخدامها و الهدف من هذه الدراسة هو اقتراح اختيار مواد ذات ايصالية كافية لان

تسمح بتحقيق التكييف خلال فصل الصيف لتحد بل لتلغي استخدام الطاقة (الكهربائية او الوقود ) باستخدام جدران حاوية على مواد متغيرة الطور.

.

# الفصل الرابع

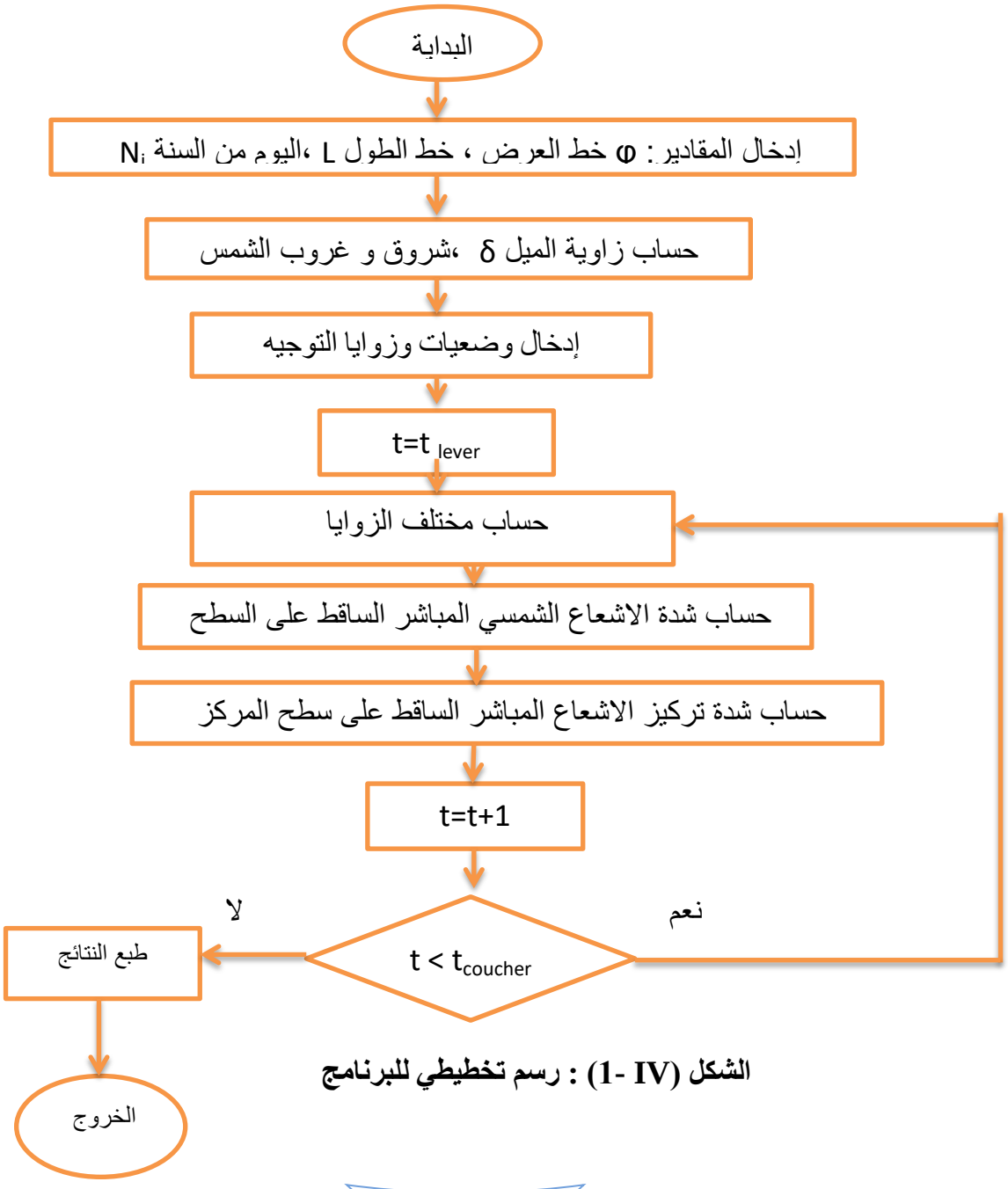
# مناقشة النتائج

## مقدمة :

بعد نمذجة المعادلات الرياضية للإشعاع الشمسي المباشر وكذا معادلات الموازنة الحرارية للمركز الشمسي الاسطواني القطع مكافئ قمنا بالمحاكاة العددية وفق برنامج ماطلاب لتقدير شدة الاشعاع الشمسي المباشر في منطقة ورقلة وكذا حساب درجة حرارة خروج المائع من أجل ابعاد المركز الشمسي المختلفة وكذا من أجل تدفقات كتلية مختلفة وذلك باختيار أيام من السنة سبتمبر نوفمبر جانفي مارس أفريل ولدراسة تأثير مختلف العوامل نرسم البيانات التالية:

### IV- 1-مخطط العمل:

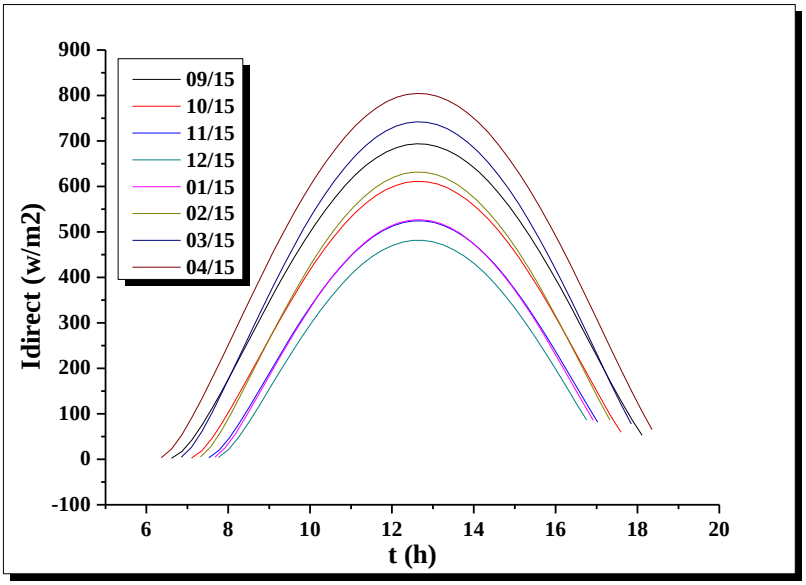
قمنا بإعداد برنامج حاسوبي(MATLAB) وكان مخطط العمل كالتالي:




**الشكل (IV -1) : رسم تخطيطي للبرنامج**

## IV -2- شدة الاشعاع الشمسي المباشر:

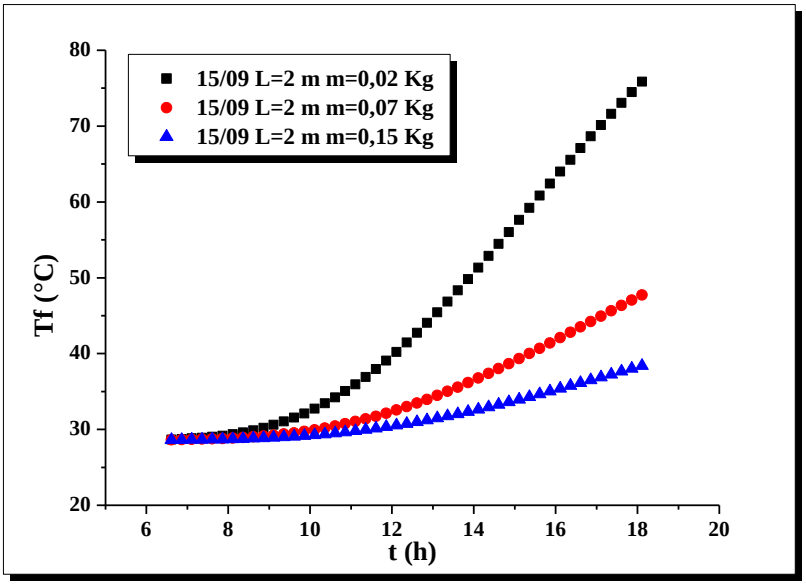
يوضح البيان (IV -1) تغيرات شدة الاشعاع الشمسي المباشر من شروق الشمس الى غروبها في مدينة ورقلة خلال أيام مختلفة من السنة حيث تزداد شدة الاشعاع الشمسي من الشروق لتصل الى الذروة عند الزوال ثم تتراجع لتنعدم عند الغروب ، كما تتأثر شدة الاشعاع الشمسي المباشر عند الذروة باليوم من السنة نظرا لاختلاف زاوية ميلان الشمس والمسافة أرض – شمس.



