

# جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة

مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

تخصص: فيزياء طاقوية

من إعداد الطالبتين : طيباوي الطاوس وأكشيش رميماء

بعنوان :

## التخزين الحراري الكيميائي بواسطة المركبات الشمسية

نوقشت علنا يوم: 24 / 06 / 2019 تحت إشراف اللجنة :

رئيسا	جامعة قاصدي مرباح - ورقلة	أ. محاضر - أ.	بوعنان رابح
ممتحنا	جامعة قاصدي مرباح - ورقلة	أ. مساعد - أ.	تخة محمد
مشرفا	جامعة قاصدي مرباح - ورقلة	أ. محاضر - ب.	سوداني محمد البار
مساعد	جامعة قاصدي مرباح - ورقلة	أ. مساعد - أ.	بن منين عبد القادر

السنة الجامعية: 2018 / 2019

## الإهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات حمداً كثيراً  
طيباً مباركاً فيه كما ينبغي لجلال وجهه وعظيم سلطانه  
وكما يليق بعظيم نعمه علينا.

الحمد لله الذي هدانا إلى طريق العلم والمعرفة، ووفقنا لإنجاز هذه  
المذكّرة وإتمام هذا البحث العلمي المتواضع والذي أهديه:

\* إلى من يشتهي اللسان نطقها وترفّ العين لوحشتها إلى من تخشع  
الأحاسيس لذكرها، ويرتجف كبدي كلما ابتعدت عنها، إلى من يحن  
القلب لتقبيلها وتشتاق الأذن لسماع دعواتها. { **أمي الغالية** }

\* إلى من علّمني أبجدية الحياة وسقاني كأسها حلّوها ومُرّها إلى من ناضل  
لأجلي لأرتاح وهياً لي أسباب النّجاح، إلى من أتمنى أن أعمل لأكون له ثمرةً طيبةً  
الجهدِ وصموداً وتضحيات لعمره. { **أبي الغالي** }

\* إلى من هم أنس عمري ومخزن ذكرياتي ومصدر استمرارتي. { **أخواتي الأعزاء** }

\* إلى من ضحى كثيراً لأجلي لأكمل تعليمي. { **م. إسلام الدين** }

\* إلى من رافقت دربي و أنست وحدتي إلى من تحملت معي عناء  
هذا الجهد وشقاءه. { **الطاوس** }

\* إلى من تحلّوا بالإخاء وتميّزوا بالوفاء والعطاء

إلى ينباع الصدق الصافي إلى من سعدت برفقتهم  
في دروب الحياة الحلوة والحزينة، إلى كل من كانوا  
معى على طريق النّجاح، إلى من تمنى لي الخير  
وشجّعني ولو بكلمة طيبة، إلى من عرفتُ كيف  
أجدهم وعلموني أن لا أضيعهم. { **أحبتني في الله** }

أكشيش رميمصاء

## الإهداء

أهدي ثمرة جهدي وخلاصة عملي :

\*إلى **روح الوالد الطاهرة** , تغمده الله بواسع رحمته

وأسكنه الفردوس الأعلى مع النبيين والصديقين والشهداء

والصالحين وأحسن تربيتنا وتأديبنا وتعليمنا اللهم جازه عني خير

ما جازيت والدا عن ولده .

\*إلى أعز ما أملك في الوجود إلى من سهرت على تربيتي وكانت سر

وجودي والتي مهما فعلت وقلت لم أوفها "**أمي الغالية**" والحنونة حفظها

الله وأطال الله في عمرها.

\*إلى كل أفراد العائلة والأقارب كبيرا وصغيرا .

\*إلى من تذوقت معها أجمل اللحظات إلى صديقة عمري "**رميصاء**".

\*إلى الطاهر الذي ساندني في إنجاز هذا العمل جزاه الله عني كل الخير وأدامه

ذخرا وعونا لي .

\*إلى كل صديقاتي التي فارقنا العين ولم يفارقنا الوجدان كل واحدة باسمها

ورسمها .

\*إلى كل أساتذتي الكرام الذين لهم الفضل في وصولنا إلى ما نحن عليه .

\*إلى كل طلبة ماستر فيزياء طاقوية دفعة 2018/2019 .

وفي الأخير أتوجه بجزيل الشكر والإمتنان

إلى كل من ساعدني من قريب أو من بعيد على

إنجاز هذا العمل المتواضع.

**طيباوي الطاوس**

شكر و عرفان

# شكر و عرفان

بسم الله الرَّحْمَانِ الرَّحِيمِ

"...وَقَالُوا الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي هَدَانَا لِهَذَا وَمَا كُنَّا لِنَهْتَدِيَ لَوْلَا أَنْ هَدَانَا اللَّهُ... "

صدق الله العظيم

سورة الأعراف . الآية 43

تكاد شموع الشكر تحترق خجلاً لتضيء كلمات عجز اللسان والقلم عنها ...  
فمع وضع اللمسات الأخيرة لعملنا اغتنمنا الفرصة لتوجه إليكم بهذه السطور  
التي تحمل في ثناياها لكم أسمى عبارات الشكر والتقدير.

\*نشكر أستاذنا الفاضل "د.سوداني محمد البار" على وقته الثمين الذي قدمه لنا  
على جهوده التي بذلتها لتوجيهنا على كل ما أعطى لنا فهو لم يبخل علينا، نشكره لقبوله  
الإشراف على عملنا، وعلى كل قطرة صبهها من جبينه الطاهر في سبيل تعليمنا.  
كما نود أن نشكر الأستاذ الفاضل "بن منين عبد القادر" على مساعدته في الإشراف  
على هذا العمل، فله منا أسمى عبارات الشكر والتقدير.

\*شكرًا للأساتذة الكرام "بوعنان رايح" و "تحة محمد"

على قبولهم دعوة المناقشة.

\*شكرًا لكل "أساتذة الدفعة" على نصحتهم وإرشادهم لنا في مشوارنا

الدراسي زادها الله في ميزان حسناتهم .

\*شكرًا لكل من زال غيمة جهلٍ مررنا بها، شكرًا

لمن ساهم في إتمام هذا العمل منقريب أو بعيد.

لكم جميعًا شكر، شكرًا ثم شكرًا.

رميصاء و الطاوس

# قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع
	الإهداء
	شكر و عرفان
	الملخص
	قائمة المحتويات
	قائمة الجداول
	قائمة الأشكال
	قائمة الرموز والاختصارات
1	مقدمة عامة
	<b>الفصل الأول: عموميــــــــــــــــات حول الطاقة الشمسية</b>
4	مقدمة
4	I-1- مصدر الطاقة الشمسية
4	I-2- مميزات الطاقة الشمسية
5	I-3- الإستطاعة الشمسية المستقبلية من طرف الأرض
5	I-3-1- المسافة أرض شمس
7	I-3-2- الثابت الشمسي
8	I-3-3- طيف الإشعاع الشمسي
9	I-4-3- العوامل المؤثرة في شدة الإشعاع الشمسي
10	I-4- تحويلات الطاقة الشمسية
10	I-5- استخدامات الطاقة الشمسية
11	I-6- الزوايا الشمسية
11	I-6-1- زاوية ميل الشمس $\delta$
13	I-6-2- زاوية الارتفاع الشمسي h
13	I-6-3- زاوية سمت الشمسي a
14	I-6-4- زاوية سمت الرأس Z
14	I-6-5- زاوية دائرة العرض $\varphi$
14	I-6-6- زاوية خط الطول L

15	I-6-7- زاوية الساعة الشمسية $w$
16	I-7- التوقيت الشمسي Tvs والمحلي TL
17	I-8- تحديد توقيت شروق وغروب الشمس
18	I-9- تدفق الإشعاع الشمسي على مستوى سطح الأرض
19	I-10- الكتلة الهوائية الضوئية
20	I-11- الإشعاع الشمسي على سطح الأرض
20	I-11-1- الإشعاع الشمسي المباشر
21	I-11-2- الإشعاع الشمسي المنتشر
21	I-11-3- الإشعاع الشمسي الكلي
22	I-12- أنماط المجمعات الشمسية من حيث التوجيه
23	I-13- زاوية سقوط الشمس $\theta$
23	I-14- عيوب الطاقة الشمسية
24	خاتمة
<b>الفصل الثاني: عموميات حول المركّزات الشمسية</b>	
25	مقدمة
25	II-1- المركّزات الشمسية
26	II-2- مكونات المركز الشمسي
26	II-3- آلية عمل المركز الشمسي
27	II-4- التركيز الشمسي
29	II-4-1- نسبة التركيز الخطي
29	II-4-2- نسبة التركيز النقطي
29	II-5- أنواع المركّزات الشمسية
29	II-5-1- مركّزات القطع الناقص Parabolic Trough Concentrators (PTC)
31	II-5-2- مركّزات البرج القوي Power Tower Concentrators
32	II-5-3- مركّزات الأطباق Dish Concentrators
34	II-5-4- عاكس فرينيل الخطي Linear Fresnel Reflector
3	II-6- المقارنة بين مختلف أنظمة التركيز الشمسي
36	II-7- المرودود



37	II-7-1 - المرود الضوئي
37	II-7-2- المرود الحراري
38	II-8- مكونات محطات المركبات الشمسية
39	II-9- المشهد الراهن لسوق المركبات الشمسية
41	II-10- معوقات انتشار محطات الطاقة الشمسية
41	خاتمة
<b>الفصل الثالث : التخزين الحراري الكيميائي للطاقة الشمسية</b>	
42	مقدمة
42	III-1- طرق تخزين الطاقة الشمسية
43	III-2- معايير إختيار وتصنيف أنظمة التخزين الحراري
44	III-3- التخزين الحراري
45	III-3-1- تخزين الحرارة المحسوسة
46	III-3-1-1- التخزين بالسوائل
47	III-3-1-2- التخزين بالمواد الصلبة
48	III-3-1-3- التخزين بالبرك الشمسية
49	III-3-2- التخزين الحراري الكامن
52	III-4- مقارنة بين أنظمة التخزين الحراري
52	III-4-1- من حيث كثافة الطاقة ، درجة حرارة وزمن التخزين
53	III-5- التخزين الكيميائي
53	III-5-1- التخزين الكيميائي-الوقودي
54	III-5-2- التخزين الحراروكيميائي
55	III-5-2-1- مراحل تخزين الطاقة الحرارية الكيميائية
56	III-5-2-1-1- الشحن
56	III-5-2-1-2- التخزين
57	III-5-2-1-3- التفريغ
58	III-6- الخصائص الحرارية لأكثر التفاعلات استعمالا في التخزين الحراري كيميائي
59	III-6-1- تفاعل هيدريدات المعادن

60	III-6-2- تفاعل الكربونات
61	III-6-3- تفاعل الهيدروكسيدات
62	III-7- مردود التخزين الحراري الكيميائي
63	III-8- ملخص للميزات الإيجابية لكل نظام والتطبيقات الأكثر مناسبة لإستخدامها
63	خاتمة
<b>الفصل الرابع: المحاكاة العددية</b>	
64	مقدمة
64	IV-1- مخطط العمل
66	IV-2- تحليل النتائج
66	IV-2-1- شدة الاشعاع الشمسي المباشر ( $I_b$ )
67	IV-2-2- شدة تركيز الإشعاع الشمسي المباشر (G)
67	IV-2-2-1- نظام التركيز (PTC)
70	IV-2-2-2- نظام التركيز (Dish)
72	IV-3-2- التخزين الحراري الكيميائي
72	IV-3-2-1- تفاعل هيدريد المغنيزيوم
74	IV-3-2-2- تفاعل كربونات الكالسيوم
75	IV-3-3-2- تفاعل هيدروكسيد المغنيزيوم
76	IV-4-3-2- تفاعل الامونياك
76	IV-4-3-2-1- أثناء الشحن
77	IV-4-3-2-2- أثناء التفريغ
78	خاتمة
79	خاتمة عامة
	المراجع والمصادر

# قائمة الجداول

## قائمة الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
21	قيم معامل الإضطراب وإرتفاع الماء المكثف	1-1
40	محطات مركزات شمسية مازالت تحت الإنشاء حتى سبتمبر 2009	1-2
52	مقارنة خصائص التخزين الحراري المحسوس والكامن	1-3
52	بعض الخصائص الحرارية لأنظمة التخزين الحراري	2-3
57	المواد المستخدمة لتخزين الطاقة الحرارية الكيميائية	3-3
58	الخصائص الحرارية لأكثر التفاعلات استعمالاً في التخزين الحراري وكيميائي	4-3
63	مقارنة بين إيجابيات أنظمة التخزين الحراري وتطبيقاتها المناسبة	5-3
77	الطاقة المخزنة الناتجة عن الكتلة المتحولة لبعض التفاعلات الكيميائية	1-4
78	مردود الطاقة المخزنة من تفاعل الأمونياك	2-4

# قائمة الأشكال

## قائمة الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
6	تغيرات المسافة [ أرض – شمس ] خلال السنة بوحدة UA	1-1
6	المسافة بين الأرض والشمس (بالمتر والميل) وقطر كل منهما	2-1
7	الثابت الشمسي $E_0$ خلال السنة	3-1
8	توزيع طيف الإشعاع الشمسي	4-1
9	تأثير الغلاف الجوي على شدة الإشعاع الشمسي بأطيافه	5-1
10	مخطط يوضح تحويلات الطاقة الشمسية	6-1
12	زاوية ميل الشمس $\delta$	7-1
12	تغيرات زاوية ميل الشمس $\delta$ خلال أيام السنة	8-1
13	تغيرات زاوية ميل الشمس خلال الفصول	9-1
14	الزوايا الشمسية ( $h, a, z$ )	10-1
15	زوايا تحديد الموقع (زاوية خط العرض $\phi$ وزاوية خط الطول L)	11-1
16	زاوية الساعة الشمسية ودائرة العرض للمنطقة	12-1
17	بيان تغيرات التصحيح الزمني خلال أيام السنة	13-1
18	أنواع الإشعاع الشمسي	14-1
19	توزيع الإشعاع الشمسي في الغلاف الجوي وعلى سطح الأرض	15-1
20	إختراق أشعة الشمس للغلاف الجوي	16-1
22	مخطط يوضح وصول الإشعاع الشمسي إلى سطح الأرض	17-1
27	بعض الأشكال و المقاطع الهندسية لأنواع المركبات الشمسية و مسار الأشعة الواردة والمنعكسة	1-2
28	المبدأ الرئيسي للتركيز الشمسي	2-2
30	تقنية القطع الناقص	3-2
30	صورة لمحطة تعتمد على تقنية القطع الناقص	4-2

31	تقنية البرج القوي	5-2
32	صورة لمحطة شمسية تعتمد على تقنية البرج القوي	6-2
33	تقنية الأطباق	7-2
33	صورة لمحطة شمسية تعتمد على تقنية الأطباق	8-2
34	تقنية عاكس فرينل الخطي	9-2
35	صورة لعاكس فرينل الخطي	10-2
36	التركيز الهندسي ودرجة حرارة اشتعال مختلف المركبات الشمسية	11-2
38	رسم تخطيطي مبسط لمحطة قوي بخارية	12-2
39	مثال نموذجي لمحطة توليد كهربائية باستخدام نظام التركيز البرجية	13-2
41	تكنولوجيا المركبات الشمسية المختلفة بحلول عام 2012 إجمالي القدرات المركبة 11.000 ميغا وات	14-2
42	الطرق المختلفة لتخزين الطاقة الشمسية	1-3
43	معايير إختيار نظام التخزين الحراري	2-3
44	مخطط تصنيف معايير أنظمة تخزين الطاقة الحرارية	3-3
45	مخطط يوضح تقنيات تخزين الطاقة الحرارية الثلاث	4-3
47	نظام تسخين المياه والتدفئة بالطاقة الشمسية	5-3
47	مقطع لوحدة تخزين بطريقة الطبقات الحصوية	6-3
48	مخطط لمحطة إنتاج الكهرباء بالبرك الشمسية	7-3
50	منحنى يوضح الخطوات المختلفة خلال تخزين الحرارة الكامنة (الصلبة/السائلة )	8-3
51	مقطع لجهاز وحدة تخزين الحرارة الكامنة (الحرارة المستترة)	9-3
55	مخطط يوضح مبدأ التخزين الحراري وكيميائي	10-3
55	تصنيف التفاعلات المعمول بها	11-3
56	العمليات المشاركة في دورة تخزين الطاقة الحرارية الكيميائية : الشحن والتخزين والتفريغ	12-3
59	تغيرات توازن التفاعل العكسي لهيدريد المغنيزيوم	13-3
60	تغيرات توازن التفاعل العكسي لكربونات الكالسيوم	14-3

61	تغيرات توازن التفاعل العكسي للهيدروكسيدات	15-3
65	رسم تخطيطي للبرنامج	1-4
66	شدة الاشعاع الشمسي المباشر لمدينة ورقلة خلال ايام من السنة بدلالة الزمن	2-4
68	شدة تركيز الاشعاع الشمسي المباشر في الاعتدال الربيعي 21 مارس	3-4
68	شدة تركيز الاشعاع الشمسي المباشر في الاعتدال الخريفي 23 سبتمبر	4-4
69	شدة تركيز الاشعاع الشمسي المباشر في الانقلاب الصيفي 22 جوان	5-4
69	شدة تركيز الاشعاع الشمسي المباشر في الانقلاب الشتوي 22 ديسمبر	6-4
70	شدة تركيز الاشعاع الشمسي المباشر في الاعتدال الربيعي 21 مارس	7-4
70	شدة تركيز الاشعاع الشمسي المباشر في الاعتدال الخريفي 23 سبتمبر	8-4
71	شدة تركيز الاشعاع الشمسي المباشر في الانقلاب الصيفي 22 جوان	9-4
71	شدة تركيز الاشعاع الشمسي المباشر في الانقلاب الشتوي 22 ديسمبر	10-4
73	منحنى تغيرات تدفق الكتلة المتحولة من هيدريد المغنيزيوم خلال اليوم	11-4
74	منحنى تغيرات تدفق الكتلة المتحولة من كربونات الكالسيوم خلال اليوم	12-4
75	منحنى تغيرات تدفق الكتلة المتحولة من هيدروكسيد المغنيزيوم خلال اليوم	13-4
76	منحنى تغيرات تدفق الكتلة المتحولة من الأمونياك خلال اليوم	14-4



# قائمة الرموز والإختصارات

## قائمة الرموز

الرمز	المقدار الفيزيائي	الوحدة في النظام الدولي
A	المساحة	m <sup>2</sup>
AM	الكتلة الهوائية الضوئية	/
a	زاوية السميت الرأسية	°
Cr	التركيز الهندسي للمركز الشمسي	/
C <sub>p</sub>	السعة الحرارية	$\frac{J}{K \cdot kg}$
D <sub>T,S</sub>	المسافة بين الأرض والشمس	UA
E	كمية الطاقة	J
E <sub>0</sub>	القيمة المتوسطة للثابت الشمسي	W/m <sup>2</sup>
E <sub>t</sub>	معادلة التصحيح الزمني	min
E <sub>char</sub>	كمية الطاقة المخزنة أثناء الشحن	KJ
E <sub>Dchar</sub>	كمية الطاقة المسترجعة أثناء التفريغ	KJ
F	البعد البؤري	m
G	شدة تركيز الإشعاع الشمسي المباشر	W/m <sup>2</sup>
G <sub>T</sub>	شدة الإشعاع الشمسي الكلي	W/m <sup>2</sup>
H	زاوية الإرتفاع الشمسي	°
I <sub>b</sub>	شدة الإشعاع الشمسي المباشر	W/m <sup>2</sup>
I <sub>d</sub>	شدة الإشعاع الشمسي المنتشر	W/m <sup>2</sup>
L	زاوية خط الطول للمنطقة	°
M	كتلة المادة المتفاعلة	Kg
m'	التدفق الكتلي	Kg/s
N <sub>j</sub>	رقم اليوم من السنة	/
n <sub>A</sub>	عدد المولات	mol
Pr	شدة الإشعاع الواصل إلى السطح الماص	W/m <sup>2</sup>
Pu	شدة التدفق الحراري المفيد	W/m <sup>2</sup>
Q	كمية الحرارة	J

m	القطر	R
°C	درجة الحرارة	T
/	معامل الإضطراب للغلاف الجوي	Tl
h	التوقيت المحلي	TL
h	التوقيت الشمسي الحقيقي	TVS
°	زاوية الساعة الشمسية	W
°	زاوية سمت الرأس	Z
/	معامل الإمتصاص	$\alpha$
°	زاوية ميلان المجمع عن الأفق	$\beta$
°	زاوية الميل الشمسي	$\delta$
W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup>	ثابت ستيفان بولتزمان	$\sigma$
°	زاوية دائرة العرض للمنطقة	$\varphi$
KWh/m <sup>2</sup>	شدة تدفق الطاقة الشمسية	$\phi$
/	معامل الانعكاس	$\rho^\circ$
°	زاوية سقوط الشمس	$\Theta$
/	معامل النفاذية	$\tau$
/	معامل الإعتراض	$\gamma$
J/mol	أنتالبي التفاعل	$\Delta H_n$
/	المردود	$\eta$
/	المردود الحراري	$\eta_{thermique}$
/	المردود الضوئي	$\eta_{optique}$
/	مردود التخزين الحراري كيميائي	$\eta_{char}$

## قائمة الإختصارات

المعنى بالانجليزية	المعنى بالعربية	الاختصار
Absorber Surface	السطح الماص	AS
Absorber Tube	أنبوب ماص	AT
Conical Concentrator	المركز المخروطي	CC
Compound Curvature Concentrators	مركزات الأطباق المنحنية	CCC
Concentration Ratio	نسبة التركيز	Cr
Central Receiver	المستقبل المركزي	CR
Concentrating Solar Power	مركزات الطاقة الشمسية	CSP
Dish Concentrators	مركزات الأطباق	DC
Energie Thermique	الطاقة الحرارية	ET
Infrared	تحت الحمراء	IR
Linear Fresnel Reflector	عاكس فرينل الخطي	LFR
Latent Heat Storage	التخزين الحراري الكامن	LHS
Visible light	الضوء المرئي	LV
Parabolic Trough Concentrators	مركزات القطع الناقص	PTC
Réacteur Endothermique	مفاعل ماص للحرارة	REn
Réacteur Exothermique	مفاعل ناشر للحرارة	REx

Reflecting Surfaces	أسطح عاكسة	RS
Solar Field Piping	أنابيب الحقول الشمسية	SFP
Secondary Reflector	عاكس ثانوي	SR
Trackinking Systems	نظم التتبع	TS
Ultraviolet	فوق البنفسجي	UV

# المقدمة العامة

## مقدمة عامة:

مع التضاعف المفرط في الطلب على الطاقة منذ ما بعد الثورة الصناعية، حيث يستهلك العالم اليوم 76 مليون برميل من النفط يوميا ومن المتوقع أن يرتفع هذا الرقم إلى 123 مليون برميل يوميا بحلول 2025 [1]. والطاقة المتجددة عبارة عن مصادر غير ناضبة ومتوفرة في الطبيعة ومتجددة باستمرار، وهي نظيفة لا ينتج عن استخدامها تلوث بيئي نسبيا ومن أهم هذه المصادر الطاقة الشمسية التي تعتبر المصدر الأساسي والرئيسي الذي يمد كوكب الأرض بالطاقة، كما تعتبر المصدر الواسع الانتشار في مختلف أنحاء العالم حيث أن الطاقة التي يمكن الحصول عليها من أشعة الشمس لمدة 105 دقيقة تكفي (إحتياجات وإستهلاك العالم لمدة عام) [2].

وتعود معظم مصادر الطاقة المتجددة المتوفرة على سطح الأرض إلى الإشعاع الشمسي فجميعها 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... إلخ.

الشمس آية من آيات الله في الكون، ولأهميتها في الحياة تكرر ذكرها في 33 موضعا من القرآن سخرها المولى لتحقيق الحياة لكل الكائنات على وجه الأرض، فمنها يستمدون الطاقة اللازمة لحياتهم، ويحدث تعاقب الليل والنهار، ولذلك أمتن الله بها على عباده في قوله تعالى:

﴿ وَسَخَّرَ لَكُمُ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ دَائِبَيْنِ وَسَخَّرَ لَكُمُ اللَّيْلَ وَالنَّهَارَ \* وَأَتَاكُم مِّنْ كُلِّ مَآ سَأَلْتُمُوهُ وَإِن تَعُدُّوا

نِعْمَةَ اللَّهِ لَا تُحْصُوهَا إِنَّ الْإِنْسَانَ لَظَلُومٌ كَفَّارٌ ﴾ [إبراهيم: 33 - 34]

كما قال تعالى :

﴿ تَبَارَكَ الَّذِي جَعَلَ فِي السَّمَاءِ بُرُوجًا وَجَعَلَ فِيهَا سِرَاجًا وَقَمَرًا مُنِيرًا ﴾ [الفرقان: 61]

إستغل الإنسان طاقة الشمس بشكل مباشر منذ القدم في حياته البسيطة في التدفئة والحصول على النار ولتجفيف الأغذية النباتية والحيوانية، ثم تطور هذا الإستغلال إلى إستحداث آليات لتجميع الطاقة الشمسية والإستفادة منها في مجالات مختلفة، وإستمر التطوير من خلال رفع كفاءة المجمعات الشمسية بزيادة فعالية إمتصاص الإشعاع الشمسي على شكل حرارة من جهة وزيادة العزل الحراري من جهة أخرى، ثم تطور إستغلال الطاقة الشمسية إلى إنتاج الكهرباء، حيث يتم إنتاج هذه الأخيرة بالتحويل

الكهروضوئي أو الحراري بواسطة محطات الطاقة الشمسية المركزة (CSP)، ويعتبر التحويل الحراري هو الأقل كلفة والأكثر مردودا والأطول عمرا [1].

نظرا لإنخفاض موارد الطاقة الأحفورية وزيادة إنبعاثات الغازات المسببة للتلوث مما أدى إلى تغير المناخ، بسبب الإحتباس الحراري. إذا أصبح من الضروري إيجاد حلول وبدائل من شأنها أن تضمن وفرة مستمرة للطاقة التي نحتاجها من جهة مع المحافظة على سلامة البيئة من جهة أخرى.

ونظرا لغياب الشمس و بذلك محدودية مدة التشميس خلال الليل أو الغيوم و السحب و الغبار فإنه تصبح الحاجة ماسة لتخزين الطاقة في أوقات الذروة لإعادة إسترجاعها خارج مدة التشميس.

ومن بين هذه الحلول إعتقاد أنظمة لتخزين الطاقة في شتى أشكالها، فالتخزين يهتم بالدرجة الأولى بالموارد الطاقوية أو بسهولة الوصول إليها فهو يوازن الإنتاج مع الإستهلاك كما أنه يحد من ضياع الطاقة، ويعتبر مهم حتى في حالة الطاقات المتجددة فالحاجة للتخزين هي إستجابة لإعتبارات إقتصادية 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 إهتماما كبيرا من طرف خبراء الطاقة والتخزين. وإنطلاقا من هذه الأهمية جاء إختيارنا لموضوع بحثنا هذا وهو التخزين الحراري الكيميائي إنطلاقا من تركيز الأشعة الشمسية المباشرة بواسطة المركزات الشمسية، والذي يعتبر حلا مهما فيما يخص تثمين الطاقة الشمسية وتطبيقاتها الحرارية والصناعية.

ولأهمية هذا الموضوع حاولنا في بحثنا هذا إجراء دراسة نظرية تضمنت أربعة فصول: خصصنا الفصل الأول للإشعاع الشمسي والعوامل المؤثرة فيه، حيث تطرقنا إلى مختلف الزوايا الشمسية وطرق التتبع الشمسي، وكذا معادلات تقدير شدة الإشعاع الذي يصل سطح الارض.

ثم خصصنا الفصل الثاني للتعرف على مختلف المركزات الشمسية ( خصائصها، أنواعها، تطبيقاتها) والمقارنة بينهما من حيث التركيز الهندسي وآلية عملها، والمردود الحراري والضوئي.

وفي الفصل الثالث قدمنا دراسة شاملة للتخزين الحراري (خصائصه، أنواعه، تطبيقاته)، وركزنا في هذه الدراسة بصفة عامة عن التخزين الحراري الكيميائي (مراحله، خصائصه، تطبيقاته، مردوده).



وفي 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 ثم كمية الحرارة الممتصة أثناء التخزين وكمية الحرارة المسترجعة عند غياب الشمس ومن ثم مردود عملية التخزين الحراري الكيميائي.

## الفصل الأول :

عموميات حول الطاقة الشمسية



مقدمة:

يبحث الإنسان دوماً عن مصادر جديدة للطاقة لتغطية إحتياجاته المتزايدة في تطبيقات الحياة المتطورة التي يعيشها، ونظراً لتكلفة إستغلالها المرتفعة والتأثير السلبي لإستخدامها على البيئة، وأدرك حالياً الخطر الكبير الذي يسببه إستخدام مصادر أحفورية (خاصة الشائع منها النفط والغاز الطبيعي) في تلوث البيئة وتدميرها، مما جعل الطاقة الشمسية الخيار الأمثل والأفضل على الإطلاق حيث تمكن الإنسان في العصر الحديث من الإستفادة من الطاقة الشمسية بطرق عديدة.

وسنتناول في هذا الفصل تقدير شدة الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض وتغيراته حسب الزمان والمكان، كما نتناول مختلف الزوايا الشمسية وأنواع الإشعاع الشمسي وتطبيقاتها.

**I-1- مصدر الطاقة الشمسية:**

تعتبر الشمس نجم كروي ملتهب يتكون من غازات أهمها الهيدروجين والهليوم، يبلغ قطره 1391000km تتراوح درجة حرارة مركزها  $10^6 \times (40 \rightarrow 8)$  كلفن وتبلغ درجة حرارة سطحها 5000 كلفن. وهي مصدر الطاقة اللازمة للحياة على الأرض وتستمد طاقتها من تفاعل الاندماج النووي الحراري لأنوية الهيدروجين لتشكل أنوية الهليوم حيث يتحول 564.106 مليون طن من الهيدروجين إلى 560.106 مليون طن من الهليوم في الثانية الواحدة بنقص في الكتلة قدره 4 مليون طن في الثانية وينتج عنه طاقة  $E = \Delta m * c^2$ .

والذي يوافق تدفق للطاقة الشمسية شدته  $\Phi = 361022 \text{ KWh/m}^2$  يخترق الغلاف الجوي الأرضي ليصل إلى سطح الأرض متأثراً بسمك الغلاف الجوي ومكوناته بسبب حدوث عمليات ضوئية (نفاذ، امتصاص، انعكاس، تشتت) [3].

**I-2- مميزات الطاقة الشمسية:**

ومن أهم المصادر المتجددة للطاقة والتي يمكن إستغلالها 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 إستخدامها ثاني أكسيد الكربون).
- 3- التكنولوجيا المستخدمة فيها غير معقدة ويمكن تصنيعها محلياً.
- 4- إنها هبة من الله ولا تكلف شيئاً عدا أجهزة التجميع [4].

3-I- الإستطاعة الشمسية المستقبلية من طرف الأرض:

تعتبر الشمس كجسم أسود نصف قطره (  $r=R_s$  ) ودرجة حرارته (  $T=T_s$  )، تشع استطاعة في وحدة السطح في وحدة الزمن تعطى بقانون Stephan Boltzmann [3]:

$$W_s = \sigma T_s^4 \quad (1-1)$$

حيث  $\sigma$  يمثل ثابت ستيفان بولتزمان:  $\sigma = 5.67 * 10^{-8} W/m^2 K^4$

ومنه فإن الاستطاعة الكلية المنبعثة من سطح الشمس في الثانية الواحدة  $P_s$ : [3]

$$P_s = W_s (4\pi R_s^2) = \sigma T_s^4 4\pi R_s^2 \quad (2-1)$$

يستقبل سطح مساحته  $1m^2$  مثبت على الأرض بحيث يكون عمودي على أشعة الشمس وبإهمال تأثيرات الغلاف الجوي إستطاعة شمسية  $W_T$  تعطى بالعلاقة [3]:

$$W_T = \frac{\sigma T_s^4 4\pi R_s^2}{4\pi D_{TS}^2} = \frac{\sigma T_s^4 R_s^2}{D_{TS}^2} \quad (3-1)$$

عندما تكون المسافة بين الأرض والشمس في قيمتها الوسطى ( $D_{TS}=1.5*10^8$  Km) عند الإعتدالين الربيعي والخريفي فإن الإستطاعة المستقبلية على سطح  $1m^2$  خارج الغلاف الجوي للأرض تدعى بالثابت الشمسي  $E_0$  [3].

3-I-1- المسافة أرض شمس:

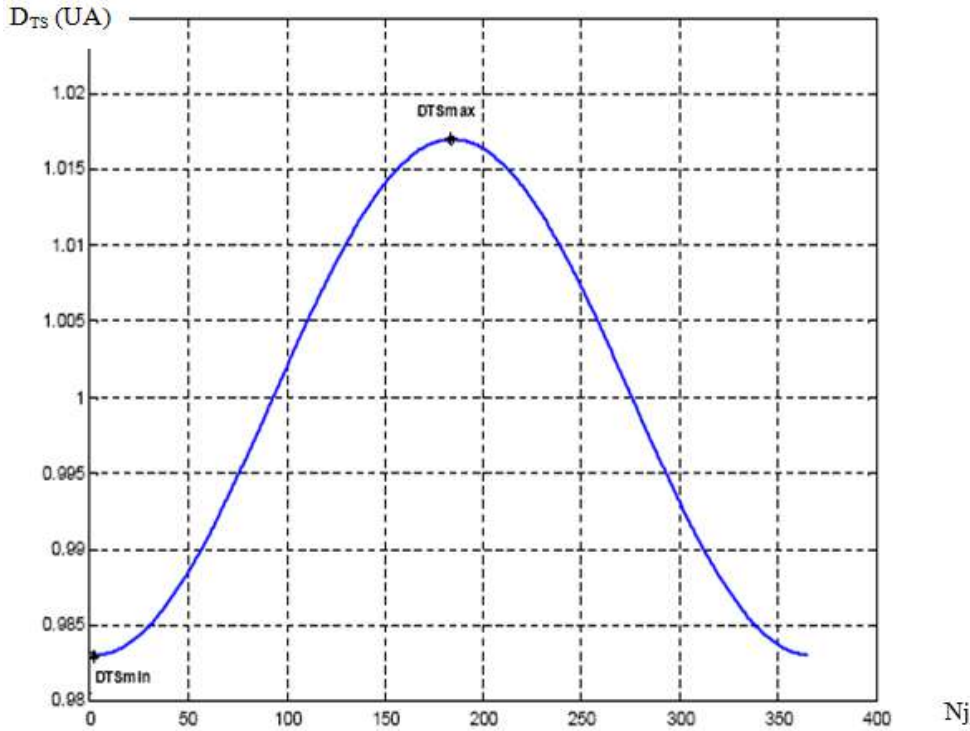
تتغير المسافة بين مركزي الأرض والشمس حسب اليوم من السنة وذلك لكون مسار دوران الأرض حول الشمس إهليجي وتعطى علاقة المسافة  $D_{T,S}$  بالعلاقة [3]:

$$D_{T,S} = 1 - 0.017 \cos \left[ \frac{360(Nj - 2)}{365} \right] \quad (4-1)$$

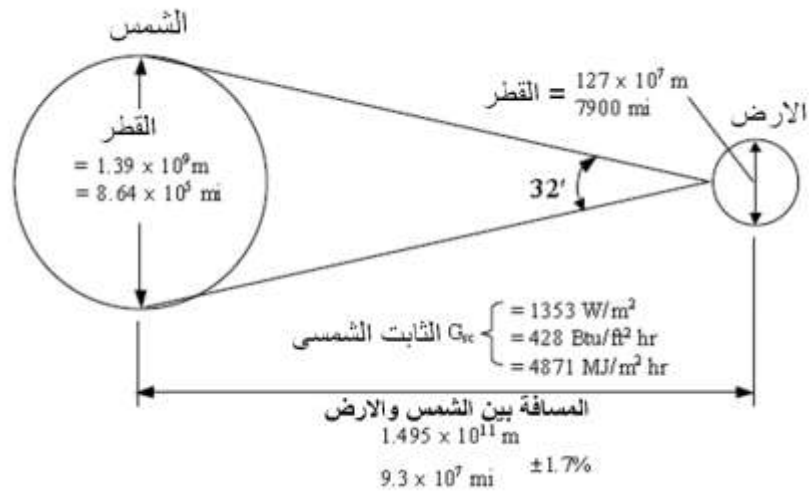
رقم اليوم من السنة ( $Nj=1 \dots 365$ ).

حيث المسافة تعطى بالوحدة الفلكية UA ( $1UA=1.5*10^8$  Km)

تبلغ أقل قيمة للمسافة يوم 2 جانفي ( $D_{T,S}=0.983 \text{ UA}$ ), بينما تبلغ أقصى قيمة للمسافة يوم 5 جويلية ( $D_{T,S}=1.017 \text{ UA}$ ) كما هو مبين في الشكل (1-1) [3]:



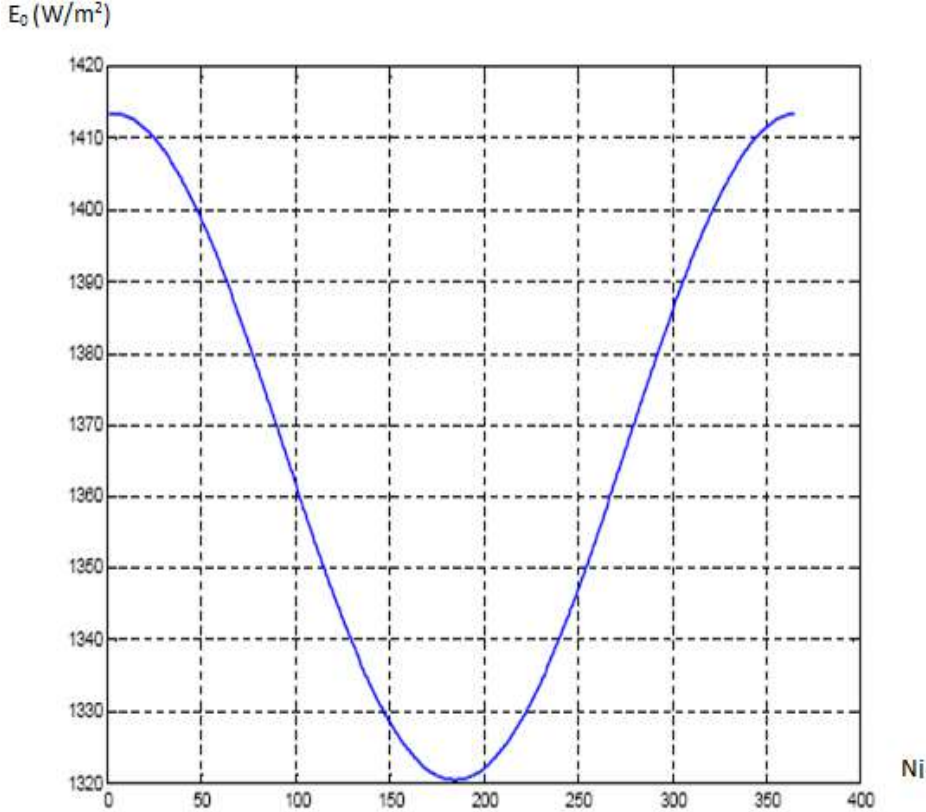
الشكل (1-1): تغيرات المسافة [أرض - شمس] خلال السنة بوحدة UA [3]



الشكل (2-1): المسافة بين الأرض والشمس (بالمتر والميل) وقطر كل منهما [5]

2-3-I- الثابت الشمسي:

هو تدفق الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح مساحته  $1\text{m}^2$  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 بـ  $(1.5 \times 10^8 \text{km})$ ، والقيمة المتوسطة للثابت الشمسي  $(E_0=1353\text{w/m}^2)$  كما هو مبين في الشكل (3-1):



الشكل (3-1): الثابت الشمسي  $E_0$  خلال السنة [3]

تتغير شدة تدفق الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي بالانحراف عن قيمة الثابت الشمسي  $E_0$  بـ  $(\pm 3.3\%)$   $E_0$  حسب إقتراب أو إبتعاد الشمس عن الأرض وذلك حسب اليوم من السنة، وتعطى علاقة التصحيح للثابت الشمسي:

$$I_0 = E_0 (1 + 0.33 \cos(Nj)) \quad [1].(5-1)$$

Nj: رقم اليوم من السنة إبتداء من 1 جانفي (1.....365) [3].

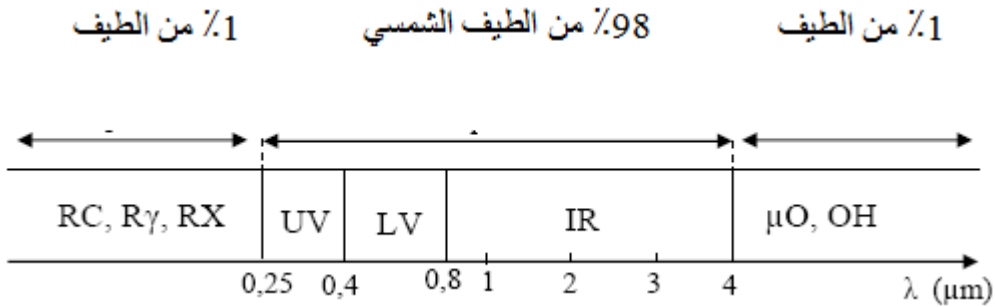
3-3-I- طيف الإشعاع الشمسي:

إن الإشعاع الشمسي الصادر عن الشمس على شكل أمواج كهرومغناطيسية تتوزع طاقته على طيف الإشعاع حيث تكون 98% من طاقة الإشعاع ضمن أطوال الموجات  $\lambda \in [0.25\mu m, 4\mu m]$  بينما نجد 1% من الطاقة تحت هذا المجال و 1% فوق هذا المجال كما يوضحه الشكل (4-1).

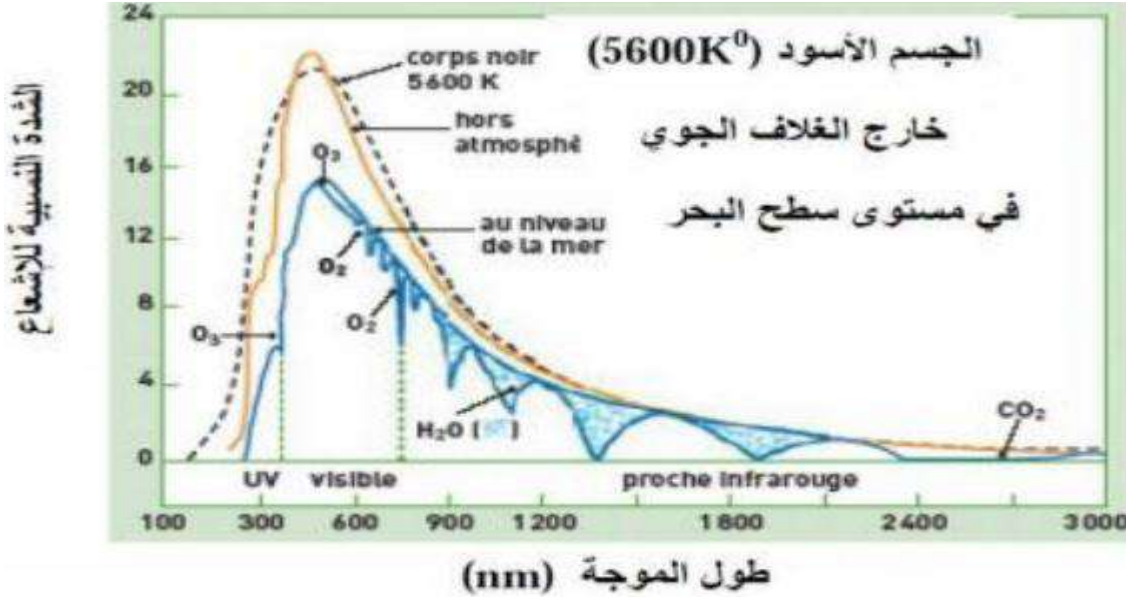
- $\lambda \in [0.25, 0.4]\mu m$  المجال فوق البنفسجي ويمثل 7% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس.
- $\lambda \in [0.4, 0.8]\mu m$  المجال المرئي ويمثل 47.5% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس.
- $\lambda \in [0.8, 4]\mu m$  المجال تحت الأحمر ويمثل 45.5% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس.

إن طيف الإشعاع الشمسي يحاكي إشعاع الجسم الأسود في درجة حرارة  $T=5600K^0$  في

مجال الطيف  $\lambda \in [250nm, 4000nm]$  كما هو مبين في الشكل (5-1) [3]:



الشكل (4-1): توزيع طيف الإشعاع الشمسي [3]



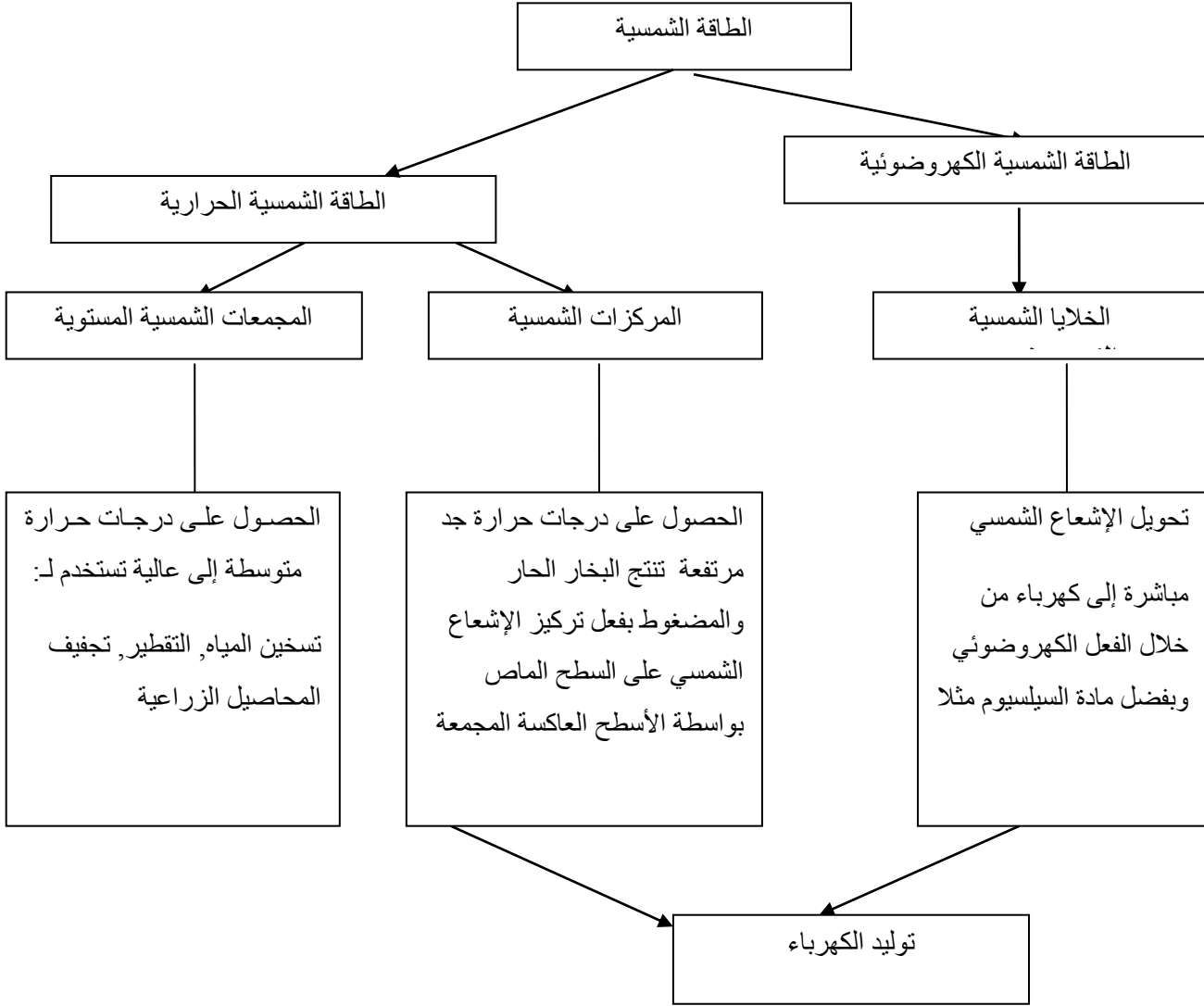
الشكل (5-1): تأثير الغلاف الجوي على شدة الإشعاع الشمسي بأطيافه [3]

#### I-3-4- العوامل المؤثرة في شدة الإشعاع الشمسي:

1. زاوية الورود: تزداد كمية الحرارة المكتسبة من الإشعاع الشمسي كلما إقتربت زاوية سقوط هذه الأشعة من زاوية الورود صفر ناظميا على سطح اللاقطات الشمسية.
2. الرياح والغيوم: تتناسب كمية الحرارة المكتسبة من الإشعاع الشمسي عكسا مع سرعة الرياح وشدة برودتها وازدياد رطوبتها، كما تؤثر الغيوم سلبا على كمية الحرارة المكتسبة من الإشعاع الشمسي.
3. الغلاف الجوي: إن نقاوة الغلاف الجوي تؤثر إيجابا على كمية الحرارة المكتسبة من الإشعاع الشمسي.
4. سطح اللاقط: إن اللون الأسود الداكن يؤثر إيجابيا في شدة إمتصاص الحرارة، أما التركيب الكيميائي للسطح فيختلف تأثيره من مادة إلى أخرى [6].



4-I- تحويلات الطاقة الشمسية:



الشكل (1-6): مخطط يوضح تحويلات الطاقة الشمسية [7]

5-I- إستخدامات الطاقة الشمسية:

1. **تسخين المياه:** يستخدم السخان الشمسي في تجميع الأشعة الشمسية الساقطة على المجمعات الشمسية وتحويلها إلى طاقة حرارية وذلك للإستفادة منها في تسخين المياه، حيث تخزين المياه في خزان حراري قد يكون من الزجاج أو الزجاج الليفي للإحتفاظ بحرارة الماء.
2. **التدفئة:** هي ضخ الحرارة المكتسبة في المجمعات إلى داخل الحيز المادي، حيث يمكن تدفئة البنايات بإستخدام 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.

3. **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.

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

5. **تحلية المياه:** إن أزمة المياه الناشئة في العالم تدفعنا للبحث عن طرق جديدة للحصول على مياه تتلائم مع متطلبات الحياة، وذلك لزيادة عدد السكان وتوسع القدرات الإنتاجية في المجالات الصناعية والزراعية حيث تكون تحلية مياه البحر أنسب الوسائل لتحقيق المتطلبات المتزايدة.

إن أكثر الطرق شيوعاً لتحلية المياه بالطاقة الشمسية هي طريقة المقطر الشمسي حيث يستخدم الطاقة الشمسية في تبخير الماء [8].

### I-6- الزوايا الشمسية:

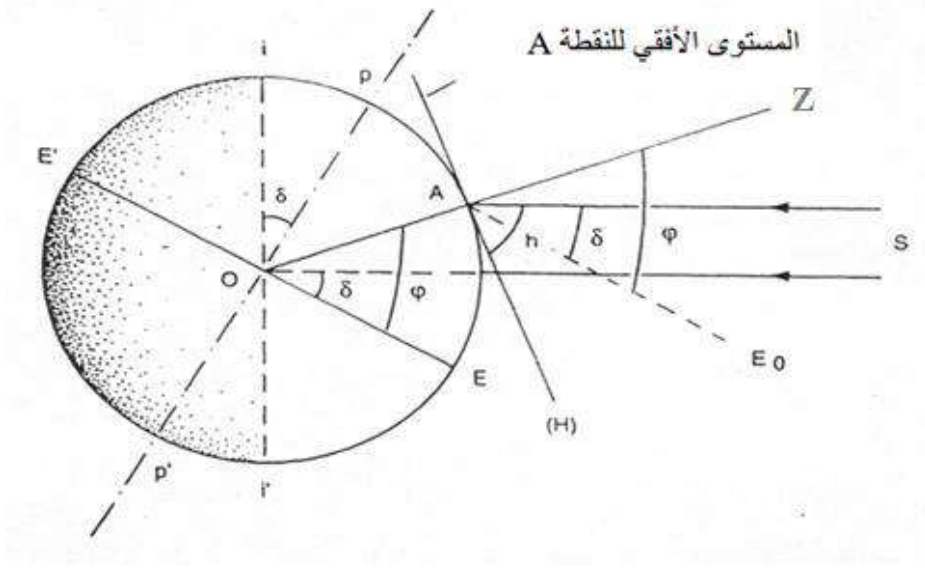
إن شدة تدفق الإشعاع الشمسي الواصل إلى نقطة من سطح الأرض في لحظة ما يتعلق أساساً بموضع الشمس اللحظي بالنسبة للموقع وهذا مرتبط بحركة الأرض حول نفسها وحول الشمس ويتم تحديده من خلال الزوايا الشمسية وكذا الزوايا التي تحدد الموقع بالنسبة للأرض:

#### I-6-1- زاوية ميل الشمس $\delta$ :

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.