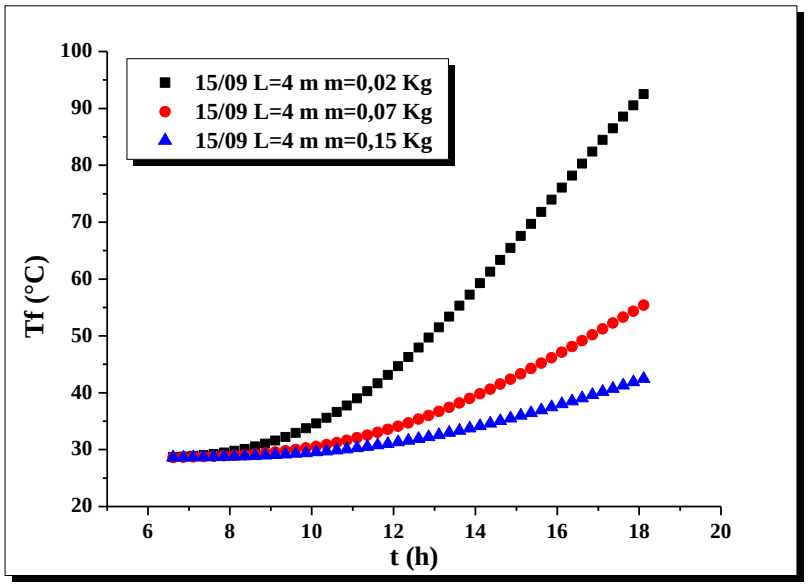

**البيان (IV -1): تغيرات شدة الاشعاع الشمسي المباشر خلال الزمن لأيام مختلفة من السنة**

## IV-3-تأثير التدفق الكتلي للمائع:

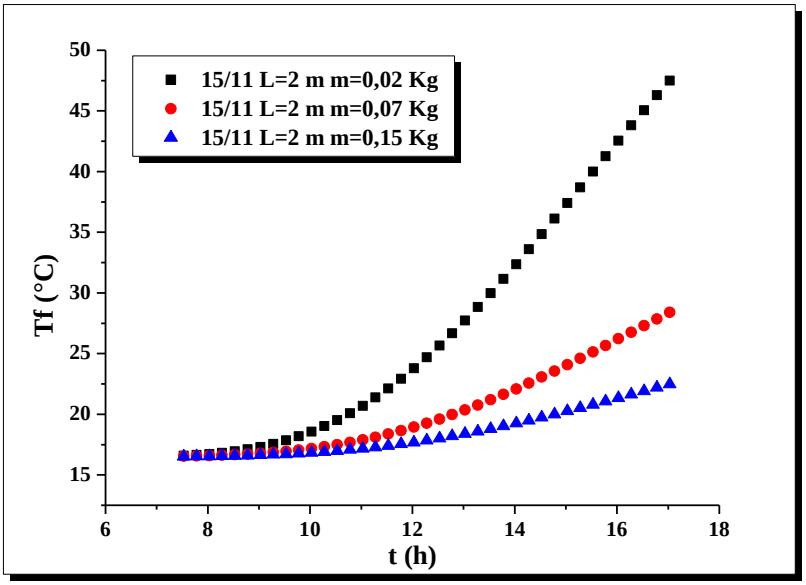
نلاحظ في البيانات (IV -2) و (IV -3) و (IV-4) تزايد درجة حرارة خروج المائع من الشروق لتصل الى قيمة أعظمية عند الغروب كما نسجل تزايد درجة الحرارة بنقصان التدفق الكتلي للمائع حيث نستطيع التحكم في التدفق الكتلي حسب درجة الحرارة المطلوبة وهذا خلا يوم 15 سبتمبر




**البيان (IV -2): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=2m**

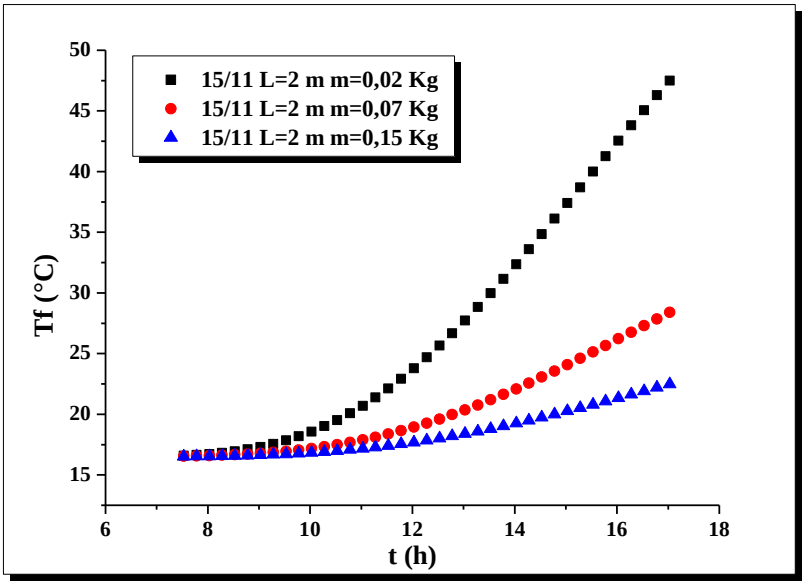



**البيان (IV -3): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=4m**

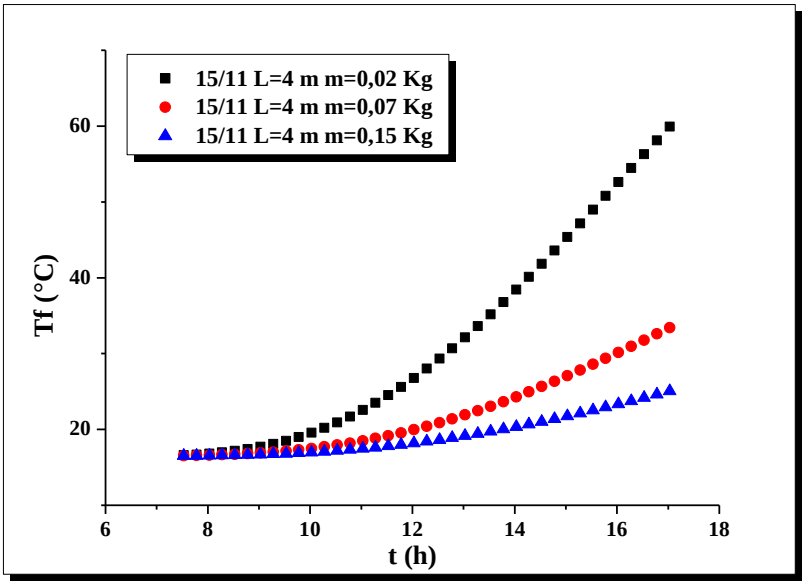



**البيان (IV - 4): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=5m**

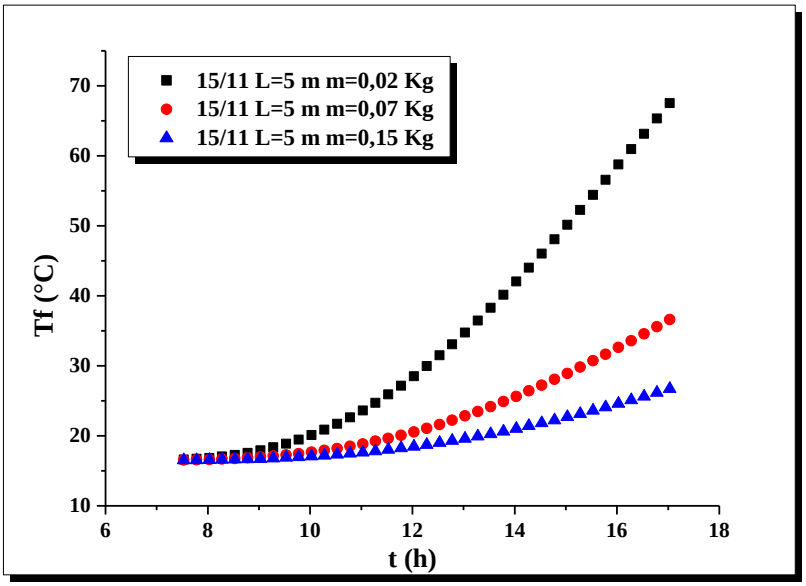
نلاحظ في البيانات (IV-5) و (IV-6) و (IV- 7) تزايد درجة حرارة خروج المائع من الشروق لتصل الى قيمة أعظمية عند الغروب كما نسجل تزايد درجة الحرارة بنقصان التدفق الكتلي للمائع حيث نستطيع التحكم في التدفق الكتلي حسب درجة الحرارة المطلوبة وهذا خلا يوم 15 نوفمبر.




**البيان (IV - 5): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=2m**

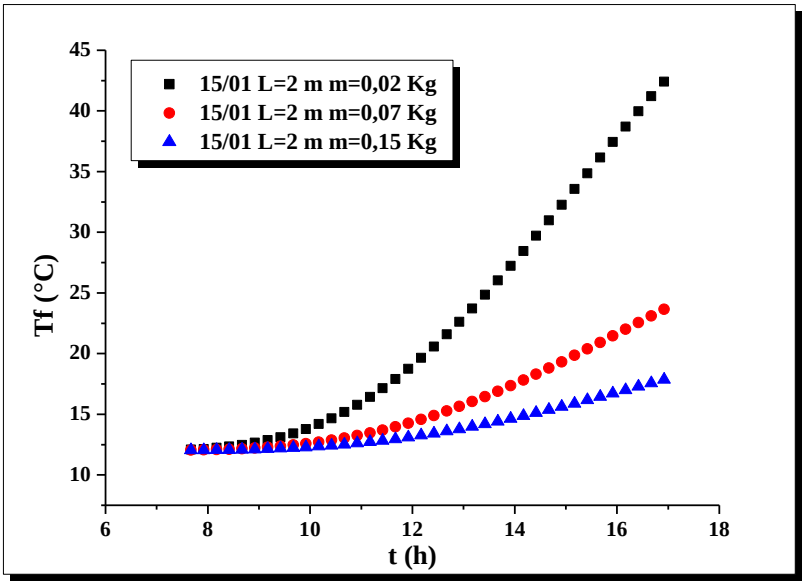



**البيان (IV -6): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=4m**

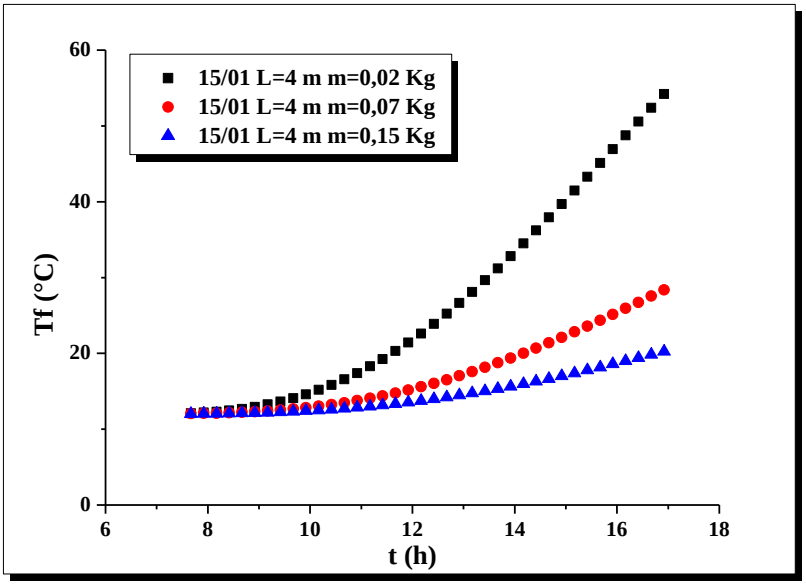



**البيان (IV -7): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=5m**

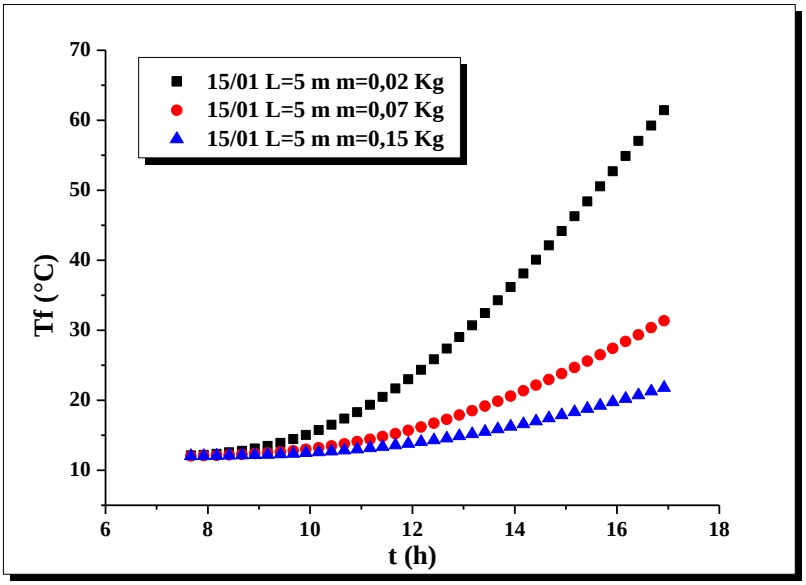
نلاحظ في البيانات (IV -8) و (IV -9) و (IV -10) تزايد درجة حرارة خروج المائع من الشروق لتصل الى قيمة أعظمية عند الغروب كما نسجل تزايد درجة الحرارة بنقصان التدفق الكتلي للمائع حيث نستطيع التحكم في التدفق الكتلي حسب درجة الحرارة المطلوبة وهذا خلا يوم 15 جانفي .