وتتغير هذه الزاوية على مدار السنة حيث تنعدم في الإعتدالين الربيعي (21 مارس) والخريفي (23 سبتمبر) (مدار الإستواء)، بينما تكون أعظمية عند الانقلاب الصيفي (22 جوان) "+23.45" (مدار السرطان) والانقلاب الشتوي (22 ديسمبر) "-23.45" (مدار الجدي) ( كما هو مبين في الشكلين (7-1) و (8-1) [3]:

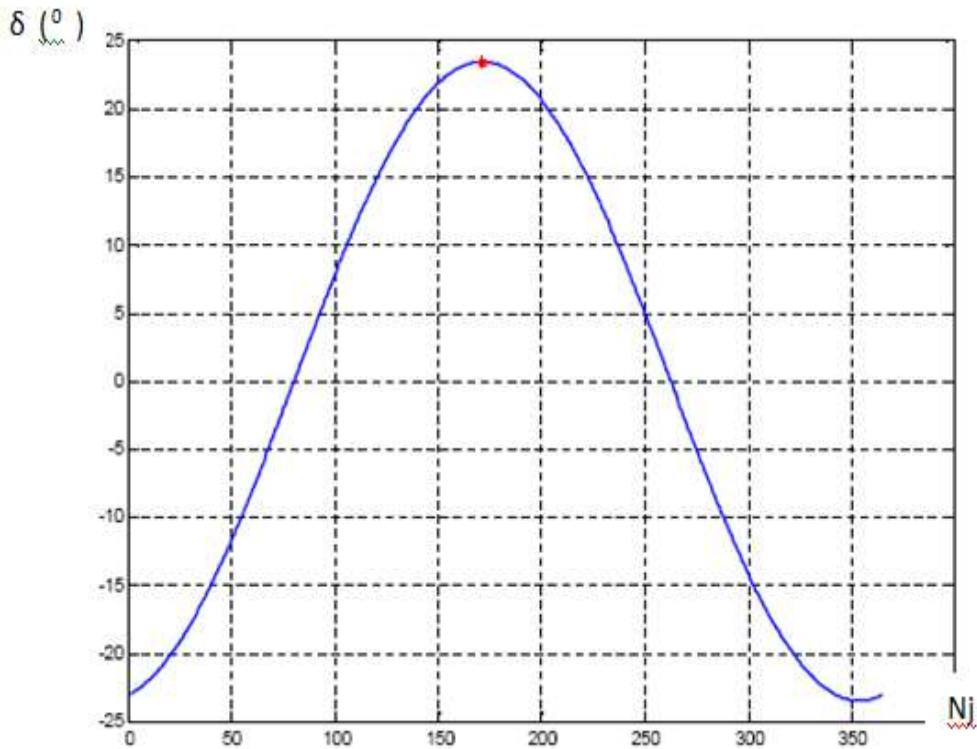
$$+23.45^{\circ} \geq \delta \geq -23.45^{\circ}$$



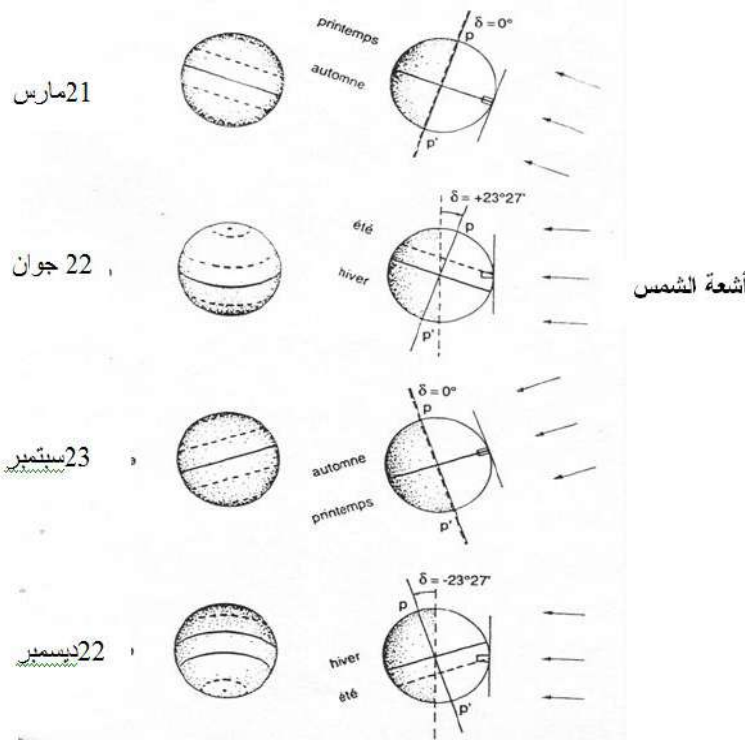
الشكل (7-1): زاوية ميل الشمس  $\delta$

وتحسب زاوية الميل الشمسي في كل يوم بالعلاقة:

$$\delta = 23,45 \sin(0,980(N_j + 284)) \quad [9] \text{ (6-1)}$$



الشكل (8-1): تغيرات زاوية ميل الشمس  $\delta$  خلال أيام السنة [3]



الشكل (9-1): تغيرات زاوية ميل الشمس خلال الفصول [3]

### 2-6-I- زاوية الارتفاع الشمسي h:

هي الزاوية التي يصنعها شعاع الشمس الواصل إلى نقطة من سطح الأرض (الخط الواصل بين مركز الشمس والنقطة محل الدراسة) مع المستوى الأفقي المار بالنقطة.

$$h \in [-90^{\circ}, +90^{\circ}]$$

h=0: عند شروق وغروب الشمس      h>0: في النهار      h<0: في الليل [3]

### 3-6-I- زاوية السميت الشمسي w:

وهي الزاوية التي يصنعها مسقط الشعاع الشمسي الواصل للنقطة على المستوى الأفقي مع المحور المتجه للجنوب عند النقطة (الخط المماس لخط الطول المار بالنقطة) وتكون موجبة إذا كانت متجهة نحو الشرق وسالبة نحو الغرب.

$$w \in [-180^{\circ}, +180^{\circ}]$$

a=0: مسقط الشعاع الشمسي منطبق على المحور جنوب

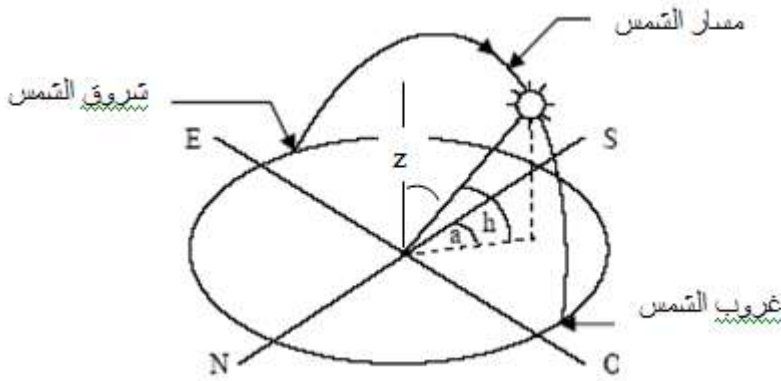
a>0: مسقط الشعاع الشمسي منحرف عن المحور جنوب باتجاه الشرق

$a < 0$  : مسقط الشعاع الشمسي منحرف عن المحور جنوب باتجاه الغرب [3].

#### I-6-4- زاوية سمت الرأس $\theta$ :

هي الزاوية بين الشعاع الشمسي وسمت الأرض (azimut) (الخط الشاقولي المار بالموقع) وبذلك فهي متممة زاوية الإرتفاع الشمسي [3].

$$Z = \frac{\pi}{2} - h \quad [3] \quad (7-1)$$



الشكل (10-1): الزوايا الشمسية  $(h, a, z)$  [3]

#### I-6-5- زاوية دائرة العرض $\varphi$ :

هي زاوية تحدد موقع النقطة على سطح الأرض حيث تعرف بأنها الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين مركز الأرض وموضع النقطة على سطح الأرض مع مستوى خط الاستواء.

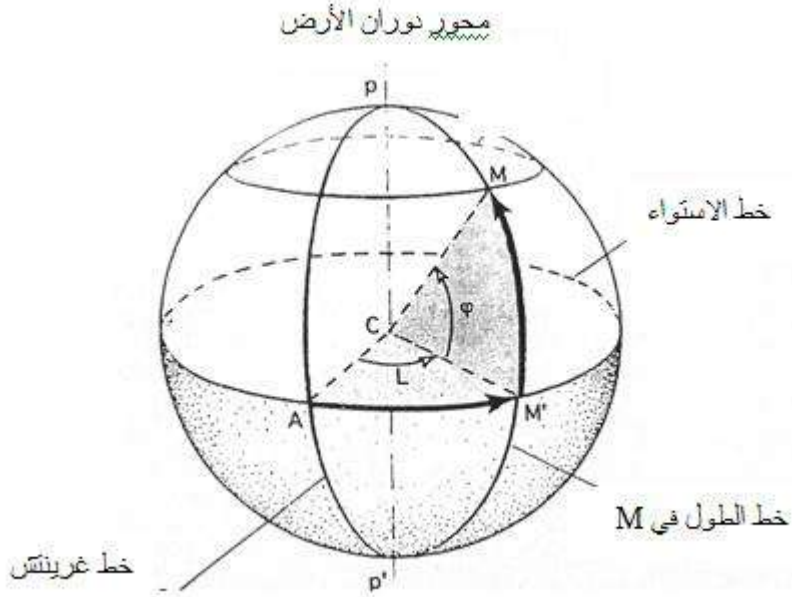
$$\varphi \in [-90^\circ, +90^\circ]$$

$0 < \varphi$ : شمال خط الاستواء  $\varphi < 0$ : جنوب خط الاستواء [3]

#### I-6-6- زاوية خط الطول $\lambda$ :

هي الزاوية التي يصنعها خط الطول المار بالمنطقة مع خط الطول المار ببلدة غرينيتش البريطانية - الذي نعتبره خط الصفر - وتقرأ الزاوية موجبة شرقا وسالبة غربا [3].

$$\lambda \in [-180^\circ, +180^\circ]$$



الشكل (11-1): زوايا تحديد الموقع (زاوية خط العرض  $\phi$  وزاوية خط الطول  $L$ ) [3]

### I-6-7- زاوية الساعة الشمسية $W_s$ :

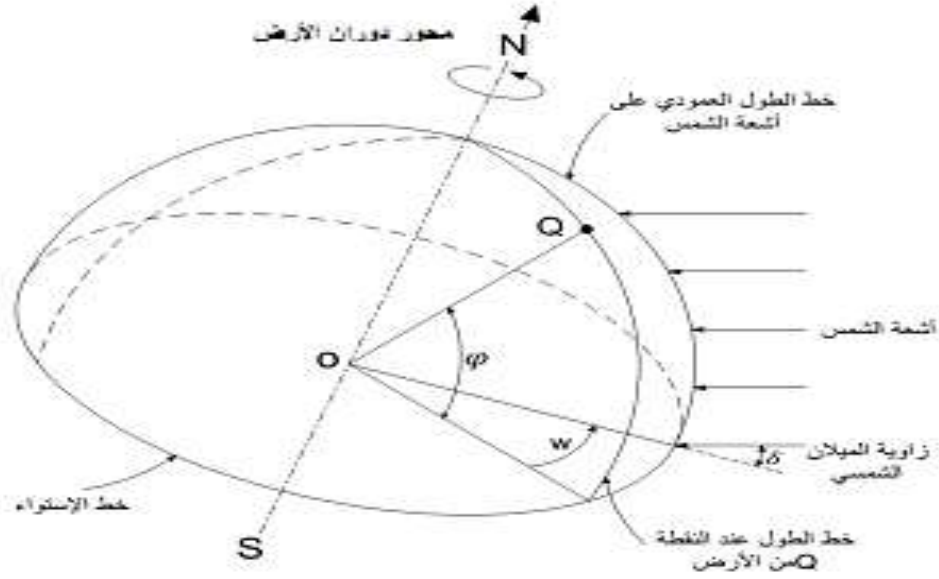
تبرز هذه الزاوية حركة الشمس في نقطة ما من الأرض من الشروق إلى غاية الغروب وتعرف بأنها الإزاحة الزاوية النسبية للشمس عن وقت الزوال الشمسي والذي تكون فيه الشمس فوق خط الطول المار بالنقطة وعندها تكون زاوية الساعة الشمسية معدومة، وكل ساعة قبل وبعد الزوال تكافئ  $15^0$  وتكون  $W_s$  موجبة مساءً بعد الزوال وسالبة صباحاً قبل الزوال لذا فإن  $W_s$  تتعلق فقط بالتوقيت الشمسي وتعطى بالعلاقة التالية بالدرجات:

$$W_s = 15(T_{vs} - 12) \quad [10] \quad (8-1)$$

حيث  $T_{vs}$ : يمثل التوقيت الشمسي الحقيقي الذي يعتبر الزوال الشمسي ( $W_s=0$ ) عند الساعة 12

$$W_s \in [-180^0, +180^0]$$

$W_s=0$ : عند الزوال الشمسي       $W_s > 0$ : مساءً بعد الزوال       $W_s < 0$ : صباحاً قبل الزوال [3].



الشكل (12-1): زاوية الساعة الشمسية ودائرة العرض للمنطقة [1]

كما يتم حساب زاوية الإرتفاع الشمسي  $h$  بالعلاقة:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos w \quad [10] (9-1)$$

وزاوية السميت الشمسي  $\alpha$  بالعلاقة:

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \sin w}{\cos h} \quad [11](10-1)$$

### 7-I- التوقيت الشمسي $T_{vs}$ والمحلي $T_L$ :

يختلف التوقيت المحلي لمنطقة عن التوقيت الشمسي ويتعلق الفرق بين التوقيتين على ثلاث عوامل:

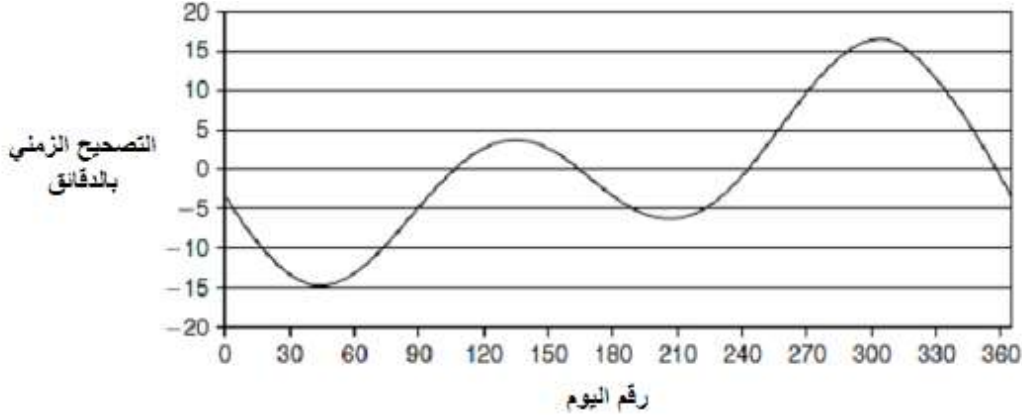
- الفرق بين خطي الطول للمنطقة والخط المرجعي للتوقيت المحلي (خط غرينتش)
- التصحيح الزمني (المعادلة الزمنية)  $E_t$  والمعبر عن الإضطراب الناتج عن حركة الأرض والذي يعطى بالعلاقة التالية بالدقائق:

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

[1] (11-1)

- التصحيح الناتج عن تغير التوقيت المحلي (الصيفي، الشتوي) مقارنة بتوقيت غرينيتش الذي قيمته في الجزائر  $C=-1$

وبين الشكل (14-1) تغيرات التصحيح الزمني خلال أيام السنة:



الشكل (13-1): بيان تغيرات التصحيح الزمني خلال أيام السنة [1]

وعليه تعطى علاقة التوقيت الشمسي  $Tvs$ :

$$Tvs = TL + Et + \frac{L}{15} + C \quad (12-1)$$

حيث  $L$  زاوية خط الطول التي تقع عليه المنطقة وتكون موجبة إذا كانت المنطقة شرق خط غرينتش بينما تكون سالبة غرب خط غرينتش [3].

### I-8- تحديد توقيت شروق وغروب الشمس:

عند الشروق والغروب تنعدم زاوية إرتفاع الشمس  $h$  (الشعاع الشمسي منطبق على سطح الأرض)

$$h = 0 \Rightarrow \sin(h) = 0 \quad (13-1)$$

ومنه تتحصل على قيمة زاوية الساعة الشمسية  $(Ws)$  للشروق أو الغروب:

$$\cos w_s = \tan L \tan \delta_s \quad (14-1)$$

ومنه يكون التوقيت الشمسي للشروق:

$$Ts_{lever} = 12 - \frac{W_s}{15} \quad (15-1)$$



والتوقيت الشمسي للغروب:

$$Ts_{coucher} = 12 + \frac{W_s}{15} \quad (16-1)$$

وتكون مدة النهار لهذه اليوم [3]:

$$\Delta t = Ts_{coucher} - Ts_{lever} \quad (17-1)$$

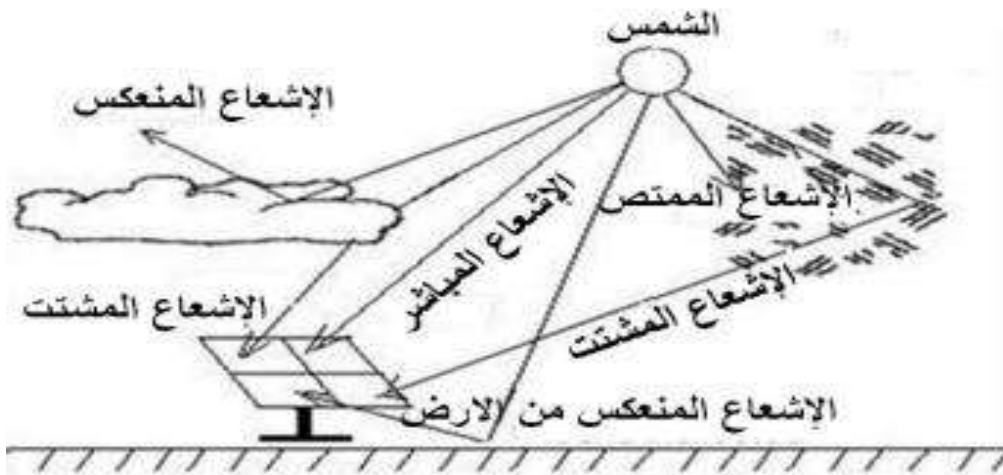
### I-9- تدفق الإشعاع الشمسي على مستوى سطح الأرض:

يخترق الإشعاع الشمسي الغلاف الجوي الأرضي حيث ينعكس جزء منه إلى الفضاء خارج الغلاف الجوي كما ينتشلت جزء داخل الغلاف الجوي الأرضي وجزء آخر يتم امتصاصه من طرف مكونات الغلاف الجوي.

ومنه فإن الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض يتكون من قسمين في الشكل (15-1):

- 1- الإشعاع الشمسي المباشر: وهو الإشعاع الساقط على سطح ما مباشرة من قرص الشمس.
- 2- الإشعاع الشمسي المنتشر أو المشتت: وهو الإشعاع الساقط على سطح ما بعد أن تشتت خلال مروره بطبقات الجو، أو هو الإشعاع الذي إنعكس وسقط على ذلك السطح.
- 3- الإشعاع الشمسي الكلي: وهو مجموع الإشعاع الشمسي المباشر والإشعاع المشتت [10].

$$G_T = I + D \quad (18-1)$$

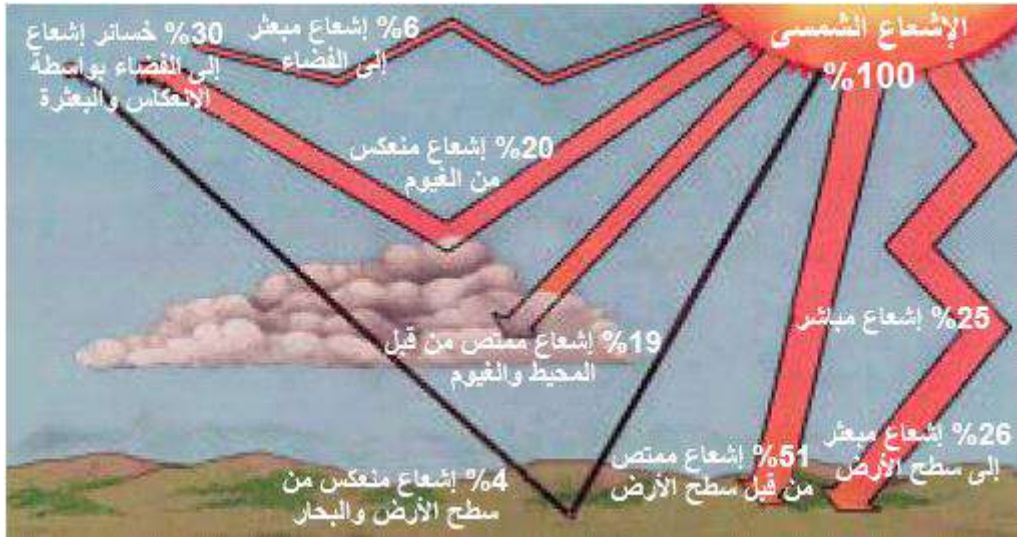


الشكل (14-1): أنواع الإشعاع الشمسي [5]

ويقل تدفق الإشعاع في نقطة على سطح الأرض عن التدفق في نفس الموقع خارج الغلاف الجوي

بسبب:

- 1- التشتت والامتصاص بسبب جزيئات الهواء (تشتت رايلي).
- 2- التشتت والامتصاص بسبب العوالق الصلبة في الجو .
- 3- الامتصاص بواسطة بخار الماء وغاز أول أكسيد الفحم وغاز ثاني أكسيد الفحم.
- 4- الانعكاس والامتصاص من طرف السحب في طبقات الجو [3].

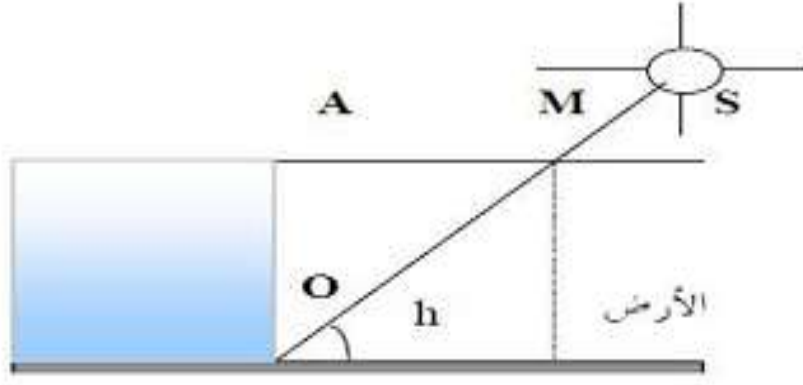


الشكل (15-1): توزيع الإشعاع الشمسي في الغلاف الجوي وعلى سطح الأرض [4]

#### 10-I- الكتلة الهوائية الضوئية:

إن التغييرات التي يحدثها الإشعاع الشمسي المباشر علاقة بسمك طبقة الهواء التي يقطعها الإشعاع وهذا تبعا لعلو الشمس، ويؤخذ كوحدة قياس السماكة الشاقولية للجو المتوسط (وهذه السماكة تنحصر في 7,8 كم). ونفترض أن هذه الطبقة مسطحة ومنضدة أفقيا، وأن شعاع الضوء يتبع مسارا مستقيما طوله OM حسب الشكل (16-1) [12]:

$$OM = \frac{OA}{\sin h} \quad [12] (19-1)$$



الشكل (16-1): إختراق أشعة الشمس للغلاف الجوي [12]

### 11-I- الإشعاع الشمسي على سطح الأرض:

الإشعاع الشمسي الذي يستقبله سطح الأرض من بين الإشعاع المنبعث من الشمس، يخترق الغلاف الجوي للأرض وينعكس جزء منه إلى الفضاء الخارجي وينفذ الباقي إلى الغلاف الجوي، حيث يتم إمتصاص جزء منه من طرف مكونات الغلاف الجوي ويتشتت جزء بفعل الإنعكاسات على السحب و العوالق الصلبة (الغبار)، بينما يصل الباقي إلى سطح الأرض بشكل مباشر كما هو موضح في الشكل (17-1):

### 1-11-I- الإشعاع الشمسي المباشر:

تعطى عبارة الإشعاع الشمسي المباشر الوارد من الشمس إلى سطح الأرض ناظميا بعد إختراقه للغلاف الجوي بالعلاقة التالية [1]:

$$I_b = I[a_0 - a_1 e^{-K \cdot AM}] \quad (20-1)$$

حيث  $a_0$  و  $a_1$  و  $k$  ثوابت تجريبية تعطى من طرف Duffie و Beckman بالعلاقات التالية [1]:

$$a_0 = 0.94[0.4237 - 0.00821(6 - Z)^2] \quad (21-1)$$

$$a_1 = 0.98[0.5055 - 0.00595(6.5 - Z)^2] \quad (22-1)$$

$$K = 1.02[0.2711 - 0.01858(2.5 - Z)^2] \quad (23-1)$$

حيث  $Z$  إرتفاع المنطقة فوق سطح البحر معبرا عنها بالكيلومتر (Km)، و  $AM$  الكتلة الهوائية الضوئية،  $I$  الثابت الشمسي، أما في حالة الإشعاع الشمسي المباشر الذي يرد بزاوية  $i$  على سطح مائل تعطى عبارته بالعلاقة التالية [1]:

$$I_{bt} = I_b \cos i \quad (24-1)$$

### I-11-2- الإشعاع الشمسي المنتشر:

وهو الناتج عن تشتت الإشعاع الشمسي بفعل مكونات الغلاف الجوي وتعطى عبارته في حالة سطح أفقي بالعلاقة التالية [1]:

$$I_d = I \sin h [0.2710 - 0.2939(a_0 - a_1 e^{-K \cdot AM})] \quad (25-1)$$

حيث أن المركبات الشمسية تقوم بتركيز الإشعاع الشمسي المباشر دون المنتشر.

### I-11-3- الإشعاع الشمسي الكلي:

هو مجموع الإشعاع الشمسي المباشر والمنتشر ويحسب في حالة الإشعاع الناظمي  $i=0$  بالعلاقة التالية [1]:

$$G = (1270 - 56T_L)(\sin h)^{\frac{T_L+36}{33}} \quad (26-1)$$

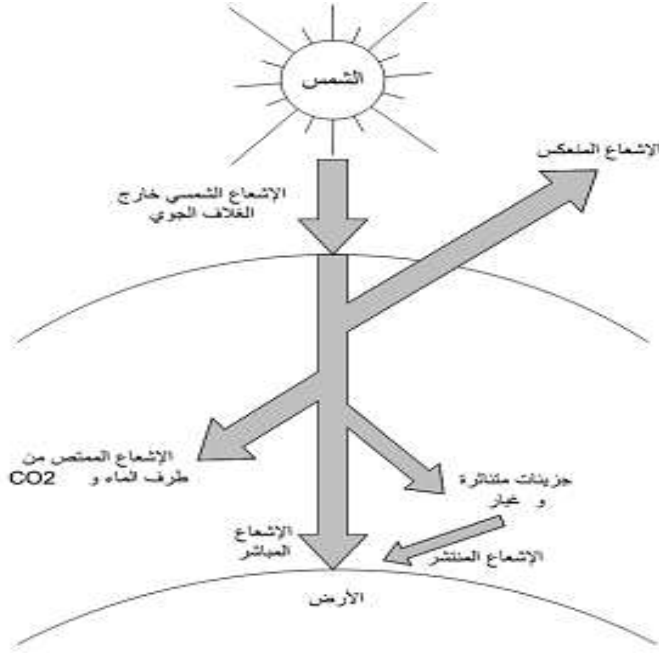
حيث  $T_L$  معامل الإضطراب للغلاف الجوي وتعطى صيغته [1]:

$$T_L = 2.5 + 16\beta_A + 0.5 \ln w \quad (27-1)$$

حيث  $\beta_A$  معامل أنغيشتروم و  $w$  إرتفاع الماء المكثف وقيمها تتغير حسب الحالة الجوية كما هو موضح في الجدول التالي [1]:

الجدول (1-1): قيم معامل الإضطراب وإرتفاع الماء المكثف [1]

سماة صافية	سماة متوسطة	سماة مضطربة	
0.05	0.1	0.2	$\beta_A$
1cm	2cm	5cm	$w$



الشكل (17-1): مخطط يوضح وصول الإشعاع الشمسي إلى سطح الأرض [1]

## I-12- أنماط المجمعات الشمسية من حيث التوجيه:

تتعلق الطاقة الشمسية التي يستقبلها المجمع بزواوية ورود الإشعاع الشمسي وهذه الأخيرة تتعلق بكيفية توجيه المجمع الشمسي. ومن أجل الحصول على طاقة شمسية عالية خلال اليوم وعلى مدار السنة فإننا نجد أنفسنا أمام ثلاث خيارات لتوجيه المجمع:

**1- المجمعات المثبتة:** يتم تثبيت وضعية المجمع حيث يوجه نحو محور الجنوب ( $\alpha = 0$ ) ويميل عن الأفق بزواوية  $\beta$  تساوي زواوية خط العرض للمنطقة ( $\beta = \varphi$ ) وهذا من أجل الحصول على متوسط سنوي أعظمي لشدة تدفق الإشعاع الشمسي .

**2- المجمعات بمحور دوران واحد:** تقوم هذه المجمعات بالتتبع الآلي لسمت الشمس ( $\alpha = a$ ) بينما تثبت إمالتها عن الأفق بزواوية تساوي زواوية خط العرض للمنطقة ( $\beta = \varphi$ ) .

**3- المجمعات بمحوري دوران:** مجمعات تقوم بالتتبع الآلي لسمت الشمس وكذا ارتفاع الشمس بحيث يبقى سطح المجمع الشمسي عموماً عمودياً على أشعة الشمس في كل لحظة من اليوم ( $\alpha = a$ ) و ( $\gamma = h$ ) [3].

13-I- زاوية سقوط الشمس Z:

وهي الزاوية التي يضعها الشعاع الشمسي الساقط على النقطة من السطح مع الناظم على السطح فإذا كان السطح أفقياً تصبح زاوية سقوط الشمس هي نفسها الزاوية المتممة لزاوية الارتفاع الشمسي (أي زاوية سمت الرأس) [3].

$$\theta = \frac{\pi}{2} - h = z \quad (28-1)$$

أما إذا كان السطح مائل عن الأفق بزاوية  $\beta$  فإننا نستطيع تحديد هذه الزاوية من خلال الجداء السلمي لأشعة الوحدة لكل من الشعاع الشمسي الساقط U والناظم على السطح n في الإحداثيات الديكارتية [3].

$$\vec{U} \begin{bmatrix} \cos.\gamma.\sin.\alpha \\ \cos.\gamma.\cos.\alpha \\ \sin.\gamma \end{bmatrix} * \vec{n} \begin{bmatrix} \cos.h.\sin.a \\ \cos.h.\cos.a \\ \sin.h \end{bmatrix}$$

$$\cos \theta = \vec{U} * \vec{n} = \cos \alpha.\cos \gamma.\sin a.\cosh + \cos \alpha.\cos \gamma.\cos a.\cosh + \sin \gamma.\sin \quad (29-1)$$

$$\cos \theta = \cos(\alpha - a)\cos \gamma.\cosh + \sin \gamma.\sinh \quad [11] (30-1)$$

14-I- عيوب الطاقة الشمسية:

تعتبر الطاقة الشمسية من أفضل مصادر الطاقة المتجددة من ناحية النظافة أو من حيث ديمومتها إلا أنها لا تخلو من العيوب التي كانت عائقاً في وجه تطورها، وقد يكون أهم مشكل هو صعوبة تخزينها لإستغلالها كون أن الشمس لا تكون متوفرة طوال اليوم ولا طوال السنة. بالإضافة إلى تكاليفها فهي غير مجانية بل تحتاج إلى معدات تستخدم في تحويلها إلى طاقة كهربائية أو حرارية، ولهذا يجب العمل على خفض تكاليفها لكي تكون منافسة للطاقات الأحفورية [13].

خاتمة:

الطاقة عامل مهم لتطوير الحياة البشرية وللحد من تأثير مصادر الطاقة التقليدية على البيئة، إنصب الإهتمام على البديل المتجدد ومن أمثلها الطاقة الشمسية حيث يقدر متوسط الطاقة المتدفقة في صحراء الجزائر ب:

$2650 \text{ kWh/m}^2/\text{years}$  في 86% من إجمالي المساحة حيث تبلغ مدة التشميس  $3500 \text{ h/years}$ . وللمنطقة المدروسة في ولاية ورقلة والتي لها الموقع الممتاز الموافق لخط طول  $\lambda = 5.24^\circ$  وخط عرض  $\phi = 31.57^\circ$  يجعل منها مكان لإستغلال وتثمين هذه الطاقة الهائلة، يمكن إستغلال الطاقة الشمسية في عدة مجالات: كهربائية بإستخدام الخلايا الشمسية وحرارية بتوجيهها وتركيزها وهذا في المركزات الشمسية وهي: عدسة فرينل ومركز القطع المكافئ كما سنراه في الفصل التالي.

## الفصل الثاني:

عموميات حول

المركّزات الشمسية





مقدمة:

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

- الطلب على الطاقة بشكل متزايد.
- المخاوف من ارتفاع أسعار الوقود.
- إجراءات التكيف مع تغيرات المناخ.

وبهدف مواجهة هذه التحديات تحتاج الدول النامية إلى تركيز الجهود ووضع سياسات تعمل على ترشيد الطاقة ورفع كفاءة أنظمة إنتاجها وتنويع مصادرها بما يضمن مشاركة المصادر المتجددة لتقليل الإعتماد على البترول و الغاز الطبيعي و بالتالي الحد من انبعاث غازات دفيئة (ثاني أكسيد الكربون، الميثان، أكسيد النيتروز، الهيدرو فلورو كربون، بيرفلورو كربون، وسادس فلوريد الكبريت).

ونظرا لأن إنتاج الطاقة من المصادر المتجددة يعد أحد البدائل الذي يمكن الإعتماد عليه خاصة و أن معظم الدول النامية تقع في نطاق الحزام الشمسي و لديها ارض منبسطة غير مستغلة، فإن مؤشرات توليد الطاقة الكهربائية باستخدام المركزات الشمسية (CSP, Concentrator Solar Plants) يمكن أن تكون أحد هذه البدائل.

و سنتعرف في هذا الفصل على المركزات الشمسية وآلية عملها وأنواعها و كذا أهم تطبيقاتها و مزايا و عيوب كل نوع.

**II-1-المركزات الشمسية:**

هي منظومة خاصة تملك سطوح عاكسة لتركيز الإشعاع الشمسي نحو سطح استقبال ومن ثم تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية أو كهربائية.

تستخدم مركزات الطاقة الشمسية الحرارية ضوء الشمس " الإشعاع المباشر " أي أن أشعة الشمس تصل إلى المرکز بشكل مباشر من الشمس كأشعة متوازية تتغير زاوية سقوطها من الشروق إلى الغروب، و لذا فإن الأماكن المناسبة لإقامة محطات شمسية هي التي تصلها كمية كبيرة من الإشعاع المباشر على الأقل 2.000 كيلوات ساعة على المتر المربع سنويا، أما أفضل المواقع هي التي يصلها أكثر من 2.800 كيلوات ساعة على المتر المربع سنويا [14]، يكفي كيلو متر مربع واحد في هذه المناطق لتوليد حوالي 130.100 جيجا وات ساعة من الكهرباء الشمسية في السنة باستخدام تكنولوجيا الطاقة الشمسية الحرارية، وهو ما يماثل ما ينتج من حرق فحم تقليدي أو غاز طبيعي بقدرة 50 ميغا وات في غير أوقات الذروة في محطات الطاقة التقليدية، و بذلك يكون الناتج من محطات الحرارة الشمسية طول دورة حياتها مساويا للطاقة التي تكمن في أكثر من 5 مليون برميل من النفط [14].

## II-2-مكونات المركز الشمسي:

يتكون المركز الشمسي من الأجزاء التالية:

### • مجموعة سطح الالتقاط:

تتكون مجموعة سطح الإلتقاط إما من مرآيا عاكسة مقعرة، أو مستوية، أو ذات مقاطع هندسية مختلفة كالأسطوانية و الكروية و شبه كروية، و إما من عدسات ضوئية مثل عدسات فريزيل ( Fresnal ) .وتقوم هذه المجموعة بإلتقاط ونقل الإشعاع الشمسي إلى الوسط الحراري الموجود في بورتها الضوئية.

### • الوسط الحراري:

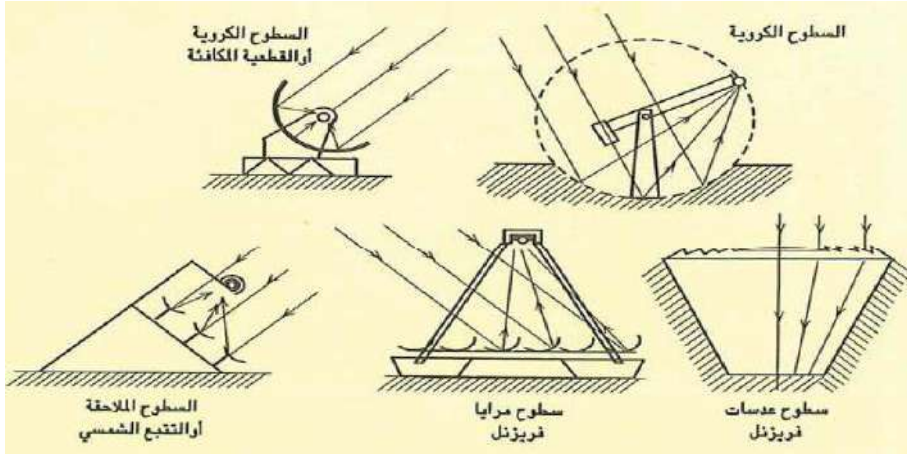
الوسط الحراري عبارة عن سائل أو غاز يتم وضعه عند نقطة البؤرة (نقطة تجميع الإشعاع) وهو الوسط المادي المسؤول عن نقل و تخزين الطاقة الشمسية.

### • الأجهزة المرتبطة المساعدة:

الأجهزة المساعدة للمركز الشمسي هي عبارة عن معدات ميكانيكية و كهربائية و الكترونية تعمل على تنظيم و تشغيل المركز الشمسي.

## II-3-آلية عمل المركز الشمسي:

تسقط الأشعة الشمسية على السطح العاكس للمرآة (فتنعكس/أو على العدسة فتتكسر)، و تتجمع الأشعة الشمسية على السطح الماص في البؤرة الضوئية مؤدية إلى تسخين الوسط الحراري، و تلعب الزوايا التي يسقط بها الإشعاع الشمسي والشكل الهندسي لسطح المركز دوراً هاماً في تحديد درجة حرارة المائع، و بوجه عام يعد نصف قطر إنحناء المقاطع الهندسية المذكورة في مجموعة سطح الإلتقاط عاملاً هاماً من حيث تأثيره على تصميم أنواع المركبات الشمسية. و يوضح الشكل (2-1) بعض الأشكال و المقاطع الهندسية المعروفة في طرق تركيز الإشعاع الشمسي، و كذلك مسار الأشعة الشمسية الواردة و المنعكسة.



الشكل (1-2): بعض الأشكال و المقاطع الهندسية لأنواع المركبات الشمسية و مسار الأشعة الواردة والمنعكسة [15]

## II-4- التركيز الشمسي:

يتم استخدام أسطح خاصة ( تتمتع بخصائص و مميزات ضوئية جيدة كالانعكاس و الإنكسار و البعد البؤري) لتجميع أشعة الشمس الواردة إليها بواسطة آلية التركيز الضوئي.

تهدف أجهزة تركيز الإشعاع الشمسي إلى زيادة كثافة الإشعاع على السطح الماص Absorber Surface إلى معدل أعلى من المعدل الطبيعي إضافة إلى رفع درجات الحرارة، و تتم هذه العملية بواسطة أسطح عاكسة Reflecting Surfaces على السطح الماص، وبغرض التبسيط سنعرض بعض المصطلحات المستخدمة في هذا المجال:

### - العاكس Reflecing:

يكون ذو سطح منحنى بهدف تركيز الأشعة كما يطلى بمادة لامعة كالألمنيوم و الفضة لعكس أشعة الشمس نحو المستقبل. ولا يشترط أن يكون سطح العاكس قطعة واحدة، فقد يتكون من عدة شرائح مستوية إلى جانب بعضها البعض، كما هو الحال في المركز المخروطي Conical Concentrator، أو 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 توربينة بخارية.

### - المستقبل Receiver:

يعمل المستقبل على استقبال الأشعة القادمة من العاكس و امتصاصها و تحويلها إلى حرارة تنتقل إلى المائع الذي يمر داخلة، و عادة ما تكون مساحة المستقبل أقل من مساحة العاكس.

- فتحة العاكس Aperture:

هي الفتحة التي تدخل منها أشعة الشمس إلى السطح العاكس.

- نسبة التركيز Concentration Ratio:

تعرف بأنها نسبة مساحة فتحة السطح العاكس إلى سطح المستقل، و قد تكون هذه النسبة مساوية للواحد الصحيح في أجهزة التسخين الشمسي للمياه و المقطرات الشمسية Solar Stills و البرك الشمسية Solar Ponds.

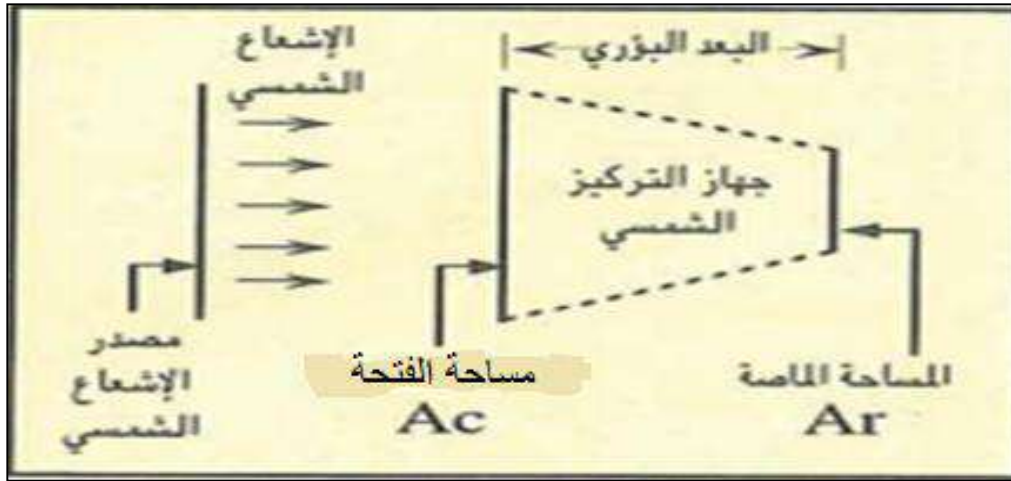
- نظم التتبع Tracking Systems:

تطورت أنظمة التتبع من النظم اليدوية إلى أخرى آلية إما تعمل اعتماداً على توجيه حساس Sensor نحو قرص الشمس يرسل إشارة إلى وحدة التحكم لتوجيه فتحة العاكس دائماً باتجاه الشمس أو الاعتماد على الساعة بمعنى تغيير زاوية توجيه فتحة العاكس كل عدة دقائق بقيمة محددة.

تختلف شدة التركيز الشمسي (Cr) من جهاز إلى آخر حسب مساحة فتحة الإستقبال للمركز (Ac) والمساحة الفعلية الماصة (Ar) عند البعد البؤري، كما في العلاقة التالية [15]:

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

وهذا يعني أنه كلما كانت مساحة السطح الماص صغيرة كان معامل التركيز الشمسي كبيراً [15].



الشكل (2-2): المبدأ الرئيسي للتركيز الشمسي [15]

توجد طريقتان لتركيز الإشعاع الشمسي المباشر:

#### II-4-1- نسبة التركيز الخطي:

يتم تركيز الإشعاع الشمسي المباشر خطياً بواسطة عاكس على سطح أنبوب ماص مثبت في المحور البؤري، ويتم التتبع الشمسي وفق محور دوران واحد للرفع من المردود، و من أهمها الأسطوانية القطع المكافئ، و عاكس فرينل الخطي وهي مركزات ثنائية الأبعاد. حيث تبلغ نسبة تركيز هذه الأنظمة (30-80) و تصل درجة حرارة المائع إلى  $400^{\circ}C$  [1].

#### II-4-2- نسبة التركيز النقطي:

يتم تركيز الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على سطح العاكس في نقطة البؤرة من خلال نظام الصحن القطع مكافئ، حيث تصل نسبة تركيز الإشعاع الشمسي (4000-1000)، و يتم التتبع الشمسي وفق محوري دوران للمحافظة على تركيز الإشعاع في نقطة البؤرة. يستخدم الصحن القطع المكافئ في توليد الكهرباء مباشرة من خلال محرك ستيرلينغ، أو بواسطة توربينات الغاز الموضوعة في البؤرة، و كذلك من خلال نظام المستقبل المركزي الذي يضم حقلاً كبيراً من المرايا العاكسة (heliostats) التي تركز الإشعاع الشمسي على جهاز الإستقبال المثبت في أعلى البرج، حيث تبلغ نسبة التركيز (1500-2000) ويمر المائع عبر المستقبل ليمتص الحرارة و من ثم إنتاج و تخزين الطاقة، حيث يستخدم المائع في نظام المستقبل المركزي الهواء، البخار، الملح المنصهر، الصوديوم السائل [1].

#### II-5- أنواع المركزات الشمسية:

##### II-5-1- مركزات القطع الناقص (PTC) Parabolic Trough Concentrators:

تعتمد محطات توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية على تركيز الطاقة الحرارية على تركيز الطاقة الحرارية لأشعة الشمس المباشرة على أنبوب يمر به سائل (ماء، محلول ملحي، زيت، ... إلخ) المستقبل فترتفع درجة حرارة السائل بفعل حرارة الشمس من 70 إلى 100 مرة لتتراوح درجة الحرارة بين  $350^{\circ}C$  -  $550^{\circ}C$  فيتحول إلى بخار يكفي لإدارة توربينية بخارية، كما في الشكل (2-3) [16]:



الشكل (2-3): تقنية القطع الناقص [17]



الشكل (2-4): صورة لمحطة تعتمد على تقنية القطع الناقص [16]

#### تطبيقاته [14]:

- تستخدم محطات (PTC) لتوليد الكهرباء متصلة بالشبكة عند حرارة متوسطة إلى مرتفعة .
- تعتبر أكبر المحطات قدرة حتى الآن (80 ميغا وات كهرباء ) .
- إجمالي ما تم بناءه من محطات (PTC) تعدى 500 ميغا وات، و إجمالي ما تحت الإنشاء أو مقترح أكثر من 10 جيغا وات.

#### مزاياه:

- توجد محطات تجارية قائمة بالفعل، أكثر من 16 مليار كيلو وات ساعة من خبرة التشغيل، إحصائيات التشغيل عند  $500\text{ C}^\circ$  ( $400\text{ C}^\circ$  أثبتت تجارياً).
- تم إثبات متوسط كفاءة سنوي 14% (كهرباء منتجة نسبة إلى الإشعاع الشمسي الساقط على المحطة) تجارياً.

- قيمة الإستثمارات و تكاليف التشغيل مبنية على خبرة تجارية فعلية.
- يمكن بناءها بصورة نمطية.
- إستغلال جيد لمساحة أرض الموقع.
- مثبتة القدرة على التهجين(استخدام أكثر من تطبيق في آن واحد).
- يكمن إضافة تخزين حراري.

❗ عيوبه:

- الإعتماد على الزيت كوسيط لنقل الحرارة حيث تكون درجة حرارة التشغيل في حدود  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  مما يؤدي إلى إنتاج بخار متوسط الجودة.

### II-5-2- مركزات البرج القوي Power Tower Concentrators:

يوضح الشكل (2-5) الفكرة الرئيسية لعمل هذه التقنية و التي تعتمد على استخدام عواكس مستقلة مركبة على نظام تتبع لحركة الشمس مع توجيه الإشعاع الشمسي نحو مستقبل مركزي مثبت فوق برج يعمل كغلاية لتوليد البخار و تحميصه ثم دفعه إلى توربينية بخارية، و بتركيز أشعة الشمس من 800 إلى 1000 مرة يمكن الوصول إلى درجات حرارة مرتفعة تصل إلى  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  بحسب السائل المستخدم [16].



الشكل (2-5): تقنية البرج القوي [17]



الشكل (2-6): صورة لمحطة شمسية تعتمد على تقنية البرج القوي [16]

#### تطبيقاته [14]:

- محطات متصلة بالشبكة وعمليات صناعية عند حرارة مرتفعة.
- أكبر المحطات قدرة حتى الآن (20 ميجا وات كهرباء) محطات تحت الإنشاء بقدرة كلية 50 ميجا وات و 100 ميجا وات على الأقل تحت التخطيط.

#### مزاياه:

- تم إثبات متوسط كفاءة عند حرارة تشغيل  $565\text{ C}^\circ$  مع إمكانية تشغيل عند درجات حرارة أعلى من  $1,000\text{ C}^\circ$  على المدى المتوسط.
- إمكانية التهجين.
- إمكانية التخزين عند درجات حرارة عالية.
- أكثر ملائمة لاستخدام التبريد الجاف من القطع المكافئ أو فرينيل.
- أكثر ملائمة للمواقع غير مستوية.

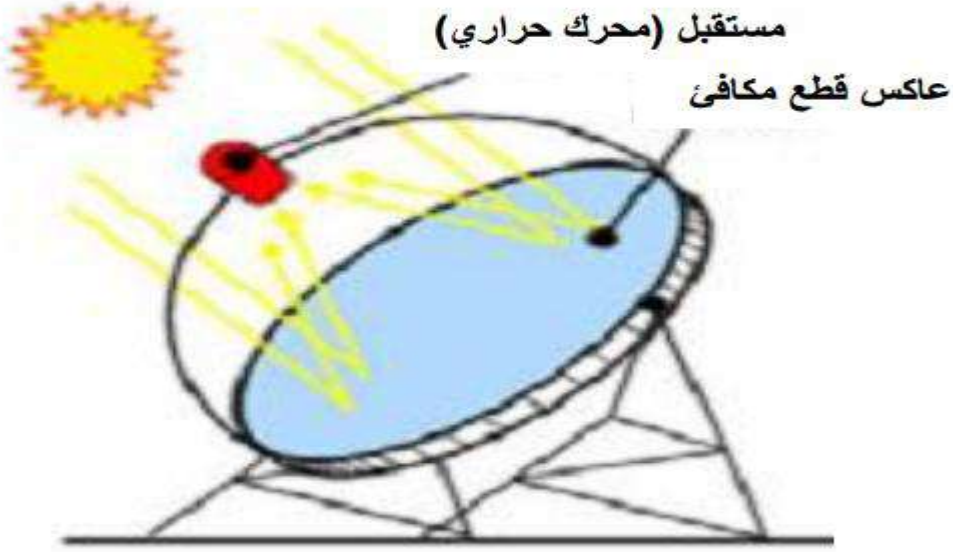
#### عيوبه:

- مازالت توقعات الأداء السنوي و تكاليف البناء و التشغيل بحاجة إلى قدرات أكبر كي تقيّم بدقة.

### 3-5-II- مركّزات الأطباق Dish Concentrators:

بتركيب طبق ذو سطح استقبال عاكس لأشعة الشمس على وحدة لتتبع الإشعاع الشمسي يمكن توجيه الإشعاع الشمسي إلى مستقبل يتحرك مع حركة الطبق، و تصل درجات الحرارة في هذا النوع إلى نحو 750. تسمى أيضا مركّزات الأطباق المنحنية Compound Curvature Concentrators حيث أن سطحها العاكس ينحني في مستويين، كما يطلق عليها Dish Concentrators لأنها تشبه الطبق [16].





الشكل (7-2): تقنية الأطباق [17]



الشكل (8-2): صورة لمحطة شمسية تعتمد على تقنية الأطباق [16]

#### تطبيقاته [14]:

- نظام متكامل و محطات صغيرة غير متصلة بالشبكة أو مجمعة في محطات أكبر متصلة بالشبكة.
- أكبر المحطات قدرة حتى الآن 100 ميغا وات كهرباء.
- 100 ميغا وات مقترحة و 500 ميغا وات في أستراليا و الولايات المتحدة.

مزاياه:

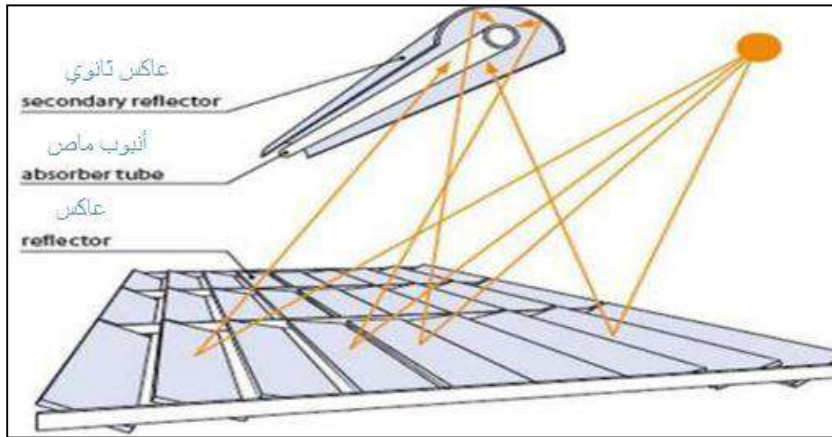
- متوسط كفاءة مستوى مرتفع يتعدى 30%.
- يمكن بنائها بصورة نمطية.
- إمكانية مثلى لإدماج التخزين الحراري في المحطات الكبيرة.
- خبرة عملية في تشغيل المحطات الأولى.
- سهولة التصليح والإنتاج بطريقة نمطية.
- لا تحتاج دورتها إلى مياه تبريد.

عيوبه:

- لم تقم محطات تجارية بقدرات كبيرة بعد.
- لم تثبت توقعات انخفاض التكلفة بزيادة الإنتاج بعد.
- صعوبة التوصيل بالشبكة.
- ما زالت إمكانية إضافة وقود آخر للتهجين قيد البحث والتطوير.