**البيان (IV -8): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=2m**

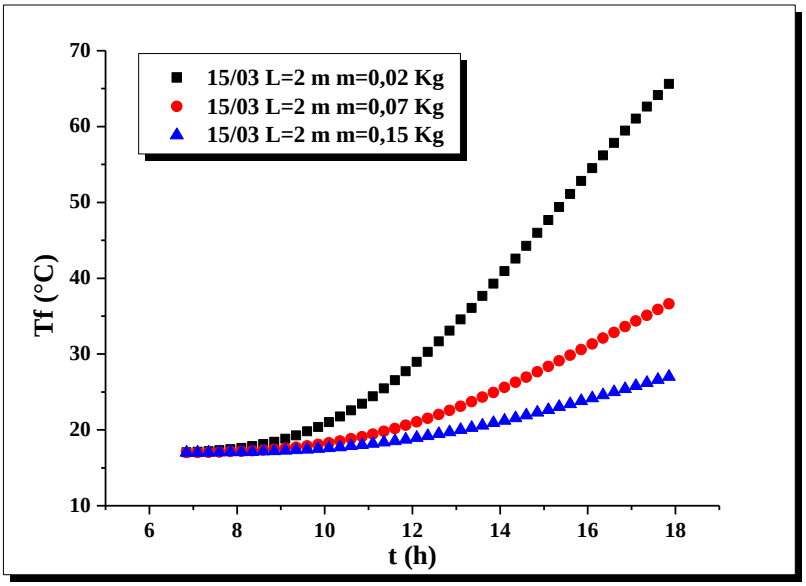



**البيان (IV -9): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=4m**

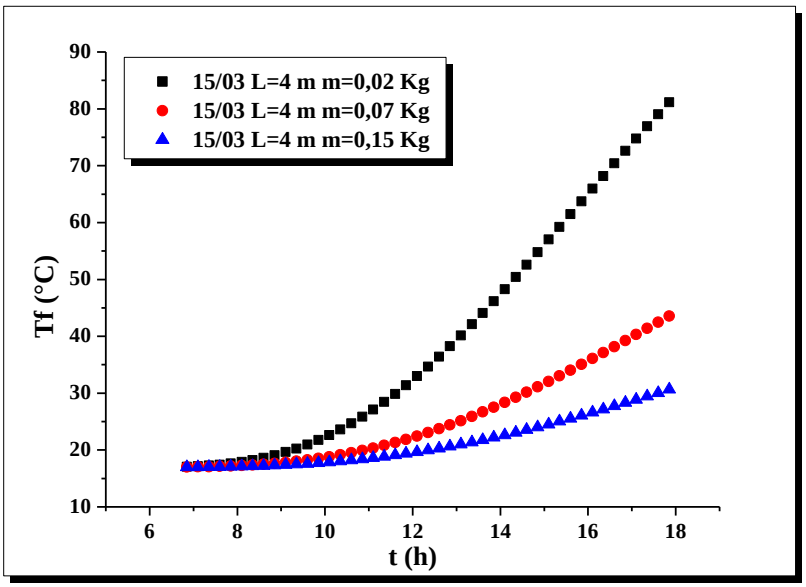



**البيان(IV -10): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=5m**

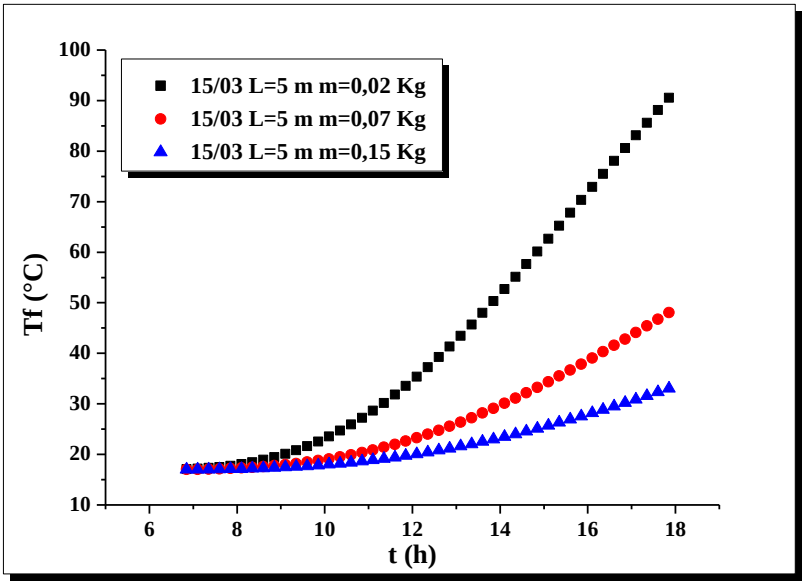
نلاحظ في البيانات (IV -11) و (IV -12) و (IV -13) تزايد درجة حرارة خروج المائع من الشروق لتصل الى قيمة أعظمية عند الغروب كما نسجل تزايد درجة الحرارة بنقصان التدفق الكتلي للمائع حيث نستطيع التحكم في التدفق الكتلي حسب درجة الحرارة المطلوبة وهذا خلا يوم 15 مارس .




**البيان(IV -11): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=2m**

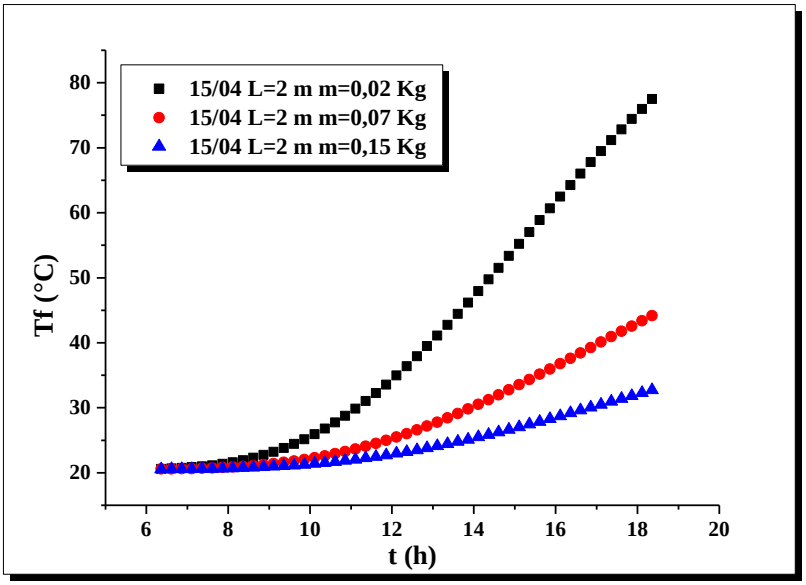



**البيان(IV -12): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=4m**

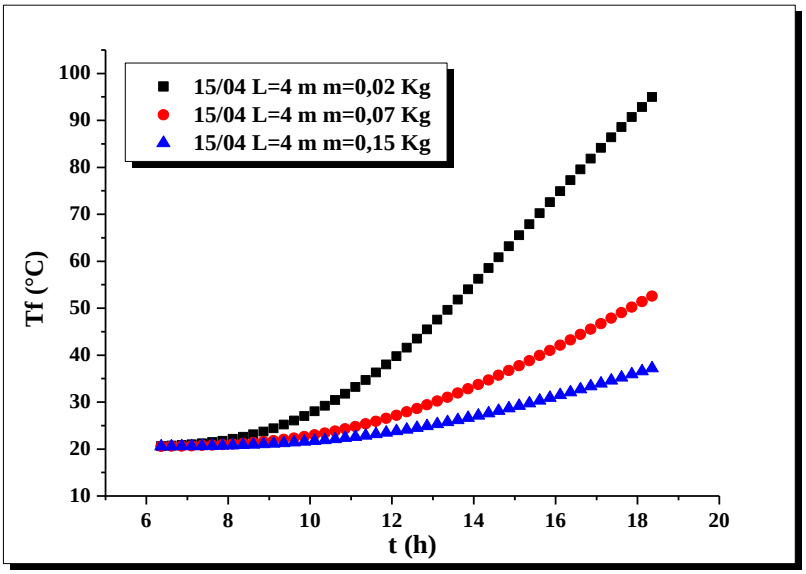



**البيان(IV -13): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=5m**

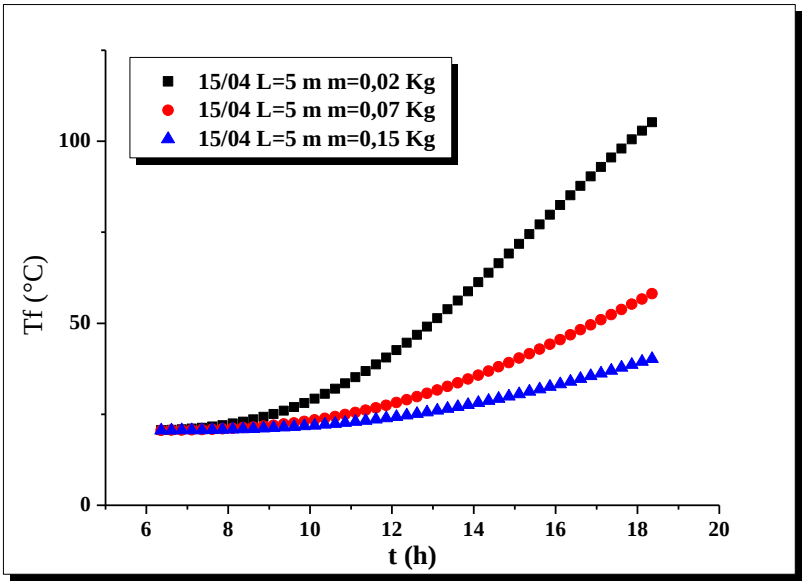
نلاحظ في البيانات (IV -14) و (IV -15) و (IV -16) تزايد درجة حرارة خروج المائع من الشروق لتصل الى قيمة أعظمية عند الغروب كما نسجل تزايد درجة الحرارة بنقصان التدفق الكتلي للمائع حيث نستطيع التحكم في التدفق الكتلي حسب درجة الحرارة المطلوبة وهذا خلا يوم 15 أفريل




**البيان(IV -14): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=2m**




**البيان(IV -15): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=4m**




**البيان(IV -16): تغيرات درجة حرارة خروج المائع خلال الزمن من أجل طول المركز الشمسي L=5m**

## IV- 4-تأثير طول المركز الشمسي:

يوضح الجذول تزايد كمية الحرارة المجمعة خلال اليوم بتزايد طول المركز الشمسي وذلك من اجل تدفق ثابت 0.02Kg /s حيث يزداد سطح التبادل الحراري ومنه تزداد درجة حرارة خروج المائع

**جدول (IV -1) : كمية الحرارة المجمعة خلال اليوم**

| | 15 سبتمبر | 15 نوفمبر | 15 جانفي | 15 مارس | 15 أفريل |
|---|---|---|---|---|---|
| L=2m | 3518.629 KW | 2318.341 KW | 2275.189 KW | 3622.126 KW | 4234.413 KW |
| L=4m | 4752.499 KW | 3235.416 KW | 3144.623 KW | 4770.246 KW | 5528.464 KW |
| L=5m | 5484.292 KW | 3795.391 KW | 3677.557 KW | 5466.565 KW | 6297.350 KW |

## خاتمة:

من خلال كمية الماء الساخن ودرجة الحرارة المطلوبة لمختلف الاغراض المنزلية والصناعية نستطيع تحديد طول المركز الشمسي المناسب كما يمكننا تخزين كمية الحرارة الفائضة عن الحاجة نهارا من خلال استخدام المواد المتغيرة الطور لاستغلالها ليلا دون الحاجة للعودة لمصادر الطاقة التقليدية الملوثة للبيئة.