II-4-5- عاكس فرينيل الخطي Linear Fresnel Reflector:

تركز صفوف من العاكسات الشبه مسطحة أشعة الشمس على مستقبل خطي مرتفع مقلوب، فتحول الماء الذي يجري في المستقبل تدريجياً إلى بخار. يشابه هذا النظام القطع المكافئ كونهما مركزان خطيان و لكنه يتميز عنه لإنخفاض تكاليف تصنيع العواكس و هياكلها و تركيبها، كما يسمح ثبات المستقبل التخلي عن استخدام الوصلات الدوارة الضرورية للقطع المكافئ بالإضافة إلى إمكانية استخدام مرايا شبه مسطحة وذلك لطول مسافة البعد البؤري. وتبشر تلك المزايا بالفرينيل كبديل محتمل لتوفير الحرارة الشمسية المطلوبة في العديد من العمليات الصناعية المختلفة بدلاً من القطع المكافئ [14].



الشكل (9-2): تقنية عاكس فرينيل الخطي [18]



الشكل (2-10): صورة لعاكس فرينل الخطي [14]

#### تطبيقاته:

- محطات متصلة بالشبكة، أو توليد بخار كي يستخدم في محطات الطاقة التقليدية.
- أكبر المحطات قدرة حتى الآن 5 ميغا وات في الولايات المتحدة، و 177 ميغا وات تحت الإنشاء

#### مزاياه:

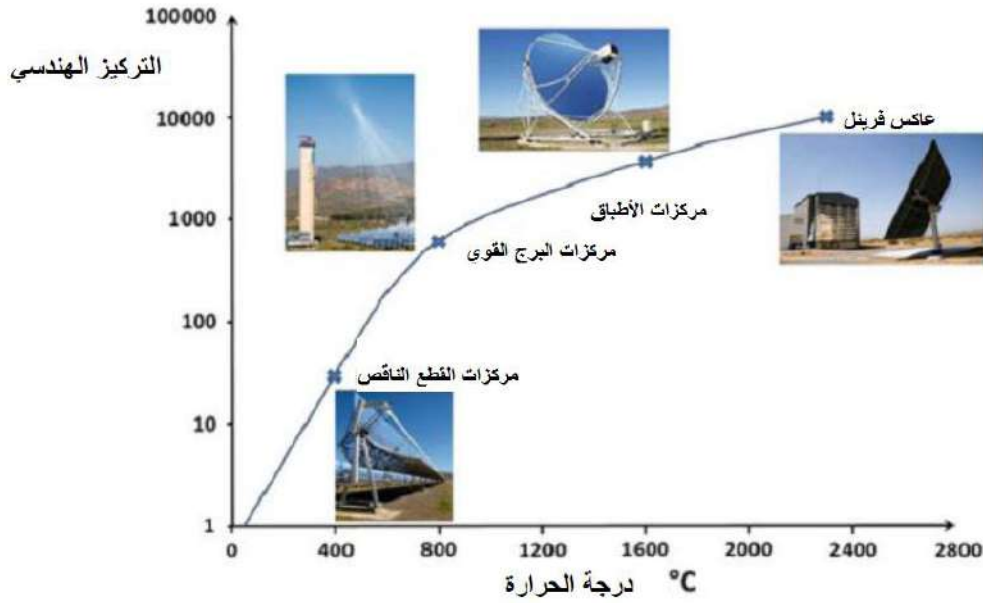
- سريع التجهيز.
- يستخدم مرايا مسطحة متوفرة بالأسواق تشكل في الموقع مما يقلل من تكاليف التصنيع.
- إمكانية التهجين.
- إستغلال ممتاز لمساحة الأرض في وقت الظهيرة.

#### عيوبه:

- دخلت مؤخرا للأسواق بمحطات صغيرة حتى الآن.

## II-6- المقارنة بين مختلف أنظمة التركيز الشمسي:

يوضح الشكل (2-11) حدود التركيز الهندسي و درجات حرارة التشغيل لمختلف أنظمة التركيز الهندسي، و يعتبر مجال درجة حرارة اشتغال مركبات القطع الناقص هو الأنسب لتوليد البخار، بينما الأنظمة الأخرى تكون مناسبة في صهر المعادن و الأملاح و التخزين الحراري.



الشكل (11-2): بالتركيز الهندسي و درجة حرارة اشتعال مختلف المركبات الشمسية [19]

## II-7- المردود:

مردود المركز الشمسي الكلي هو النسبة بين الطاقة الحرارية التي إمتصها المائع وسيط التسخين خلال زمن محدد وطاقة الإشعاع الشمسي التي إستقبلها المركز الشمسي خلال نفس الزمن وذلك تحت شروط حالة الإستقرار وهي الحالة التي يكون فيها مجموع تدفق الحرارة الممتصة من طرف المائع وسيط التسخين وتدفق الضياع الحراري يساوي تدفق الإشعاع الشمسي الوارد على سطح المستقبل.

ويتميز المُرَكِّز الشمسي بمردود للعمليات الضوئية (مردود ضوئي) و مردود للعمليات الحرارية (مردود حراري) بحيث يكون المردود الكلي هو حاصل جداء المردودين [3].

$$\eta_{global} = \eta_{optique} * \eta_{thermique} \quad (2-2)$$

وتعطي عبارة المردود بالعلاقة [3]:

$$\eta = \frac{m \cdot C_p (T_s - T_e)}{I_g S} \quad (3-2)$$

II-7-1- المردود الضوئي:

هو نسبة شدة الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأنبوب الماص (فتحة الخروج) إلى شدة الإشعاع الشمسي الوارد على سطح الاستقبال (فتحة الدخول) ويتعلق بمعامل نفاذ  $\tau$  كل من الغطاء الزجاجي و الظرف الزجاجي ومعامل إنعكاس  $\rho$  السطح العاكس.

ويبرز هذا المردود العيوب الضوئية للمواد المكونة للمركز الشمسي وكذا الضياع الضوئي الناجم عن عدم تركيز الإشعاع الشمسي المنتشر وتعطى عبارته [3]:

$$\eta_{optique} = \left[ \frac{I_b + \frac{1}{Cr} I_d}{I_b + I_d} \right] \cdot \tau_b \cdot \tau_e \cdot \rho_m^n \quad (4-2)$$

حيث Cr: يعبر عن التركيز الهندسي n: متوسط عدد الانعكاسات

وتعطى العلاقة التجريبية لـ n بالعلاقة التالية:

$$n = 1 + 0.07.Cr \quad (5-2)$$

II-7-2- المردود الحراري:

هو نسبة شدة الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الماص  $P_r$  وشدة التدفق الحراري المفيد  $P_u$  (الذي إكتسبه المائع) ويعطى بالعلاقة [3]:

$$\eta_{thermique} = \frac{P_u}{P_r} \quad (6-2)$$

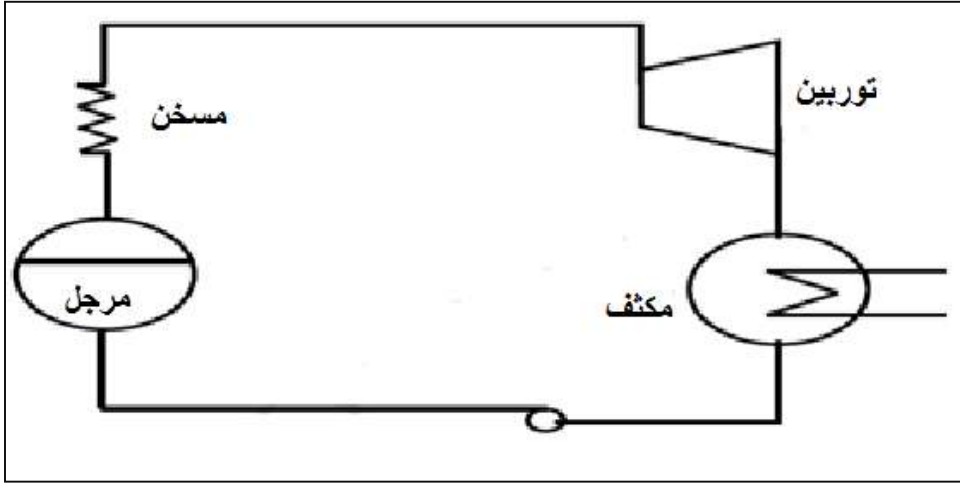
$$P_u = m C_f (T_{fs} - T_{fe}) \quad (7-2)$$

$$P_r = P_u + P_p \quad (8-2) \quad \text{حيث:}$$

$p_p$ : تمثل تدفق الضياع الحراري.

8-II- مكونات محطات المركزات الشمسية:

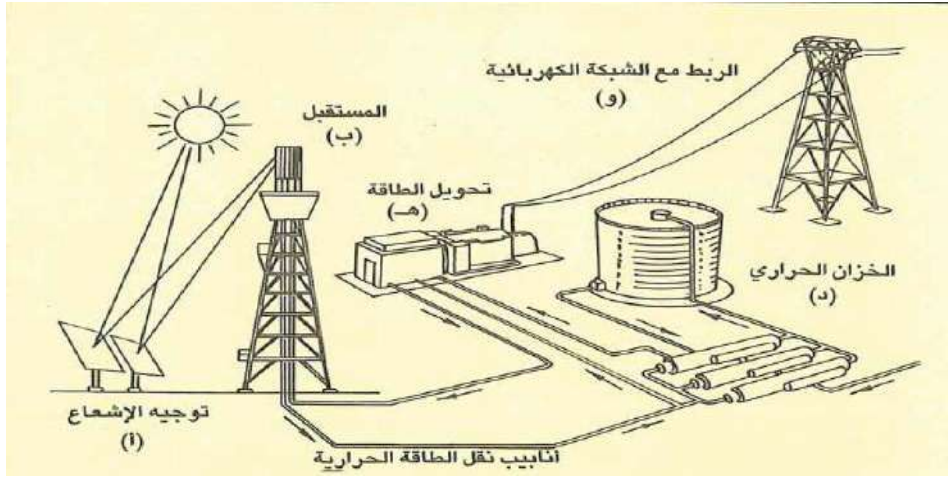
تتكون المحطة البسيطة لتوليد الطاقة بالبخر من توربينة بخارية Steam Turbine ومرجل chaudron لتوليد بخار مرتفع الضغط، و مسخن بخار Super-heater لتسخين البخار و رفع درجة حرارته، و مكثف Condenser لتكثيف البخار الخارج من التوربينة، ومضخة Pump لإعادة ضخ الماء إلى المرجل، كما هو موضح في الشكل (12-2):



الشكل (12-2): رسم تخطيطي مبسط لمحطة قوي بخارية [16]

ويمكن للدورة البسيطة الموضحة في الشكل (12-2) أن تعمل بالطاقة الشمسية بإضافة الحرارة الناتجة من التسخين الشمسي إلى الغلاية، وكما سبق و أوضحنا يمكن الحصول على الحرارة من تقنيات المركزات الشمسية السابقة، مع إمكانية إضافة حرارة بالطرق التقليدية (حرق المازوت أو الغاز الطبيعي) في الأوقات التي تغيب فيها الشمس أو في المساء.

وعادة ما يطلق لفظ "الحقل الشمسي" على المكونات الخاصة باستقبال الإشعاع الشمسي و توجيهه نحو المستقبل، بغض النظر عن التقنية المستخدمة و بناءً على ذلك يتكون الحقل الشمسي من مجموعات كبيرة من مصفوفات المركزات الشمسية التي تعمل على تركيز الإشعاع الشمسي المباشر على المستقبل الحراري المركب في بؤر المركزات الشمسية لتسخين مائع التشغيل، و رفع درجة حرارته حتى يتحول إلى بخار يوجه بعدها نحو توربينة بخارية بهدف توليد الطاقة الكهربائية و يمكن أيضا تخزين الحرارة المكتسبة أثناء النهار في خزانات تحتوي ملح سائل تستخدم في تشغيل توربينة بخارية ليلا أو توليد بخار إضافي عند فترات الذروة.



الشكل (2-13): مثال نموذجي لمحطة توليد الطاقة الكهربائية باستخدام نظام التركيز البرجية [15]

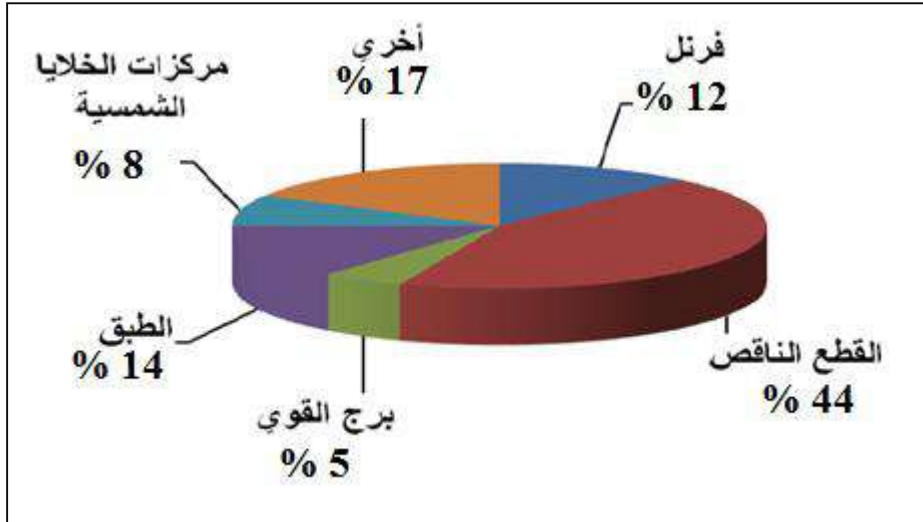
## II-9- المشهد الراهن لسوق المركزات الشمسية:

مثلا في أمريكا التكنولوجيا السائدة في التركيبات حاليا هي مرايا القطع الناقص حيث سيتم الإعتماد عليها في ثماني مشروعات تصل قدرتها المركبة إلى نحو 351 ميغا وات، في حين توجد أربع مشروعات ستعمل بنظام التكامل مع الدورة المركبة وذلك باستخدام توربينات الدورة المركبة والتي تعمل بالغاز الطبيعي مع مركزات القطع الناقص، أيضا توجد ثلاث مشروعات تحت التنفيذ بنظام البرج المركزي بقدرة إجمالية 44 ميغا وات، وأخيرا مشروع بمركزات مرايا الفرنل، الجدير بالذكر أن القدرات المذكورة في الجدول (2-1) تمثل المشاركة الشمسية فقط بخلاف الجزء الحراري.

الجدول (1-2): محطات مركزات شمسية مازالت تحت الإنشاء حتى سبتمبر 2009/16

الدولة	الشركة المنفذة	التكنولوجيا المستخدمة	القدرة المركبة (MW)	اسم المحطة
أمريكا	FPL	محطة شمسية بالتكامل مع الدورة المركبة	75	Martin Next Generation Solar Energy Center
إسبانيا	Solar Millennium and ACS/Cobra	القطع الناقص	50	Andasol 2
إسبانيا	MAN Solar Millennium	القطع الناقص	50	Andasol 3
إسبانيا	ACS/Cobra	القطع الناقص	50	Extresol 1
إسبانيا	Abengoa Solar	القطع الناقص	50	Solnova 1
إسبانيا	Abengoa Solar	القطع الناقص	50	Solnova 3
إسبانيا	Iberdrola	القطع الناقص	50	Puertolano
إسبانيا	Acconia	القطع الناقص	50	La Risca 1 or Alvarado
مصر	Solar Millenium	محطة شمسية بالتكامل مع الدورة المركبة	20	Kuraymat Plant
الجزائر	Abengoa Solar	محطة شمسية بالتكامل مع الدورة المركبة	20	Hassi R'mel
المغرب	Abengoa Solar	محطة شمسية بالتكامل مع الدورة المركبة	20	Ain Beni Mathar plant
إسبانيا	Sener/Torresol	برج القوي	19	Solar Tres
أمريكا	Esolar	برج قوي	5	Esolar Demonstrator
أمريكا	Ausra	فرنل	5	Kimberlina
أمريكا	Sopogy	القطع الناقص	1	Keahole Solar Power





الشكل (2-14): تكنولوجيا المركبات الشمسية المختلفة بحلول عام 2012  
( إجمالي القدرات المركبة 11.000 ميغا وات ) [16]

## 10-II- معوقات انتشار محطات الطاقة الشمسية:

- تتركز معوقات تكنولوجيا المركبات الشمسية عالميا في العديد من النقاط التي تعد حائلا دون انتشارها في العديد من الدول وخاصة الدول النامية، حيث نظراً:
- ارتفاع التكلفة المادية كأحد الجوانب الرئيسية عند المقارنة بين البدائل و بعضها بغض النظر عن الجوانب البيئية و الاجتماعية.
- ضعف البنية التحتية اللازمة لتوطين تكنولوجيا المركبات الشمسية خاصة في مجال الشبكات الكهربائية في بعض الدول.
- غياب السياسات المحفزة للاستثمار.
- المخاطر الفنية لأن هذه التكنولوجيا تعمل في النهار فقط و تتوقف ليلا لغياب الإشعاع الشمسي.

## خاتمة:

يتميز التركيز الشمسي بالمحافظة على البيئة و باعتماده على مصدر لا ينضب، وقد تطورت تكنولوجيا التركيز الشمسي بدرجة تتيح انتشارها بصورة تصاعدية في منطقة الحزام الشمسي.

تعتبر تكنولوجيا التركيز الشمسي وسيلة لإنتاج كميات ضخمة من الكهرباء باستخدام تكنولوجيات أكثر ملائمة للتخفيف من إستهلاك الوقود الأحفوري، كما يمكنها توفير الطاقة في الأوقات غير المشمسة وهذا ما يسمى بالتخزين للحرارة سنتعرف على أنماطه في الفصل الثالث.

## الفصل الثالث :

التخزين الحراري الكميائي للطاقة الشمسية



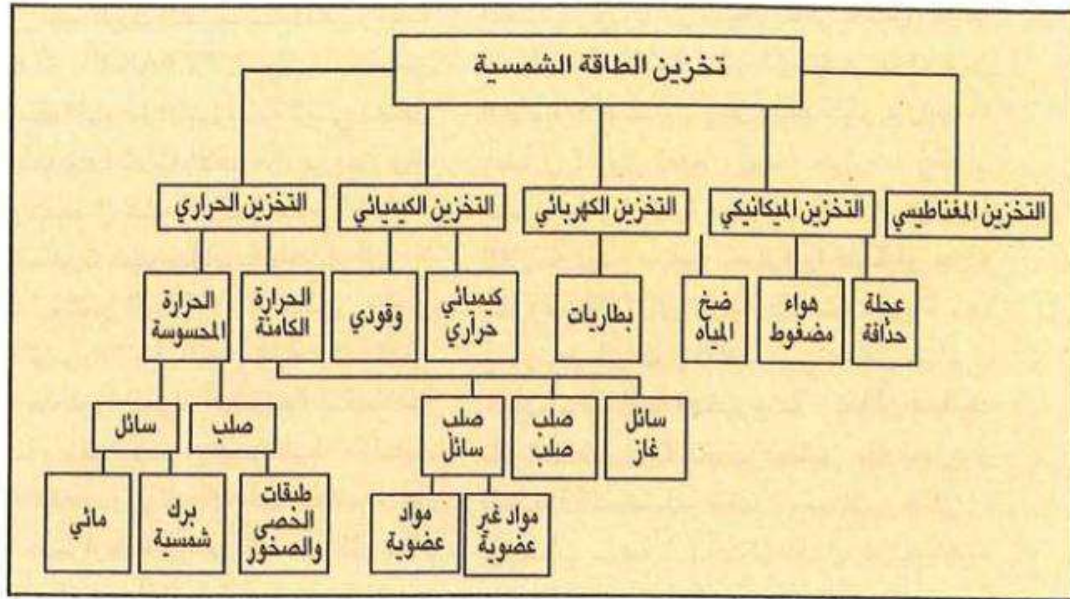
مقدمة:

يمكن تخزين الطاقة الشمسية لفترات قصيرة أو طويلة حسب متطلبات الطاقة، ويرافق ذلك آليتان رئيستان معروفتان هما الشحن والتفريغ، وعلى هذا الأساس يعتمد تصميم نظام التخزين على عدة متغيرات وعوامل أهمها: الإشعاع الشمسي، ونوع وسط التخزين المستخدم، ومقدار الفاقد في الطاقة المتبادلة أثناء التخزين، وتكلفة معدات التخزين، وأخيرا الحمل الحراري أو الكهربائي المطلوب، ورغم أن الطاقة الشمسية أخذت تتبوء مكانا مهما ضمن البدائل المتعلقة بالطاقة المتجددة إلا أن مدى الاستفادة منها يرتبط بوجود أشعة الشمس طيلة وقت الإستخدام، وعليه يجب تطوير تقنية تخزين تلك الطاقة للإستفادة منها أثناء فترة إحتجاب الإشعاع الشمسي وهناك طرق تقنية لتخزين الطاقة الشمسية وتشمل التخزين الحراري والكهربائي والميكانيكي والكيميائي والمغناطيسي...إلخ. ولكن يظل السؤال ماهي أفضل طريقة لتخزين الطاقة الشمسية التي تحقق الكفاءة و الجدوى الاقتصادية المطلوبة ؟

و في هذا الفصل سنتطرق إلى معرفة طرق التخزين الحراري والتخزين الكيميائي للطاقة الشمسية.

III -1- طرق تخزين الطاقة الشمسية:

يتم تخزين الطاقة الشمسية وفق طرق وآليات مختلفة، تختار الطريقة حسب النمط المطلوب لإسترجاعها وتكلفتها المادية ومردود إسترجاعها ومدة تخزينها ويبين الشكل (1-3) مخططا مبسطا لأهم الطرق والنماذج الممكنة لتخزين الطاقة الشمسية:



الشكل (1-3) : الطرق المختلفة لتخزين الطاقة الشمسية [20]

III -2- معايير إختيار وتصنيف أنظمة التخزين الحراري [21]:

إن كمية الطاقة المخزنة والمستعادة ترتبط بالسعة الحرارية، فهي النقطة الرئيسية في تصميم نظام التخزين، لكن إختيار تكنولوجيا التخزين أمر بالغ الأهمية يقوم على عدة معايير أخرى تعتمد على الحاجة، وترتبط بمجموعة من المواصفات والقيود التنظيمية و الإقتصادية والبيئية، وكذا عامل الزمن و عدة عوامل أخرى يمكن تلخيصها فيما يلي الشكل (2-3):

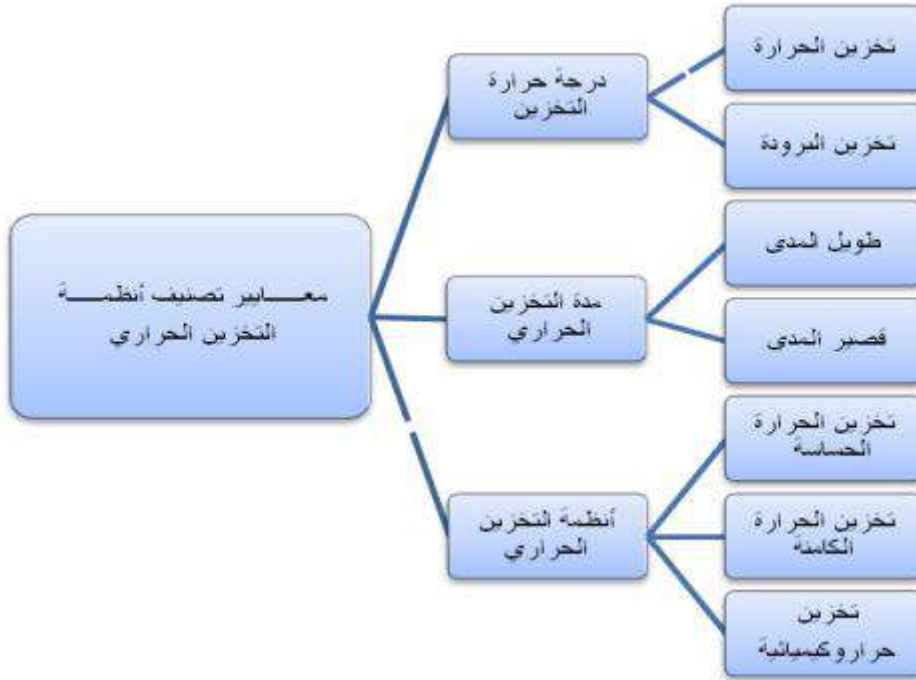
- كثافة الطاقة، درجة حرارة التشغيل و زمن التخزين (تخزين يومي، تخزين موسمي).
- خصائص مواد التخزين : وتشمل المعايير التالية :
  1. معايير ترموديناميكية (درجة حرارة الإنصهار، السعة الحرارية، والموصلية الحرارية...).
  2. معايير فيزيائية وكيميائية (الإستقرار الكيميائي، الحجم المستنفذ، عدم حدوث التحلل و التآكل...).
  3. معيار بيئي ( درجة التلوث، وجود أو عدم وجود تسمم...).
  4. المعيار الإقتصادي (تكلفة التصميم، التشغيل، الصيانة وإعادة التدوير)، والتطور التكنولوجي.



الشكل (2-3) : معايير إختيار نظام التخزين الحراري [21]

- يمكن تقسيم تقنيات تخزين الطاقة الحرارية إلى عدة أقسام الشكل (3-3) وذلك حسب معايير مختلفة [21]:
  - المعيار 1: إذا كان المعيار هو درجة الحرارة فإن أنظمة التخزين تنقسم إلى قسمين هما: أنظمة تخزين الحرارة وأنظمة تخزين البرودة.
  - المعيار 2: إذا كان المعيار هو مدة التخزين نجد قسمين من أنظمة تخزين الحرارة هما: تخزين طويل المدى وتخزين قصير المدى.

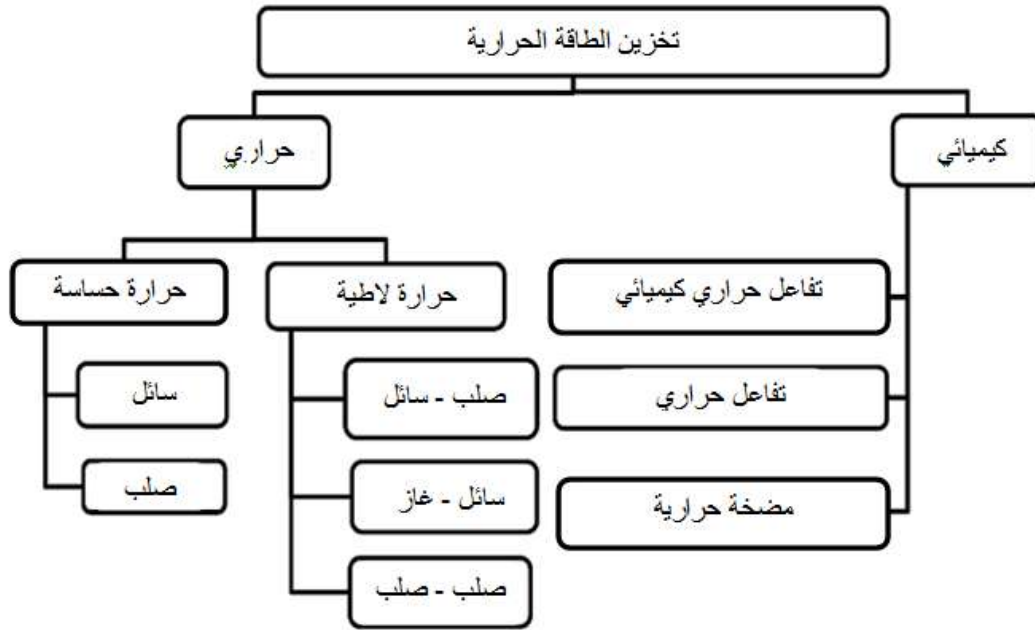
- المعيار 3: من جهة أخرى إذا كان المعيار هو نظام التخزين فإنه يوجد ثلاث أنواع من تخزين الطاقة الحرارية وهي:
- 1- التخزين بالحرارة الحساسة.
  - 2- التخزين بالحرارة الكامنة.
  - 3- التخزين بالحرارة الكيميائية.