# الخاتمة

## الخاتمة

**إن إزدياد الطلب على الطاقة وما ينجم عنها من تلوث للبيئة أدى إلى البحث عن بدائل طاقوية متجددة ذات كفاءة عالية ومن اهمها الطاقة الشمسية .**

**الحديث عن الطاقة الشمسية يدفع بنا إلى الحديث عن المركزات الشمسية كجزء لا يتجزأ من هذه التقنية، إذ أن إستخدام المركزات الشمسية في المحطات الحرارية، تمثل التكنولوجيا الواعدة من أجل إنتاج الطاقة الحرارية الشمسية مما يحقق ترشيدا في استهلاك الوقود اللازم لتلبية الطلب المتزايد على الطاقة و بالتالي التخفيف من الأضرار الناتجة عن التلوث.**

**إن تطبيقات الطاقة الشمسية في مختلف الأغراض الصناعية والمنزلية تسعى لزيادة مردودها وتحسين شدتها بزيادة شدة الإشعاع الشمسي الساقط عليها، بواسطة المركزات ونظرا لغياب الشمس في الليل واثناء الغيوم فانه يلزم تخزين الفائض من الطاقة الشمسية ثم استرجاعها عند غياب الشمس . وهذا من بين الأهداف التي نطمح إليها في عملنا هذا بأن نبين مدى أهمية التخزين الحراري إنطلاقا من شدة الإشعاع الشمسي المباشر الذي تم تركيزه بواسطة المركزات الشمسية التي قمنا بدراسة أنوعها ومزاياها وتطبيقاتها في ميدان الطاقة، وكذلك تطرقنا إلى معرفة أنماط التخزين الأخرى ومجالات إستخدامها.**

**وقمنا بالمحاكات العددية لنتائج للمقارنة بين شدة الاشعاع الشمسي الساقط على مدينة ورقلة في مختلف أيام السنة (، 15 سبتمبر،15نوفمبر ، 15 جانفي، 15 مارس ، 15افريل ،).**

وكذا مقارنة درجة حرارة خروج المائع من اجل تدفقات كتلية مختلفة (0.02 ،0.07 ،0.15 ) ومن اجل ابعاد مختلفة للمركز الشمسي ( 2m ، 4m ،5m ).

وقمنا بحساب كمية الحرارة المجمعة بواسطة المركز خلال اليوم من اجل ابعاد مختلفة للمركز حيث نستطيع تقدير الطاقة الفائضة التي نقوم بتخزينها على شكل تغير طوري لتسترجع عند غياب الشمس .

## قائمة المراجع :

[1]- دكتور مهندس محمد مصطفى محمد الخياط، "محطات مركزات الطاقة الشمسية "، مجلة الكهرباء. العربية ،العدد 99 -يناير 2010

E-mail: Mohamed .elkhayat@ yahoo.com

[2] - سماحي سهيلة ،فعالية أداء الخلايا الشمسية الكهروضوئية في ورقلة وتأثير شدة الإشعاع الشمسي والعوامل المناخية عليها ،مذكرة ماستر أكاديمي جامعة ورقلة 2016.

[5]- طيباوي الطاوس ،أكشيش رميصاء،التخزين الحراري الكيميائي بواسطة المركزات الشمسية 2019.

[6]- تكنولوجيا الطاقة البديلة تأليف د .سعود يوسف عياش -المجلس الوطني للثقافة والعلوم الكويت 1990م

[7] -العاتي مختار، المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية، مذكرة ماجستير جامعة. ورقلة 2011

[8] -الطاقة الشمسية واستخداماتها – محمد أحمد سيد خليل – دار الكتب العلمية للنشر وتوزيع القاهرة.

[9]- كتاب هندسة الأغذية بالطاقة الشمسية أسعد رحمان سعيد الحلفي – مكتبة الزهراء البصرة 2010

[11] -سوداني محمد البار، دراسة نظرية لمجمع شمسي أسطواني مقعر ذي غطاء زجاجي، مذكرة ماجستير جامعة ورقلة 2009

[12] -سوداني محمد البار، تحقيق عملي لمركز شمسي أسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي، رسالة مقدمة لنيل درجة الدكتوراه في العلوم جامعة ورقلة 2018

[13] - حقيبة الخلايا الشمسية – المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم - تونس- 2000 م

[14] - د. سعود يوسف عياش، تكنولوجيا الطاقة البديلة، عالم المعرفة، الكويت فبراير 1981

[17] -م. محمود العجمي، المركزات الشمسية، العلوم التقنية، ربيع الثاني 1412 ه. العدد 34

[18] - سعود فتيحة - شارف عفاف .انتاج اليزر بالطاقة الشمسية بواسطة المركزات الشمسية

[20]- جرين بيس، سولاربيسيس و استلا، مستقبل التكنولوجيا تركيز الطاقة الشمسية في العالم 2009

[24]- د.سيد محمود حسين ،د.محمد الصالح سميعي ،تخزين الطاقة الشمسية .ربيع الثاني 1416ه .العدد34.