الشكل (3-3): مخطط تصنيف معايير أنظمة تخزين الطاقة الحرارية [21]

### III-3- التخزين الحراري [20]:

يتم عادة تخزين الحرارة بثلاث طرق معروفة، الأولى ترتبط بتخزين الحرارة المحسوسة المتراكمة، والثانية تتعلق بتخزين الحرارة المتبادلة أثناء التغير الطوري في وسط التخزين والثالثة تتعلق بالتحويلات الكيميائية التي يوافقها إمتصاص أو طرد للحرارة والتي يمكن تلخيصها في الشكل (3-4):



الشكل (3-4): مخطط يوضح تقنيات تخزين الطاقة الحرارية [21]

### III -1-3- تخزين الحرارة المحسوسة:

يعتمد مبدأ تخزين الحرارة المحسوسة المتراكمة عن طريق تغيير درجة حرارة الوسط دون تغيير في بنيته الفيزيائية أو الكيميائية كالماء والصخور والحصى والطوب الأحمر وبعض الزيوت والأملاح والمواد غير العضوية وغيرها، وفي حالة المواد الصلبة المسامية فإن الحرارة تخزن عن طريق تدفق الغاز أو السائل عبر مساماتها وتجاويفها، ويرتبط إختيار المادة عند تخزين الحرارة المحسوسة بنوع التطبيق ودرجة الحرارة المطلوبة فالماء مثلا يستخدم لدرجات حرارة دون 100 درجة مئوية وتعد تقنية استخدام المياه الجوفية في خزن الحرارة إحدى الطرق الهامة في تخزين الطاقة الشمسية طبيعيا ولفترات طويلة في حدود السنة [20].

ويرتبط إختيار 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 الحرارة.
- كتلة مواد التخزين.

بحيث إذا كان الضغط ثابت وقمنا بتسخين جسم صلب أو 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:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} mC_p dT \quad (1-3)$$

$Q$  : كمية الحرارة المخزنة (J).

$m$  : كتلة مادة التخزين (Kg).

$C_p$  : الحرارة النوعية الخاصة بمادة التخزين (J/kg.K).

$dT$  : التغير في درجة الحرارة أثناء عملية التخزين.

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

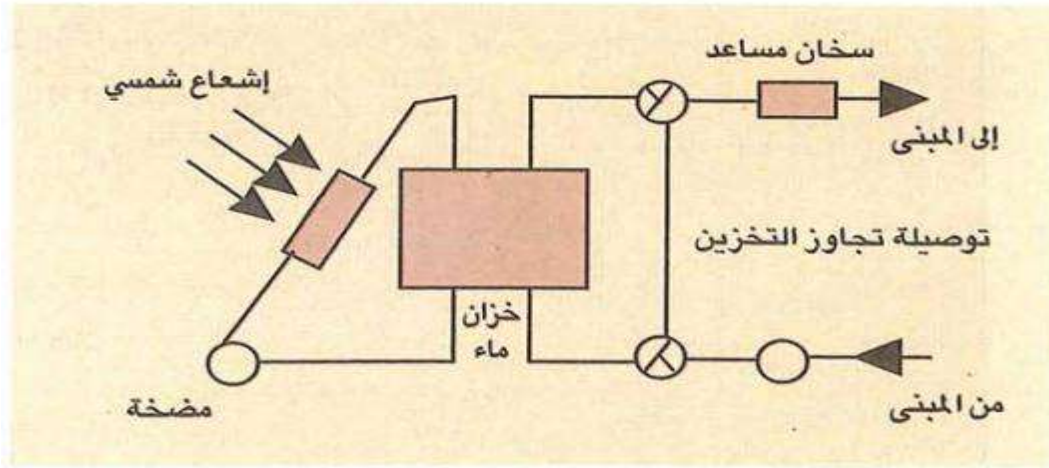
$$Q = mC_p(T_2 - T_1) \quad (2-3)$$

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

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

### III-1-1-3- التخزين بالسوائل:

يعد التخزين بالماء أشهر الطرق لتخزين الحرارة حيث أن الماء من أرخص المواد المعروفة في مجال تخزين الطاقة الشمسية عند مستويات حرارية منخفضة ويتمتع الماء بسعة حرارية مرتفعة ويتوفر بكثرة وغير سام ويمكن تخزينه بسهولة، ولذا فإن الخزانات المائية تستخدم بكثرة في معظم تطبيقات السخانات الشمسية ونظم التدفئة المركزية، ويوضح الشكل (3-5) مثالا نموذجيا لنظام التسخين والتدفئة بالطاقة الشمسية:



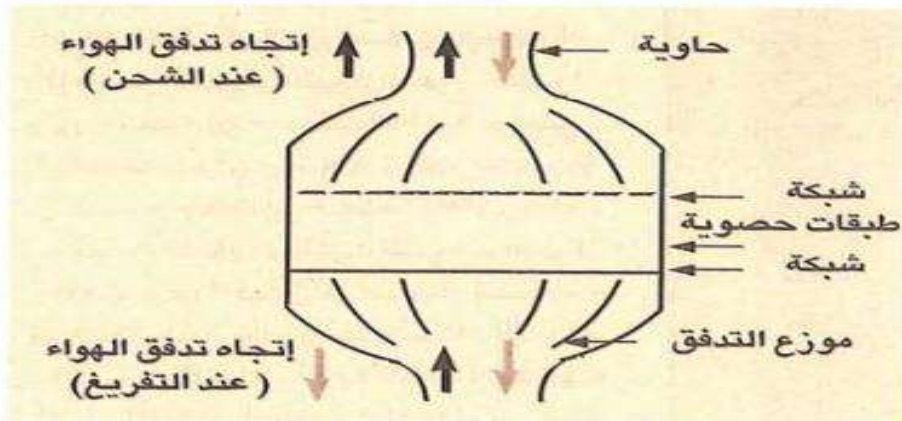
الشكل (3-5): نظام تسخين المياه والتدفئة بالطاقة الشمسية [20]

كما يمكن زيادة تخزين الطاقة بالماء باستخدام بعض المركبات أو المحاليل اللاعضوية، ومن هذه المواد تعد مادة هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) من المركبات المناسبة لرفع درجة حرارة التخزين حتى 300 درجة مئوية.

### III-3-1-2- التخزين بالمواد الصلبة:

يعد استخدام الصخور والحصى من أهم مبادئ التخزين بالمواد الصلبة، وفي هذه الطريقة يتم وضعها مترابطة في حيز مغلق ومعزول، وهي مناسبة جدا في المباني أو المرافق العامة.

ومما يجدر ذكره أن المواد الصلبة يمكن استخدامها في تخزين الطاقة الحرارية حتى درجات الحرارة 1000 درجة مئوية، ويبين الشكل (3-6) مقطعا مبسطا لوحدة تخزين بطريقة الطبقات الحصى المترابطة:



الشكل (3-6): مقطع لوحدة تخزين بطريقة الطبقات الحصى المترابطة [20]

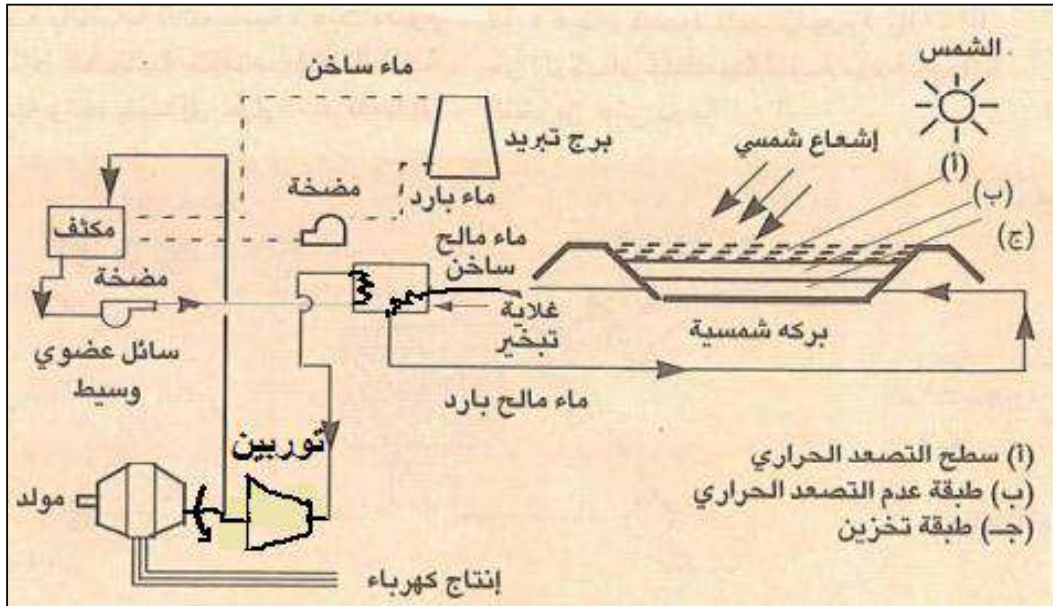


وفيها يتم دفع الهواء لإضافة أو نزع الحرارة المتراكمة حيث يساعد هيكلها المسامي وتوفر التجاويف الكثيرة على حركة الهواء الساخن في وحدة التخزين، ويلاحظ من الوثيقة أيضا إتجاه وحركة الهواء أثناء إضافة الحرارة (الشحن) وسحبها (التفريغ)، ويمكن إستخدام مواد صلبة أخرى مثل أكاسيد المغنيزيوم أو الألمنيوم أو السيليكون في تطبيقات درجات الحرارة المرتفعة نسبيا بسبب قدرتها على تخزين الطاقة بطريقة الحرارة المحسوسة.

### III-3-1-3- التخزين بالبرك الشمسية:

توفر هذه الطريقة وسيلة سهلة و إقتصادية لإلتقاط وتجميع كميات كبيرة من الطاقة الشمسية عند درجات حرارة تتراوح بين 50 إلى 95 درجة مئوية ولها تطبيقات واسعة في التدفئة والتبريد بجانب تطبيقات صناعية مختلفة خاصة في إنتاج الطاقة الكهربائية، ومن أهم البرك الشمسية المعروفة حاليا الأحواض المائية ذات التدرج الملحي المركز.

ومن الأملاح المعروفة في هذا المجال كلوريد الصوديوم (NaCl) أو كلوريد المغنيزيوم (MgCl<sub>2</sub>)، وباستخدام هذه الأملاح يميل قاع البركة إلى لون غامق أو أسود يتم عنده إمتصاص الإشعاع الشمسي فتصل درجة حرارة الماء فيه إلى 95 درجة مئوية، ويبين الشكل (3-7) مثلا لمحطة كهربائية تعتمد على مبدأ البرك الشمسية:



الشكل (3-7): مخطط لمحطة إنتاج الكهرباء بالبرك الشمسية [20]

III -2-3- التخزين الحراري الكامن:

عند حدوث تبادل حراري في وسط ما فإن ذلك يرافقه تغير في الطور من حالة إلى أخرى مثل تغير حالة المادة من صلب إلى سائل إلى غاز. تدعى هذه الآلية بالتخزين الحراري الكامن (Latent Heat Storage) وتعد هذه الطريقة أكثر جاذبية من غيرها بسبب إزدياد كثافتها التخزينية في الوسط المدروس، وترتبط قيمة الحرارة الكامنة لتغير الطور مباشرة بدرجة حرارة الوسط الطوري، وعلى سبيل المثال تعادل الطاقة الحرارية اللازمة لذوبان كيلو غرام من الجليد (صلب) إلى واحد كيلو غرام ماء (سائل) دون تغير درجة حرارته (صفر مئوي) 80 مرة من الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة واحد كيلو غرام ماء (سائل) إلى درجة واحدة مئوية مما يدل على أن طور المادة هو عامل هام في تكثيف الطاقة المخزونة، فالحرارة الكامنة هي الطاقة التي تلعب دور في تغير حالة المادة كذلك خواص المادة وكمية المادة المستعملة.

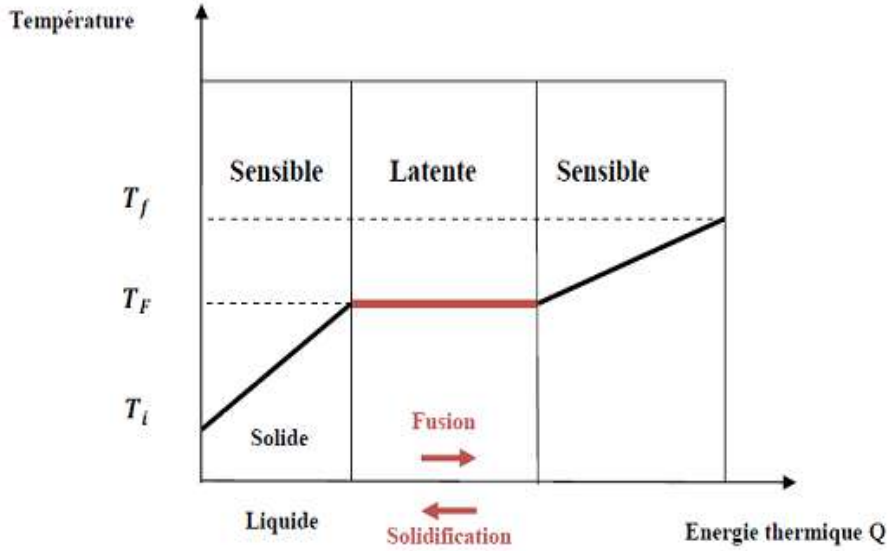
هذا النوع من التخزين يمكن أن يكون فعال بالنسبة للإختلافات في درجة الحرارة الضعيفة وتعطى كمية الحرارة لهذا النوع من التخزين بالعلاقة التالية:

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

وعند أخذ درجة الحرارة الابتدائية للمادة  $T_i$  ودرجة حرارة إنصهارها  $T_f$  فيمكن كتابة العلاقة:

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

في حالة استعمال مادة نقية يكون منحنى التغير في درجات الحرارة مماثل لما هو موضح في المنحنى الشكل (8-3):



الشكل (8-3): منحني يوضح الخطوات المختلفة خلال تخزين الحرارة الكامنة (الصلبة / السائلة) [22].

خلال تسخين المادة وقبل الوصول إلى درجة حرارة إنصهارها، نلاحظ أن منحني 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  $T_1$  إلى  $T_2$ ، حيث:

$$T_1 \leq T_f \leq T_2$$

فإن الطاقة المخزنة خلال هذا التحول تعطى بالعلاقة التالية والتي تمثل حدين هما الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة الكتلية  $m$  وهي تعميم للمعادلة (4-3):

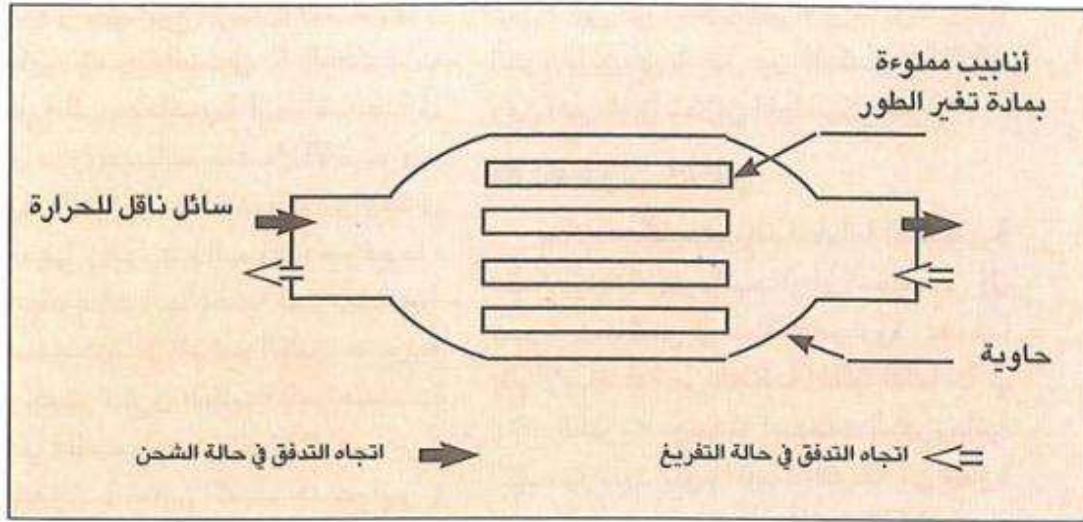
$$Q = \int_{T_i}^{T_f} m C_s dT + mL + \int_{T_i}^{T_f} m C_L dT \quad (J) \quad (5-3)$$

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

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

$L$ : الحرارة الكامنة لتغير الطور.

ويوضح الشكل (9-3) مقطعا مبسطا لأحد أجهزة وحدة تخزين الحرارة الكامنة، بالإضافة إلى اتجاهات التدفق الحراري في حالتَي الشحن والتفريغ:



الشكل (3-9): مقطع لجهاز وحدة تخزين الحرارة الكامنة (الحرارة المستترة) [20]

وتصنف المواد متغيرة الطور المعروفة في تخزين الطاقة الحرارية إلى مركبات عضوية مثل (مواد البارافينات والكحوليات)، ومركبات غير عضوية مثل (المعادن والخلائط)، ومزائجها المميهة (المائية) مثل (كبريتات الصوديوم المائية وأملاح كلوريد الكالسيوم المائية).

وبشكل عام يمكن القول أن المواد الطورية لها تطبيقات كثيرة في مجال تسخين المياه والتدفئة والمضخات الحرارية وغيرها، ومن بين الاستخدامات المتزايدة في المرافق العامة والمباني الكبيرة ذات النوافذ المختلفة. تخزين الحرارة الكامنة عن طريق سحب الحرارة الناتجة عن الأشخاص والأجسام المتحركة والأجهزة الآلية وغيرها، وإستخدامها لإنتاج الثلج ليلا بمساعدة الكهرباء الرخيصة وأسترجاعها نهارا لتبريد المباني، ويمكن بهذه الطريقة تخزين الطاقة خلال عام كامل.

و يبين الجدول (3-1) مقارنة لأهم خصائص التخزين الحراري المحسوس والكامن:

الجدول (3-1): مقارنة خصائص التخزين الحراري المحسوس والكامن [20]

التخزين الحراري الكامن		التخزين الحراري المحسوس		المقـدار
المواد غير العضوية	المواد العضوية	الماء	الصخور	
٢٣٠	١٩٠	—	—	حرارة الإنصهار (كيلو جول / كيلو جرام)
٢,٠	٢,٠	٤,٢	١,٠	الحرارة النوعية (كيلو جول / كيلو جرام)
١٦٠٠	٨٠٠	١٠٠٠	٢٢٤٠	الكثافة (كيلو جرام / متر مكعب)
٤٣٥٠	٥٣٠٠	١٦٠٠٠	٦٧٠٠٠	الكتلة (لكل ١٠ كيلو جول) *
٢,٧	٦,٦	١٦	٣٠	الحجم (لكل ١٠ كيلو جول) *
* كل ١٠ كيلو جول = ٣٠٠ كيلو وات - ساعة (تغير حراري ١٥ م)				

### III-4-4- مقارنة بين أنظمة التخزين الحراري:

#### III-4-4-1- من حيث كثافة الطاقة، درجة حرارة وزمن التخزين:

يقدم الجدول (3-2) بعض الخصائص الحرارية لأنظمة التخزين الحراري (كثافة الطاقة، درجات حرارة التشغيل لكل نظام، مدة التخزين) [21].

الجدول (3-2): بعض الخصائص الحرارية لأنظمة التخزين الحراري [21]

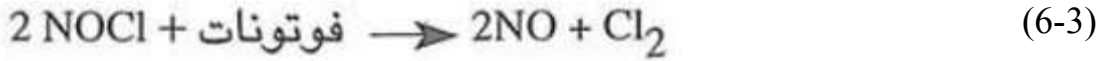
التخزين الحراري الكيميائي	التخزين الكامن	التخزين الحساس	
$\sim 0.1 - 1 \text{ kWh.Kg}^{-1}$	$\sim 0.05 - 0.1 \text{ kWh.Kg}^{-1}$	$\sim 0.02 - 0.03 \text{ kWh.Kg}^{-1}$	الكثافة الطاقوية الكتلية
$\sim 100 - 500 \text{ kWh.Kg}^{-1}$	$\sim 50 - 100 \text{ kWh.Kg}^{-1}$	$\sim 15 - 60 \text{ kWh.Kg}^{-1}$	الكثافة الطاقوية الحجمية
درجة حرارة الشحن أو المحيط	درجة حرارة الشحن	درجة حرارة الشحن	حرارة التخزين
غير محدودة	محدودة (ساعات- يوم- شهر)	محدودة (ساعات- يوم- شهر)	مدة التخزين

III-5- التخزين الكيميائي [20]:

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

III-5-1- التخزين الكيميائي-الوقودي:

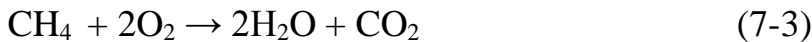
يقصد بالتخزين الوقودي تخزين الطاقة الشمسية على شكل وقود يمكن إنتاجه بواسطة التفاعلات الكيموضوئية، وفي هذه الحالة يمكن استخدام بطاريات تخزين خاصة يحدث منها تفاعلات كيميائية عن طريق تأثير الضوء (الإشعاع الشمسي) عند الشحن، ثم تفريغها بالطريقة الكهربائية التقليدية، ومن أهم التفاعلات المعروفة في تخزين الطاقة الشمسية كيميائيا مايلي:



حيث يمثل الفوتون جسيم الطاقة الموجودة في الإشعاع الضوئي (الشمسي) ومن الممكن أيضا استخدام التحليل الكهربائي للماء (الكهروليتي) لإنتاج غاز الأوكسجين والهيدروجين وإعادة إتحادهما في معدات خلوية خاصة تدعى خلايا الوقود لإنتاج الطاقة الكهربائية، و في هذه الطريقة يمكن تخزين الأوكسجين والهيدروجين بفعالية عالية على شكل غاز أو سائل وعلى هذا الأساسي يمكن استخدام الهيدروجين فيما بعد كوقود فعال غير ملوث للبيئة لتشغيل محركات السيارات و الآلات و المعدات الكهربائية المختلفة.

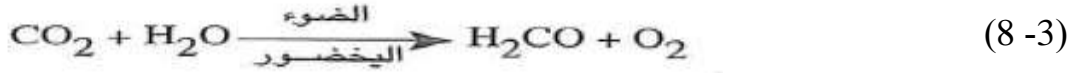
يخزن الهيدروجين في أشكال مختلفة كغاز مضغوط أو كسائل أو كمواد معدنية مهدرجة.

من جهة أخرى يمكن استخدام الطاقة الشمسية في عمليات التخمر لبعض الطحالب و النباتات والفضلات لإنتاج غاز الميثان (CH<sub>4</sub>) الذي هو وقود جيد و مستقر عند درجة حرارة الجو المحيطة، و يمكن للميثان أن يتفاعل مع الأوكسجين لإطلاق الطاقة الحرارية المخزونة حسب التفاعل التالي:



و تشير كافة الدراسات و البحوث أنه تم تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية من الميثان بكفاءة 2%، وقد وجد أن كل 1 كيلو متر مربع من الطحالب يمكن أن ينتج كمية من الميثان تختزن 4 ميغا وات من الطاقة الشمسية، و تتطلب محاصيل الطحالب الحصاد و المعالجة لتعطي 5% مواد صلبة، أما الباقي فهي مياه متبقية يمكن الاستفادة منها لأغراض زراعية أخرى.

تخضع المواد الصلبة الناتجة إلى تخمر بدون وجود الهواء و لفترة ثلاثة أسابيع مما يؤدي إلى تحول نصفها إلى ميثان، إضافة إلى ذلك يستفاد من آلية التمثيل الضوئي من تخزين الطاقة الشمسية حسب التفاعل التالي :



و تكون المواد الهيدروكربونية الناتجة مستقرة عند درجة الحرارة المرتفعة يصبح التفاعل السابق معكوساً لإطلاق الطاقة الشمسية المخزونة بشكل حراري.

### III-5-2- التخزين الحراري الكيميائي:

الطاقة الحرارية الكيميائية هي الحرارة الممتصة أو المحررة أثناء حدوث تفاعل كيميائي ماص للحرارة أو ناشر للحرارة. ويعتمد تخزين الطاقة الحرارية الكيميائية على طاقة الروابط الكيميائية خلال تفاعل كيميائي عكوس. في هذا النظام سعة تخزين الحرارة مرتفعة عموماً لأن الطاقة الكيميائية تكون مرتفعة عند كسر الروابط الكيميائية وإعادة تركيبها في تفاعل كيميائي عكوس. ويعتبر هذا النظام أكثر تعقيداً من التخزين المحسوس والكامن. كما يجب في هذا النظام أن تكون المركبات الكيميائية المستخدمة تكون غير ضارة وغير قابلة للتآكل و يعتمد هذا النظام على الطاقة الممتصة وتحريرها في بداية مرحلة استرجاع الطاقة. حيث يتم إعادة الروابط الجزيئية عند عكس التفاعل الكيميائي، تعتمد الحرارة المخزنة على كمية المواد والحرارة المخزنة، تعطى حرارة التخزين الحراري الكيميائي بالعلاقة التالية [23]:

$$E = \sum_{i=1}^N \int_{T_i}^{T_f} m_i C_{p_i} dT + n_A \Delta H_n \quad (9-3)$$

**E**: كمية الطاقة المخزنة (J).

**m**: كتلة المادة المتفاعلة (Kg).

**n<sub>A</sub>**: عدد المولات (mol) للمركب الكيميائي (A)

**ΔH<sub>n</sub>**: أنتالبي التفاعل (J.mol<sup>-1</sup>).

هذا النوع من التخزين يجب أن تكون التفاعلات فيه إنعكاسية تماماً حتى لا تفقد العملية قدرة التخزين خلال دورات.

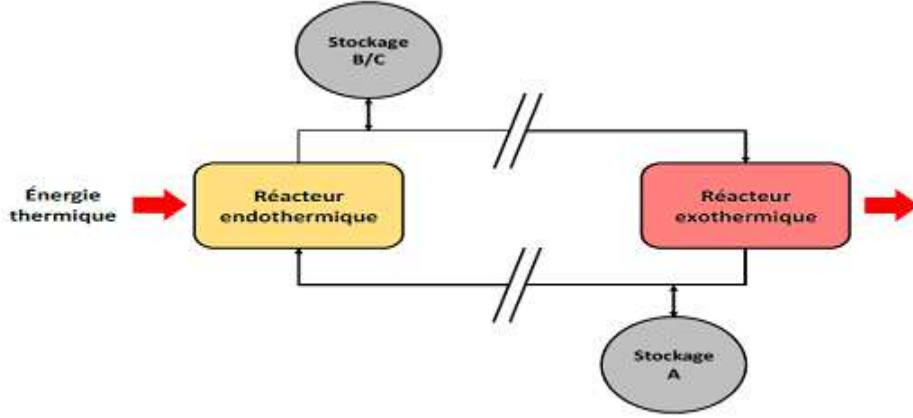
فالتفاعلات تحدث بالنموذج التالي:



التفاعلات الأكثر شيوعا التي نواجهها هي من الشكل التالي:

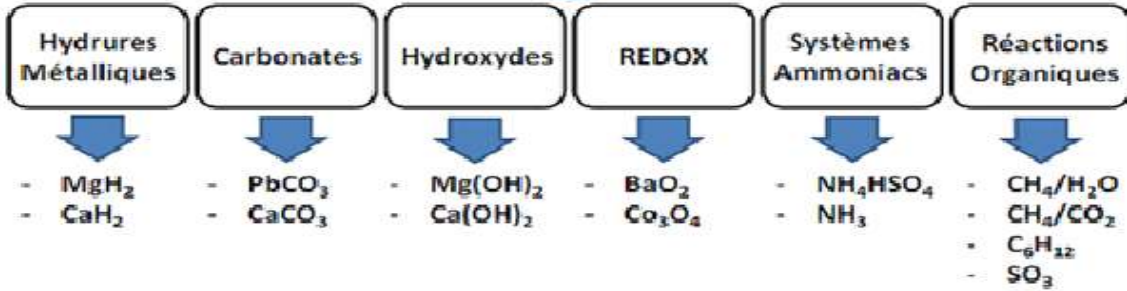


يظهر الرسم البياني الشكل (10-3) مبدأ تخزين حراري كيميائي [21]:



الشكل (10-3): مخطط يوضح مبدأ التخزين الحراري كيميائي [21]

تُخزين الطاقة الحرارية في مختلف التفاعلات التي درست أو مازالت قيد الدراسة لتطوير أساليب التخزين الحراري كيميائي، يتم تصنيفها في ست فئات: هيدريدات المعادن و الكربونات، هيدروكسيدات، تفاعلات الأكسدة



الشكل (11-3): تصنيف التفاعلات المعمول بها [22]

### III-5-2-1- مراحل تخزين الطاقة الحرارية الكيميائية :

أثناء تخزين الطاقة الحرارية وفق التفاعل:  $A + B \rightleftharpoons C + \text{الحرارة}$

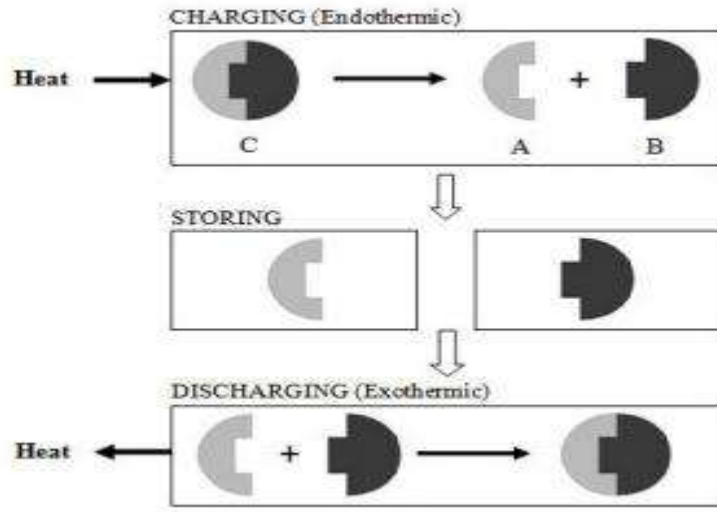
C هي المادة الحرارية الكيميائية (TCM) للتفاعل، في حين أن المواد A و B هي نواتج التخزين الحراري، المادة A يمكن أن تكون هيدروكسيد، هيدرات، كربونات، أمونييت، ... إلخ و B يمكن أن



يكون الماء، CO، الأمونيا، ... الخ. لا توجد أي قيود على الحالة الفيزيائية للمادة، ولكن عادة ما تكون C صلبة أو سائلة ويمكن أن يكون A و B في أي طور، بشكل عام تتضمن دورة TES ثلاث عمليات رئيسية [24]:

- الشحن.
- التخزين.
- التفريغ.

تم توضيح هذه العمليات الثلاث للكيمياء الحرارية لتخزين الطاقة في الشكل (3-12)، وبشكل فردي أدناه:



الشكل (3-12): العمليات المشاركة في دورة تخزين الطاقة الحرارية الكيميائية: الشحن والتخزين والتفريغ [24]

### III - 1-1-2-5 - الشحن:

هو تفاعل ماص للحرارة، حيث يتم إمتصاص الطاقة من الإشعاع الشمسي، هذه الطاقة تستخدم لتفكك المواد الكيميائية الحرارية، وما يعادلها إلى حرارة التفاعل أو المحتوى الحراري للتكوين. بعدها تشكل مادتين (A و B) في حالة فيزيائية مختلفة حيث يمكن تخزينها. التفاعل أثناء الشحن يمكن كتابته على النحو التالي:



### III-2-1-2-5 - التخزين:

بعد عملية الشحن يتم تخزين B بفصلها عن A مع فقدان طاقة ضئيلة أو معدومة، عادة ما يتم تخزين المواد في درجات الحرارة المحيطة، التي لا تؤدي إلى أي خسائر حرارية (إلا خلال التبريد الأولي للمكونات A و B بعد الشحن)، أي خسائر ناجمة عن تدهور المواد.

III-5-2-1-3 - التفريغ:

خلال هذه العملية يتم الجمع بين A و B في تفاعل طارد للحرارة (ناشر)، الطاقة المنبعثة من التفاعل تسمح لاستعادة الطاقة المخزنة. بعد التفريغ، يتم تجديد المكون C ويمكن استخدامه مرة أخرى في الدورة. يمكن كتابة تفاعل التفريغ على النحو التالي:



الجدول (3-3): المواد المستخدمة لتخزين الطاقة الحرارية الكيميائية [24]

Thermochemical Material (C)	Solid Reactant (A)	Working Fluid (B)	Energy Storage Density of Thermochemical Material (GJ/m <sup>3</sup> )	Charging Reaction Temperature (°C)
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	MgSO <sub>4</sub>	7H <sub>2</sub> O	2.8	122
FeCO <sub>3</sub>	FeO	CO <sub>2</sub>	2.6	180
Ca(OH) <sub>2</sub>	CaO	H <sub>2</sub> O	1.9	479
Fe(OH) <sub>2</sub>	FeO	H <sub>2</sub> O	2.2	150
CaCO <sub>3</sub>	CaO	CO <sub>2</sub>	3.3	837
CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	CaSO <sub>4</sub>	2H <sub>2</sub> O	1.4	89

- توفر هذه الطريقة نظاما تخزينيا عالي الكثافة عند درجات حرارة عادية، حيث يمكن تخزين الطاقة لمدة طويلة على شكل طاقة كامنة يمكن ضخها و نقلها فيما بعد لمسافات بعيدة، و يمكن توضيح ذلك من خلال التفاعل العكسي التالي [20]:



- من أجل تحديد التفاعل المناسب لنظام تخزين حراري كيميائي معايير النظام تم تعريفها من قبل (Chen و Wentworth عام 1976) [22] المعايير هي كالتالي:
  - تفاعل ماص للحرارة: درجة الحرارة أقل >1000 درجة مئوية.
  - تفاعل ناشر للحرارة: نطاق درجة حرارة 1000°C < T < 320°C.
  - ΔHr كبير و حجم مولي صغير لزيادة كثافة التخزين.
  - التفاعل عكسي تماما.
  - تفاعل سريع.

- يجب أن تكون النواتج سهلة الفصل و مستقرة (قليلة التفاعل مع الماء و الأوكسجين) خلال فترة التخزين.
- المنتجات المستخدمة يجب معالجتها بسهولة ( مفهوم السلامة).
- يجب أن تكون العملية مربحة بقوة.
- إعادة التجربة متاح.

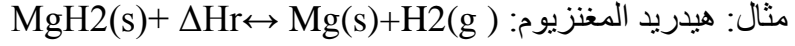
### III-6- الخصائص الحرارية لأكثر التفاعلات العكسية استعمالا في التخزين الحراري كيميائي:

نعرض بعض خصائص التخزين الحراري لبعض هذه التفاعلات العكسية المستعملة بكثرة في الجدول (4-3) التالي:

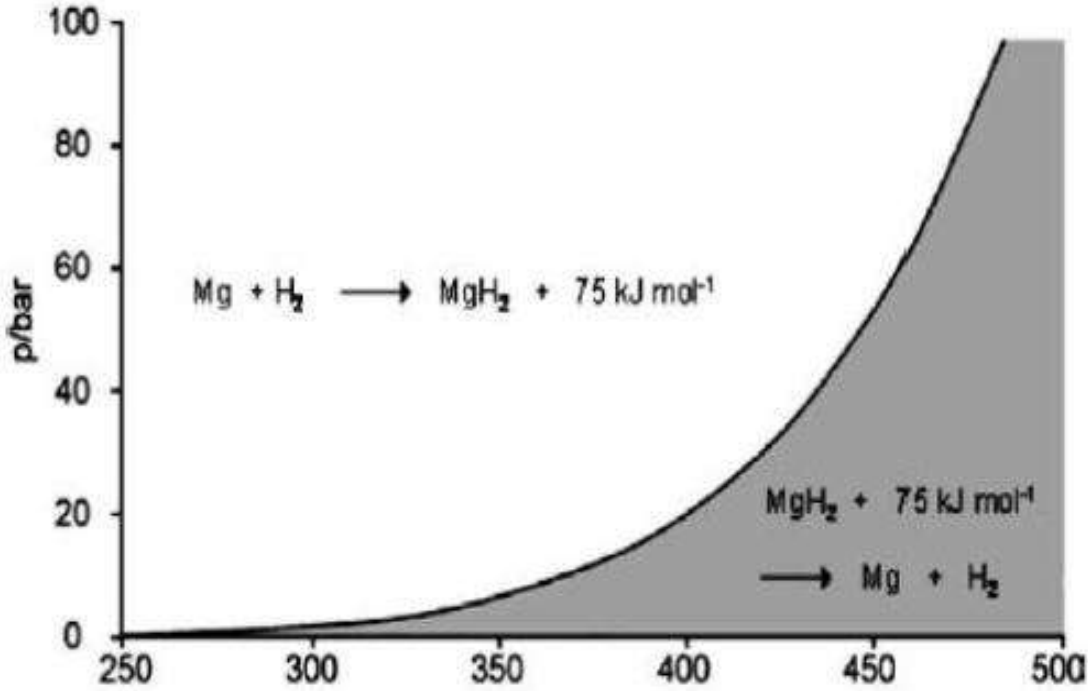
الجدول (4-3): الخصائص الحرارية لأكثر التفاعلات العكسية استعمالا في التخزين الحراري كيميائي [22]

REACTION	CONDITIONS OPERATOIRES DE CYCLAGE TESTEES	DENSITE ENERGETIQI
<b>الهيدريدات</b>		
$MgH_{2(s)} + \Delta Hr \Leftrightarrow Mg_{(s)} + H_{2(g)}$ $\Delta Hr = 75 \text{ kJ.mol}^{-1}_{MgH_2}$	<b>Charge:</b> $T = 380^\circ C$ $P_{H_2} = 0,14 \text{ MPa}$ <b>Décharge:</b> $T = 230^\circ C$ $P_{H_2} = 0,44 \text{ MPa}$	$580 \text{ kWh.m}^{-3}_{MgH_2}$ $0,80 \text{ kWh.kg}^{-1}_{MgH_2}$
<b>الكربونات</b>		
$CaCO_{3(s)} + \Delta Hr \Leftrightarrow CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$ $\Delta Hr = 178 \text{ kJ.mol}^{-1}_{CaCO_3}$	<b>Charge:</b> $T = 750^\circ C$ $P_{CO_2} = 0 \text{ Pa}$ <b>Décharge:</b> $T = 750^\circ C$ $P_{CO_2} = 20200 \text{ Pa}$	$692 \text{ kWh.m}^{-3}_{CaCO_3}$ $0,49 \text{ kWh.kg}^{-1}_{CaCO_3}$
<b>الهيدروكسيدات</b>		
$Mg(OH)_{2(s)} + \Delta Hr \Leftrightarrow MgO_{(s)} + H_2O_{(g)}$ $\Delta Hr = 81 \text{ kJ.mol}^{-1}_{Mg(OH)_2}$	<b>Charge:</b> $T = 350^\circ C$ $P_{H_2O} = 0 \text{ Pa}$ <b>Décharge:</b> $T = 90-200^\circ C$ $P_{H_2O} = 47400 - 203000 \text{ Pa}$	$388 \text{ kWh.m}^{-3}_{Mg(OH)_2}$ $0,39 \text{ kWh.kg}^{-1}_{Mg(OH)_2}$
<b>الأمونياك</b>		
$2 NH_{3(g)} + \Delta Hr \Leftrightarrow N_{2(g)} + 3 H_{2(g)}$ $\Delta Hr_{Charge} = 66,9 \text{ kJ.mol}^{-1}_{NH_3}$ $\Delta Hr_{Décharge} = 53 \text{ kJ.mol}^{-1}_{NH_3}$	<b>Charge:</b> $T = 450^\circ C$ $P = 15 \text{ MPa}$ <b>Décharge:</b> $T = 450^\circ C$ $P = 30 \text{ MPa}$	$745 \text{ kWh.m}^{-3}_{NH_3(l)}$ $1,09 \text{ kWh.kg}^{-1}_{NH_3(l)}$

نلاحظ من الجدول ارتفاع كثافة الطاقة و درجة حرارة التفاعل و هذه تعتبر أهم مزايا هذا النظام، ولكن لكل تفاعل من هذه التفاعلات ميزات أخرى و بالمقابل بعض العيوب التي تواجه إستخداماته.



تغيرات توازن التفاعل مبينة في الشكل (3-13):



الشكل (3-13): تغيرات توازن التفاعل العكسي لهيدريد المغنزيوم [22]

➤ تحليل و مناقشة:

نلاحظ من المنحنى إرتفاع درجة حرارة التفاعل (350C°-450C°) لكن في نفس الوقت معرض لخطورة إرتفاع ضغط غاز H2.

✓ مزايا أخرى للتفاعل [22]:

- عكس إتجاه التفاعل (مقدار 600 دورة إسترجاع).
- لا توجد نواتج ثانوية .
- فصل النواتج (غاز / الصلبة).
- يمكن إعادة التفاعل.

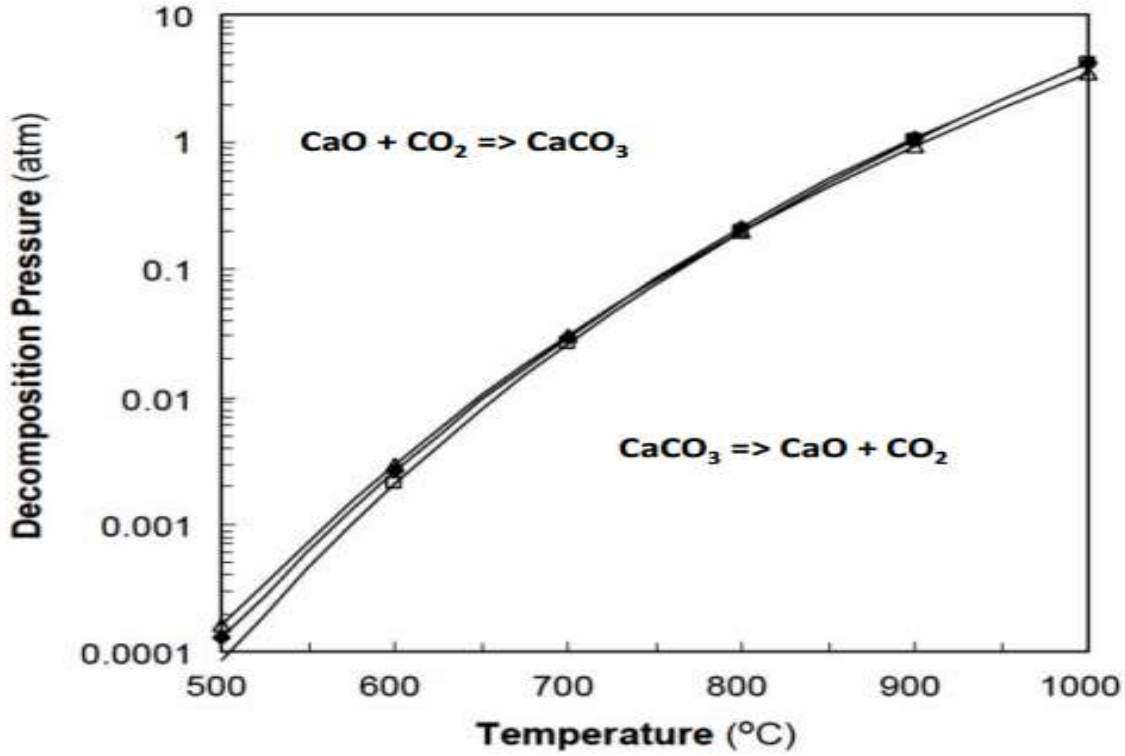
✓ عيوب التفاعل [22]:

- تخزين H<sub>2</sub>.
- حركية التفاعل تبقى بطيئة (عدة ساعات).
- التكلس ضغط التشغيل (50 bar-100 bar).
- الإنتقال الحراري (الصلب / الجدار).

III-6-2- تفاعل الكربونات:  $MCO_3(S) + \Delta Hr \leftrightarrow MO(S) + CO_2(g)$

مثال: تفاعل كربونات الكالسيوم:  $CaCO_3 + \Delta Hr \leftrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$

تغيرات توازن التفاعل مبينة في الشكل (3-14):



الشكل (3-14): تغيرات توازن التفاعل العكسي لكربونات الكالسيوم [22]

➤ تحليل و مناقشة:

نلاحظ من المنحنى الإرتفاع الكبير لدرجة حرارة التفاعل بين (600C° - 1000 C°) إلا أن هذا التفاعل مرتبط بخطورة إرتفاع ضغط غاز CO<sub>2</sub>.

✓ مزايا أخرى للتفاعل [22]:

- لا يحتاج إلى تحفيز.
- لا توجد نواتج ثانوية .
- فصل النواتج (غاز / الصلب).
- توافر المنتج و سعره في المتناول.
- إنتاج أكسيد الكالسيوم الذي يطور استعماله في المجال الصناعي.
- يمكن إعادة التفاعل.

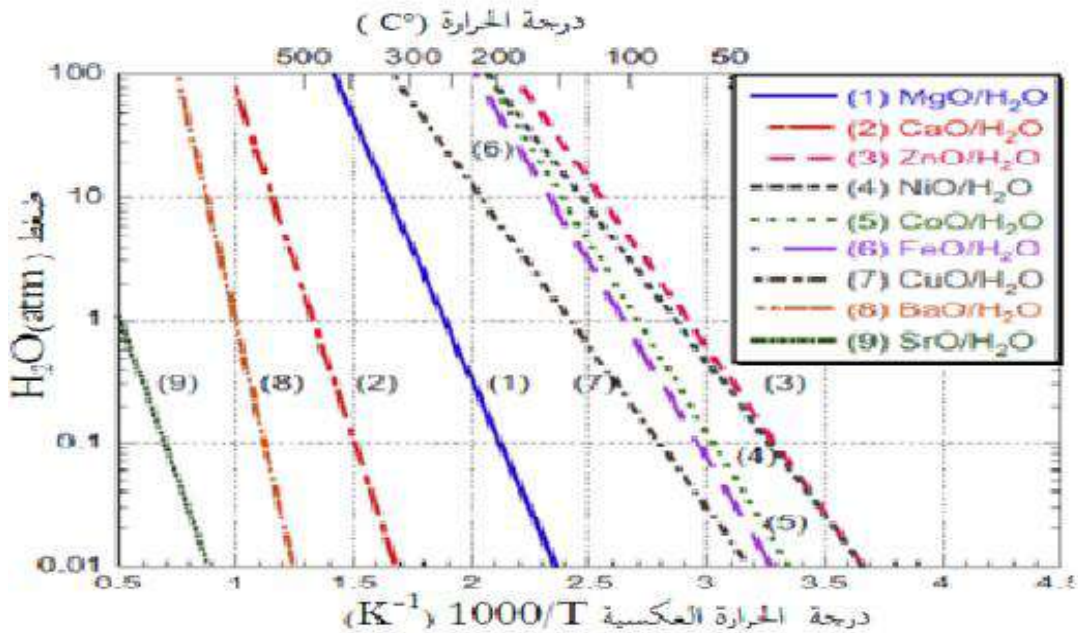
✓ عيوب التفاعل [22]:

- التكلس.
- تخزين CO2.
- الموصلية الحرارية منخفضة.

III-6-3-تفاعل الهيدروكسيدات:  $M(OH)_2(S) + \Delta Hr \leftrightarrow MO(S) + H_2O(g)$

مثال: تفاعل هيدروكسيد المغنيزيوم:  $Mg(OH)(S) + \Delta Hr \leftrightarrow MgO(S) + H_2O(g)$

تغيرات توازن التفاعل مبينة في الشكل (3-15):



الشكل (3-15): تغيرات توازن التفاعل العكسي للهيدروكسيدات [22]

➤ تحليل و مناقشة:

نلاحظ من المنحنى إرتفاع درجة حرارة التفاعل (200C°-500C°) إلا أن هذا التفاعل مرتبط بخطورة إرتفاع ضغط الماء.

✓ مزايا أخرى للتفاعل [22]:

- لا يحتاج إلى أي محفز.
- لا توجد نواتج ثانوية.
- فصل النواتج ( غاز / الصلب ).
- عودة التجربة ~15 عاماً.

✓ عيوب التفاعل [22]:

- درجة حرارة الرطوبة (200C°).
- تفاعل النواتج (50%)
- إنخفاض الموصلية.

III-7-7-مردود التخزين الحراري الكيميائي:

هو نسبة شدة الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الماص  $P_r$  وشدة التدفق الحراري المفيد  $P_u$

( الذي إكتسبه المائع ) ويعطى بالعلاقة [3]:

$$\eta_{thmique} = \frac{P_u}{P_r} = \frac{m \cdot C_p (T_f - T_i)}{I_b \cdot A} \quad (15-3)$$

$$P_u = m \cdot C_p (T_f - T_i) = \dot{m} \cdot \Delta H \quad (16-3)$$

\*مردود نظام التخزين الحراري الكيميائي يعطى:

$$\eta_{sys} = \frac{\dot{m} \cdot \Delta H_{Decharge}}{I_b \cdot A} \quad (17-3)$$

$\dot{m}$ : تدفق الكتلة المتحولة للمفاعلات.

A: مساحة الفتحة .

$\Delta H$ : أنتالبي التفاعل ( $J \cdot kg^{-1}$ ).

إن إختيار التفاعل الكيميائي من خلال الأنتالبيه ومن خلال إمتصاصية الحرارة للمواد المتفاعلة ثم من خلال آلية نقل الحرارة من المركز الشمسي نحو جملة التفاعل الكيميائي هو الذي يؤدي إلى رفع وتحسين مردود التخزين الحراري الكيميائي.

III-8- ملخص للميزات الإيجابية لكل نظام والتطبيقات الأكثر مناسبة لإستخدامها:

الجدول (3-5): مقارنة بين إيجابيات أنظمة التخزين الحراري وتطبيقاتها المناسبة [21]

نظام التخزين	التخزين الحراري الحساس	التخزين الحراري الكامن	التخزين الحراري وكيميائي
مزايا كل نظام	<ul style="list-style-type: none"> <li>• تقنيات بسيطة.</li> <li>• مواد تخزين متوفرة.</li> <li>• كثافة الطاقة معتبرة لبعض مواد التخزين.</li> <li>• إتساع نطاق درجة حرارة التخزين.</li> <li>• إستخدامات واسعة.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• كثافة تخزين أكبر</li> <li>• إستنفاد حجم تخزين أقل</li> <li>• إسترداد الطاقة في درجة حرارة ويمكن التخزين في درجات حرارة منخفضة</li> <li>• الحاجة إلى عزل أقل</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• كثافة طاقة عالية جدا</li> <li>• التخزين في درجة حرارة الغرفة</li> <li>• لا تحتاج إلى عزل</li> <li>• مدة تخزين أكبر</li> <li>• مسافة نقل أكبر</li> </ul>
أنسب التطبيقات كل نظام	<ul style="list-style-type: none"> <li>• تطبيقات الطاقة الشمسية</li> <li>• كتسخين الماء وتدفئة المباني</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• تكييف المباني</li> <li>• تبريد الآلات الإلكترونية</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• التخزين موسمي</li> </ul>

خاتمة:

تعتبر عملية تخزين الطاقة إحدى أهم التطبيقات الهندسية و التقنية، و يمكن القول أن مستقبل مشاريع إستغلال الطاقة الشمسية حراريا يتوقف على إحراز تقدم عملي في هذا المجال، كربط مجموعات تخزين حرارية معها، وذلك تفاديا لعيوب عدم انتظام الطاقة الشمسية كمنبع حراري.

وهنا نجد أن التخزين الحراري وكيميائي ذو أفضلية على بقية الطرق الأخرى وهذا إستنادا إلى أنه يتميز بـ:

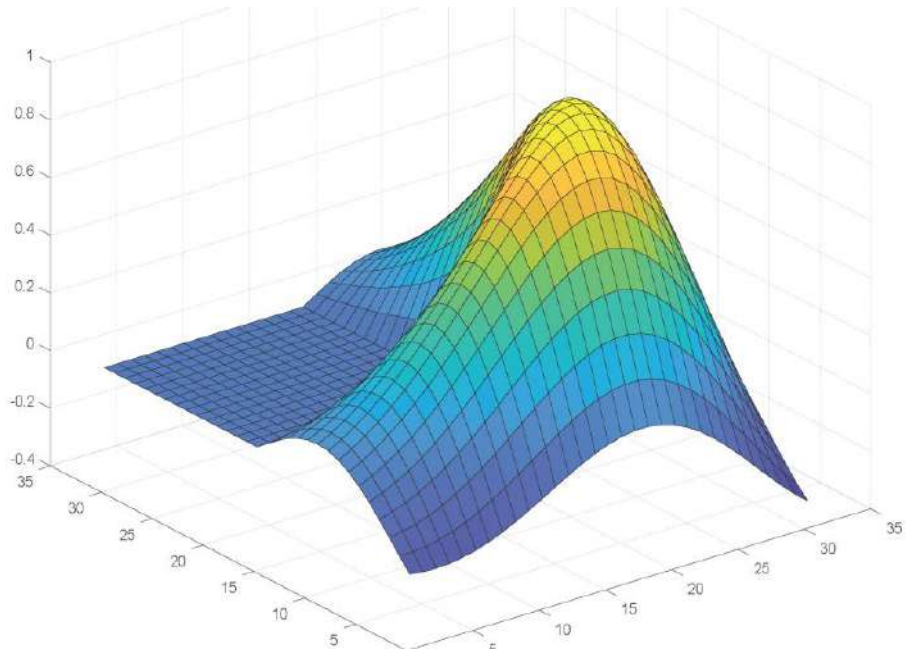
1. كثافة طاقة عالية جداً.
2. تخزين طويل الأمد.
3. تخزين مع نفل لمسافات بعيدة.
4. العمل في مجالات الحرارة المتوسطة.