[26]- بالعيد فريحة وبن عزوز الزهرة تحت عنوان دراسة مقارنة بين انظمة تخزين الطاقة الحرارية مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستراكاديمي من جامعة قاصدي مرباح ورقلة تخصص فيزياء طاقوية2017

[27]- فراح هاجر ،ميهوبي خولة ،المركزات الشمسية وانظمة تخزين الطاقة الحرارية ، ماستر اكاديمي2018

[3]- -Kreith F ،Kreider JF. Principles of solar engineering. New York: McGraw-Hill; 1978.

[4] -M. Romero ،D. Martìnez ،and E. Zarza،"Terrestrial solar thermal power plants: on the verge of commercialization،" in Proceedings of the 4th international conference on solar power from space ،2004

[10]-HELITHERMIQUO le gisement solaire méthodes et calculs – pierre Henri COMMUN

[15]-Said Mehellou , Ferhat Rehouma, Noureddine Hamrouni, Leila Bouras ,"Thermalloadingeffects onNd : YAGsolar -laser performance in end-pumpingand side-pumping configurations:areview,"Opt.Eng.57(12), 120902 (2018), doi: 10.1117/1.OE.57.12.120902.

[16]-https://elbalad.news/3739049

[19] -https ://fath-news.com/

[21]-www.solarpaces.org/wp-content/uploads/csp2009_arabic.pdf,16-11-2018

[22]-https://www.arabsolarenergy.com/

[23]-I.Roldán, Concentrating Solar Thermal Technologies Analysis and Optimisation by CFD Modelling, ISSN 1865-352, Springer International Publishing Switzerland 2017

[25]-Mahfoudi Nadjiba," Stockage de la chaleur dans un milieu granuleux solide,", Thèse Pour l'obtention du diplôme de Doctorat,2016.

[28]-Stanford Univasity Global Climat end Energy Project-An Assesment of SolarEnergy Conversion Technologies Research Opportunltles –summer 2006

[29]-I. Dincer and M. Rosen, "Thermal energy storage: systems and applications,",2nded John Wiley & Sons, 2011, pp. 84-141.

[30]-Amina Akrouche," Etude du stockage et déstockage d'énergie dans un matériau à changement de phase,", Mémoire Pour l'obtention du diplôme de Magister,2011.

[31]-Ali Abou Hassan," Modélisation et caractérisation de modules de stockage de chaleur comprenant des matériaux à changement de phase,",Rapport de stage Master Recherche,2012

[32]- Pierre Pardo, » Développement d'un procède de stockage d'énergie thermique haute température par thermochimique, », Thèse Pour obtenir le grade de Docteur,2013.

[33]- Maha AHMAD, "Couplage matériaux à changement de phase, supe isolation, apports solaire,".

[34] – Ghedamsi Rébha," Elaboration d'un matériau de construction en vue del'isolation thermique des bâtiments,", Mémoire Pour l’obtention du diplôme de Magister,2013.

[35] -Adèle Soupart-Caron," Stockage de chaleur dans les Matériaux à Changement de Phase,", Thèse Pour obtenir le grade de Docteur,2015

**ملخص:**

قمنا بدراسة التخزين الحراري في المواد متغيرة الطور بواسطة الإشعاع الشمسي في مدينة ورقلة خلال أيام مختلف الفصول والساقط على سطح المركِّزات الشمسية التي تُركز أشعة الشمس في مساح معينة، ومن خلال برنامج المحاكاة العددية لمعادلات تقدير شدة تدفق الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح مدينة ورقلة في أي يوم من أيام السنة(365 ....Nj=1 ) من لحظة شروق الشمس إلى غاية غروبها، وهذا اعتماداً على معطيات جغرافية وفلكية وجوية للمكان والزمان المحددين، ويتم تركيز الإشعاع المباشر بواسطة مختلف أنظمة التركيز الشمسي، وقمنا بحساب كمية الحرارة المجمعة بواسطة المركز خلال اليوم من اجل ابعاد مختلفة للمركز حيث نستطيع تقدير الطاقة الفائضة التي نقوم بتخزينها على شكل تغير طوري لتسترجع عند غياب الشمس.

**الكلمات المفتاحية**: الإشعاع الشمسي_ الزوايا الشمسية_ المركزات الشمسية_التخزين الحراري – مواد متغير الطورPCM.

**Résumé:**

Nous avons étudié le stockage thermique dans des matériaux à fluctuation de phase par rayonnement solaire dans la ville de Ouargla à différents jours de la saison et nous sommes tombés à la surface des concentrés solaires focalisant le soleil dans une zone donnée. (Nj=1 .... 365) à partir du lever du soleil jusqu'au coucher du soleil, en fonction des données géographiques, astronomiques et atmosphériques du lieu et de l'heure spécifiques. Le rayonnement direct est concentré par divers systèmes concentriques solaires Et nous avons calculé la quantité de chaleur collectée par le centre pendant la journée pour différentes dimensions du centre où nous pouvons estimer le surplus d'énergie que nous stockons sous la forme d'un changement de phase à récupérer lorsque le soleil est parti

**Mots-clés** :rayonnement solaire - angles solaires - centres solaires - stockage -thermique PCM

**Summary:**

We studied thermal storage in phase fluctuating materials by solar radiation in the city of Ouargla on different days of the season and we fell to the surface of solar concentrates focusing the sun in a given area. (Nj = 1 .... 365) from sunrise to sunset, depending on geographic, astronomical and atmospheric data of the specific location and time. Direct radiation is concentrated by various solar concentric systems And we calculated the amount of heat collected by the center during the day for different dimensions of the center where we can estimate the excess energy we store in the form of a phase change to be recovered when the sun is gone

Keywords: solar radiation - solar angles - solar centers - thermal storage -PCM