## الفصل الرابع :

المحاكاة

العددية

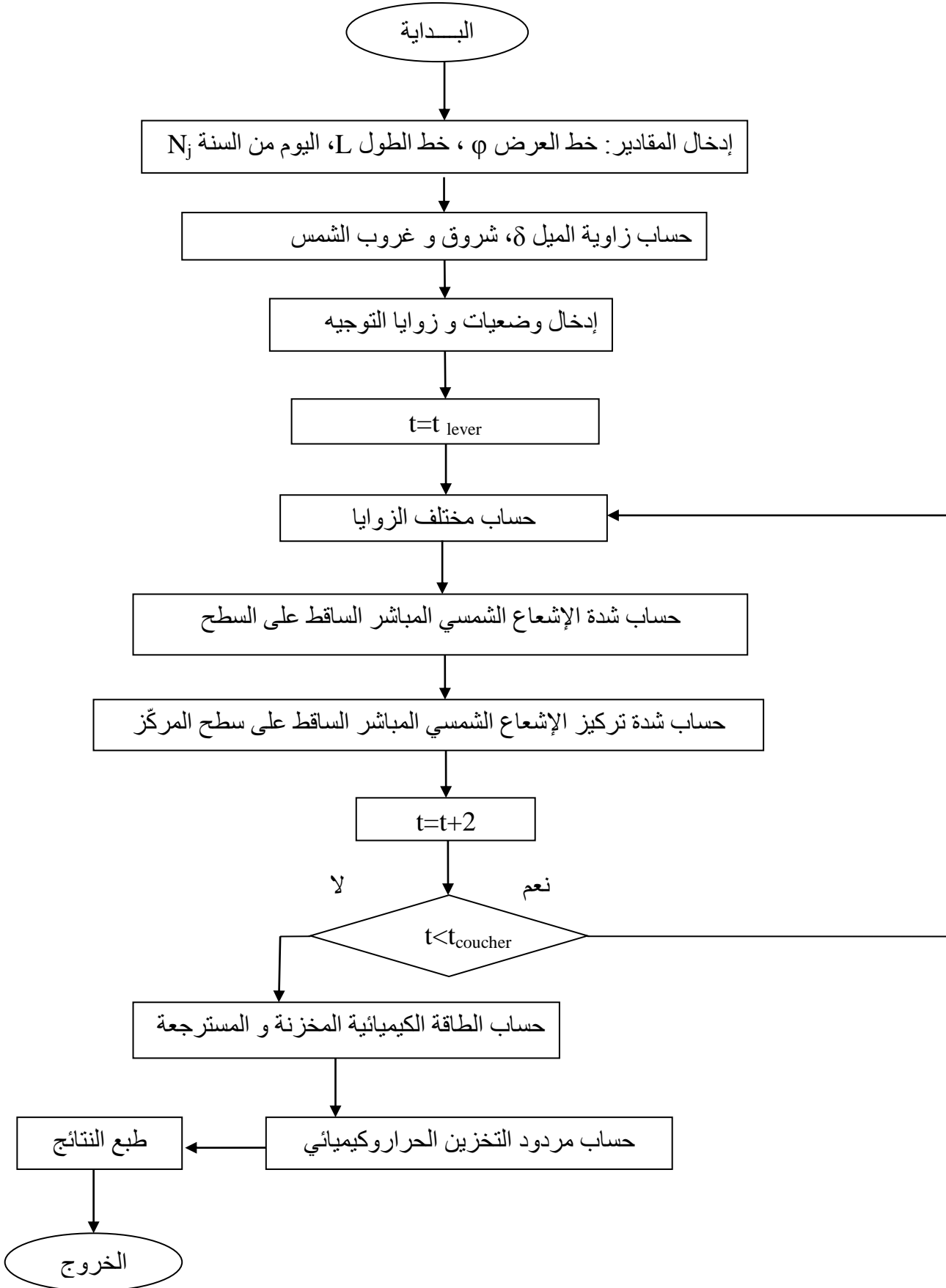


## مقدمة:

نتناول في هذا الفصل تحليل ومناقشة نتائج المحاكاة العددية والمتمثلة في تقدير شدة الإشعاع الشمسي المباشر في أيام مختلفة من السنة، وكذا شدة الإشعاع الشمسي المركز بواسطة مختلف أنظمة التركيز وباختيار أبعاد مناسبة، ومن ثم تخزين الطاقة الشمسية المركزة من خلال أحد التفاعلات الكيميائية مع تحديد كمية الطاقة المخزنة وكمية الطاقة المسترجعة في اليوم الواحد لكل تفاعل، مع المقارنة بين مختلف أنظمة التركيز وأنظمة التخزين الكيميائي.

## IV-1-مخطط العمل:

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



الشكل (1-4) : رسم تخطيطي للبرنامج

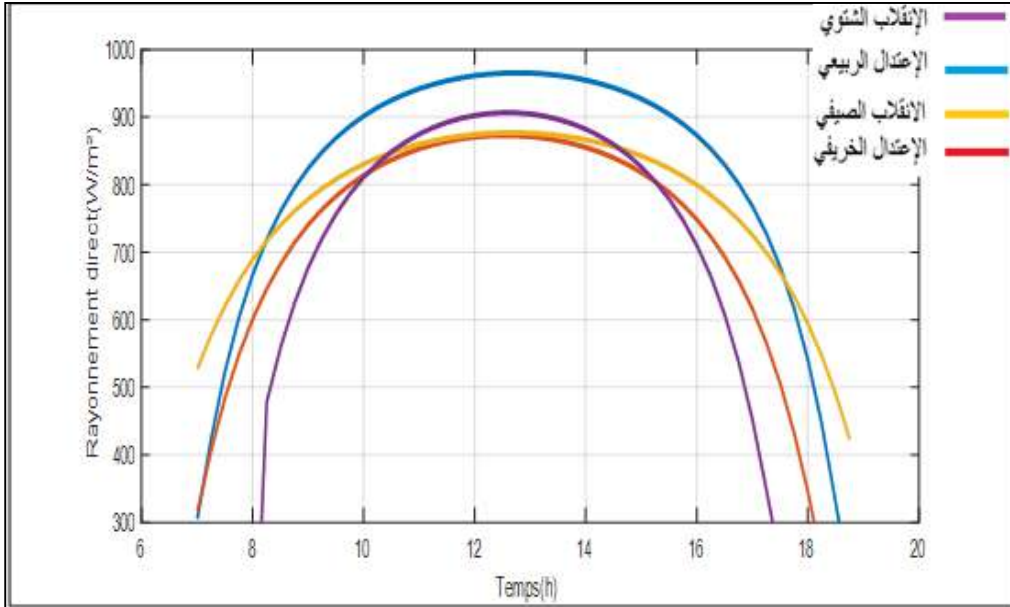
2-IV- تحليل النتائج:

1-2-IV- شدة الإشعاع الشمسي المباشر (I<sub>b</sub>):

بناء على المعطيات الجوية والجغرافية والفلكية لمدينة ورقلة ومن خلال معادلات تقدير شدة الإشعاع الشمسي المباشر يقوم برنامج (MATLAB) بحساب شدة الإشعاع الشمسي الواصل لمدينة ورقلة خلال الأيام:

- 22 ديسمبر (الإنقلاب الشتوي).
- 21 مارس (الإعتدال الربيعي).
- 22 جوان (الإنقلاب الصيفي).
- 23 سبتمبر (الإعتدال الخريفي).

بداية من الساعة السابعة صباحاً حتى السادسة و نصف مساءً بفارق زمني يقدر بساعتين، قمنا برسم منحنيات كما هو موضح في الشكل (2-4) التي تعبر عن تغيرات شدة الإشعاع الشمسي المباشر بدلالة الزمن لكل يوم من الأيام المختارة:



الشكل (2-4): شدة الإشعاع الشمسي المباشر لمدينة ورقلة خلال ايام من السنة بدلالة الزمن.

نلاحظ من خلال النتائج أن هناك زيادة في شدة الإشعاع الشمسي إلى غاية الزوال حيث يصل إلى قيمة عظمى، ثم تتراجع بعد الزوال إلى أن تنعدم عند الغروب.

نلاحظ توسع فترة الذروة (شدة الإشعاع تفوق  $800 \text{ W/m}^2$ ) خلال الصيف حيث تمتد من الثامنة والنصف صباحا إلى الخامسة مساء، بينما تنقلص شتاء لتصبح من العاشرة صباحا إلى الثالثة مساء.

نلاحظ ان ذروة شدة الاشعاع الشمسي في الإعتدال الخريفي ( تفوق بقليل  $900 \text{ W/m}^2$ ) أعلى مما هي عليه في الإعتدال الربيعي ( في حدود  $860 \text{ W/m}^2$ ), بينما فترة الذروة تكون في الإعتدال الربيعي أوسع مما هي عليه في الإعتدال الخريفي.

#### IV-2-2-شدة تركيز الإشعاع الشمسي المباشر (G):

نقوم بإختيار نظامين (نوعين من المركزات) لتركيز الأشعة الشمسية لهما تركيز شمسي مختلف أحدهما ذو التركيز الخطي (PTC) و الآخر ذو التركيز النقطي (Dish)، بأبعاد مختلفة قصد معرفة مدى تأثير نوع المركز الشمسي و أبعاده على إختيار مركز شمسي مناسب.

لإيجاد شدة تركيز الإشعاع الشمسي المباشر (G) نعتد على العلاقة التالية:

$$G = I_b \times Cr \quad (1-4)$$

بحيث:

Cr: هي نسبة التركيز الهندسي (تمثل نسبة مساحة الفتحة إلى مساحة السطح المستقبل).

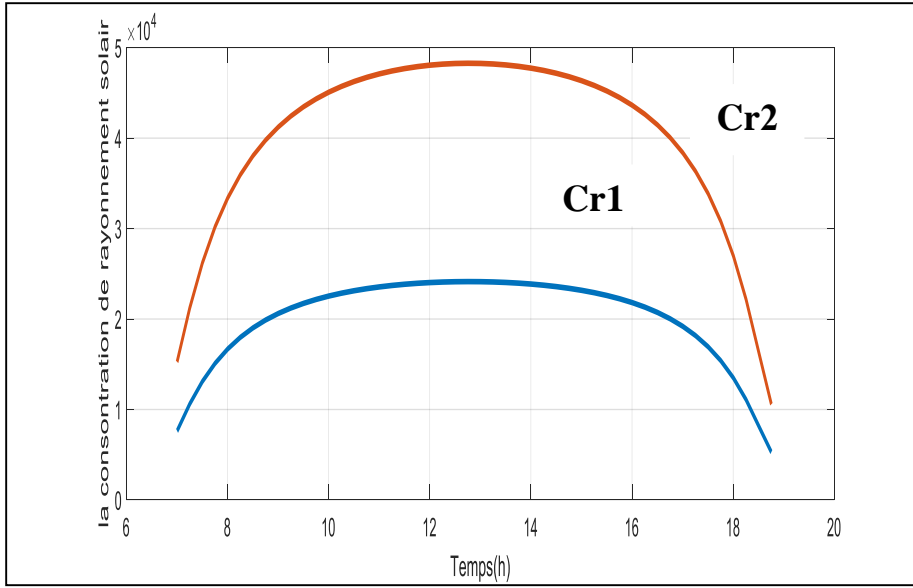
$I_b$ : هي شدة الإشعاع الشمسي المباشر.

- في هذه الدراسة تم إختيار نوعين من الأنظمة لتركيز الأشعة الشمسية إنطلاقا من الإشعاع الشمسي المباشر الواصل إلى سطح المستقبل.

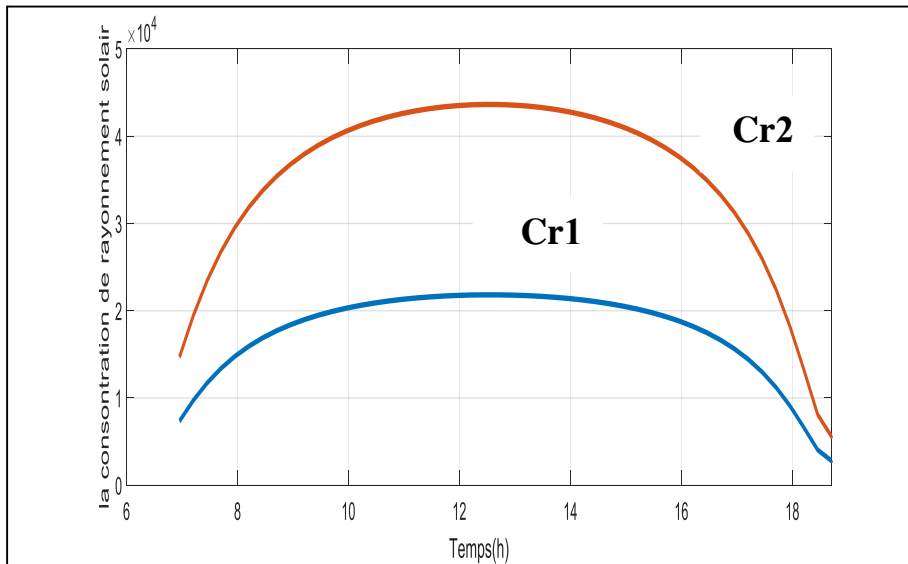
#### IV-2-2-1- نظام التركيز (PTC):

تم إختيار نموذج للمركز ذو فتحة أبعادها  $(1.5 \times 2)$  و من خلال أبعاد المستقبل نحصل على التركيز وفق العلاقة (1-2)

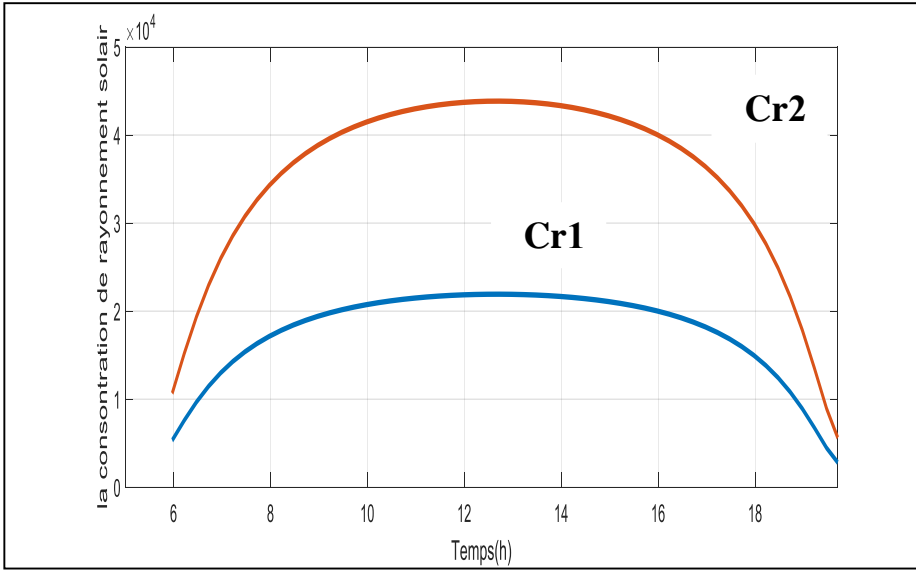
- من أجل نسبة التركيز الهندسي  $Cr1 = 25$  و  $Cr2 = 50$  لدينا المنحنيات التالية لتغيرات شدة تركيز الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن في أيام مختلفة من السنة:



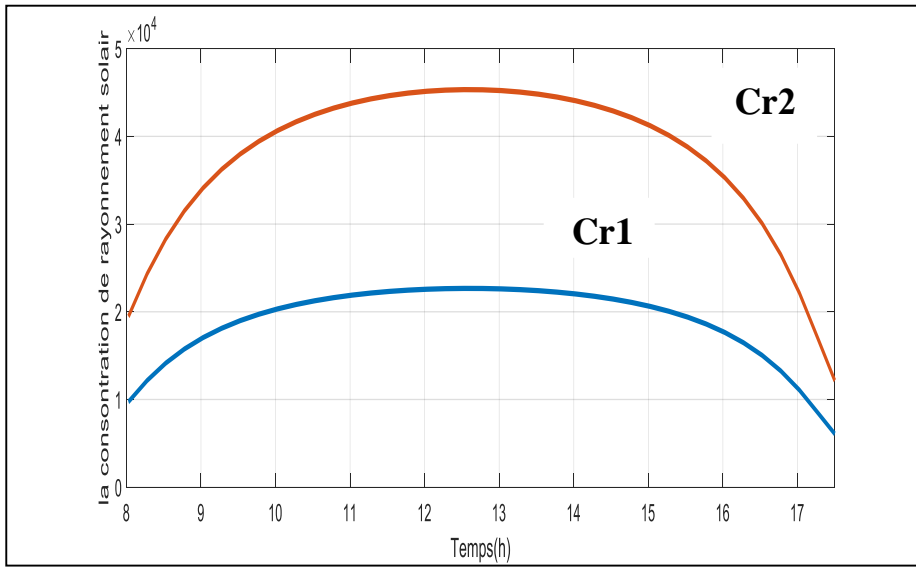
الشكل (3-4): شدة تركيز الإشعاع الشمسي المباشر في الإعتدال الربيعي 21 مارس.



الشكل (4-4): شدة تركيز الإشعاع الشمسي المباشر في الإعتدال الخريفي 23 سبتمبر.



الشكل (4-5): شدة تركيز الإشعاع الشمسي المباشر في الانقلاب الصيفي 22 جوان.

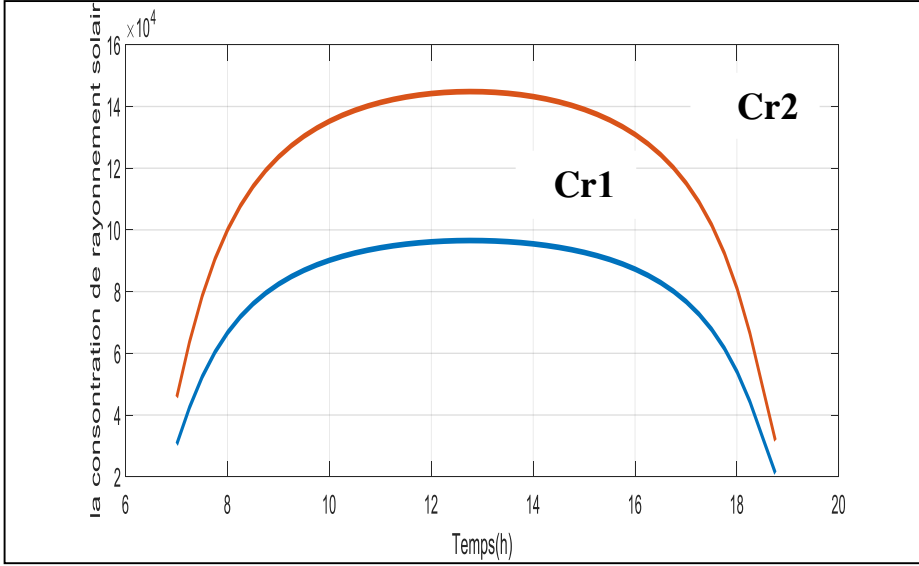


الشكل (4-6): شدة تركيز الإشعاع الشمسي المباشر في الانقلاب الشتوي 22 ديسمبر.

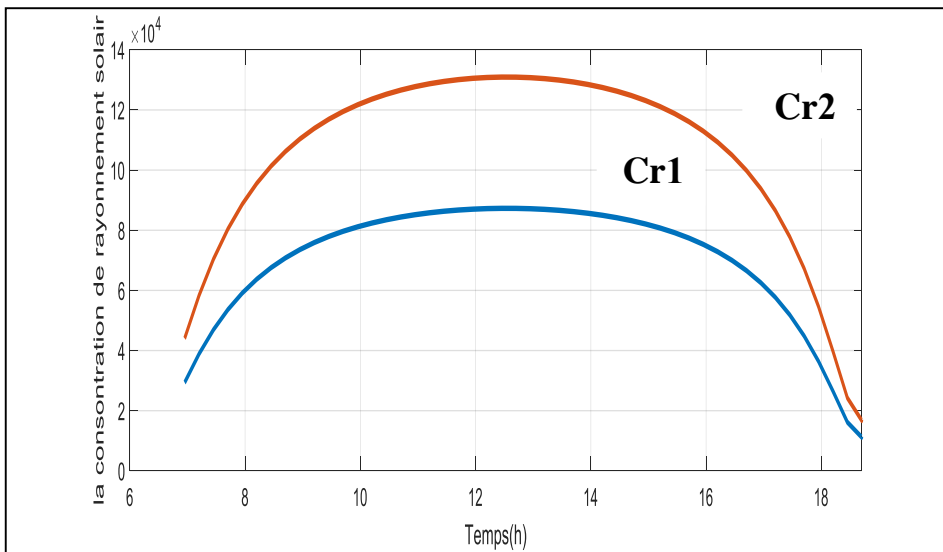
نلاحظ من خلال النتائج أن شدة الإشعاع الشمسي المركز يصل إلى قيمة عظمى عند الزوال (45000W/m<sup>2</sup>) من أجل التركيز Cr2 و القيمة (23000W/m<sup>2</sup>) من أجل التركيز Cr1.

IV-2-2-2-نظام التركيز(Dish):

- تم إختيار نموذج للمركز ذو فتحة قطرها (2m) و من خلال أبعاد المستقبل نحصل على التركيز وفق العلاقة (1-2).
- من أجل نسبة التركيز الهندسي  $Cr1 = 100$  و  $Cr2 = 150$  لدينا المنحنيات التالية لتغيرات شدة تركيز الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن في أيام مختلفة من السنة:

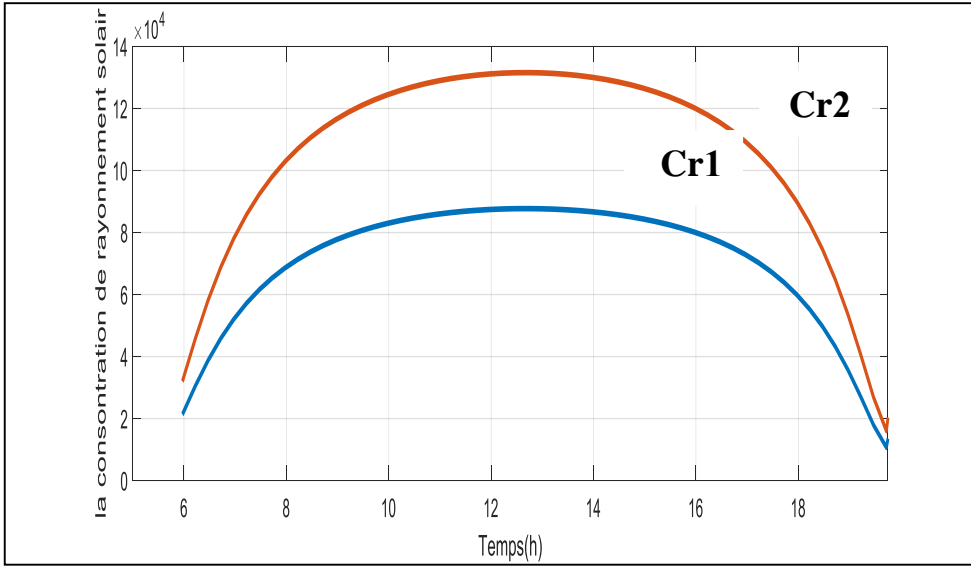


الشكل (4-7): شدة تركيز الإشعاع الشمسي المباشر في الإعتدال الربيعي 21 مارس.

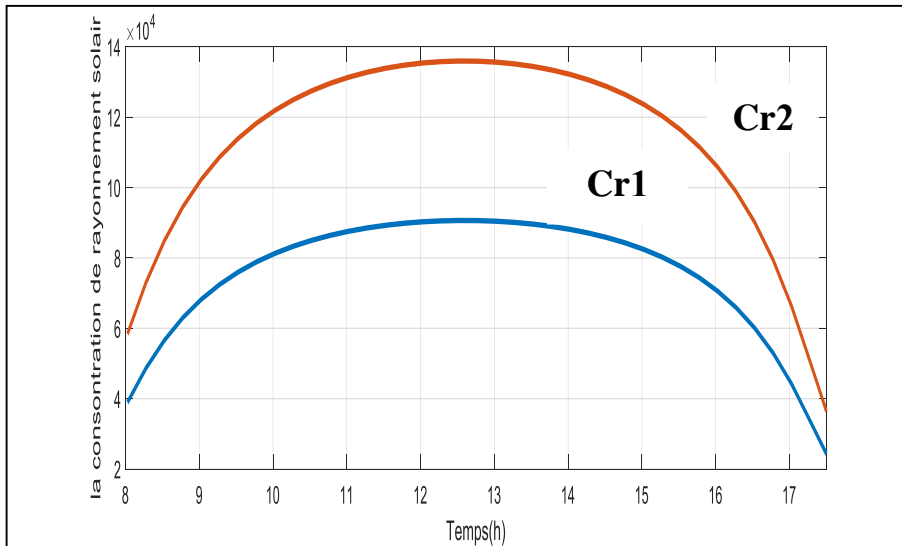


الشكل (4-8): شدة تركيز الإشعاع الشمسي المباشر في الإعتدال الخريفي 23 سبتمبر.





الشكل (4-9): شدة تركيز الإشعاع الشمسي المباشر في الانقلاب الصيفي 22 جوان.



الشكل (4-10): شدة تركيز الإشعاع الشمسي المباشر في الانقلاب الشتوي 22 ديسمبر.

نلاحظ من خلال النتائج أن شدة الإشعاع الشمسي المركز في الاعتدال الربيعي 21 مارس يصل إلى قيمة عظمى عند الزوال (150000W/m<sup>2</sup>) من أجل التركيز Cr2 و القيمة (10000W/m<sup>2</sup>) من أجل التركيز Cr1، أما بقية الأيام الأخرى عند الزوال (130000W/m<sup>2</sup>) من أجل التركيز Cr2 و القيمة (90000W/m<sup>2</sup>) من أجل التركيز Cr1.

IV-3-2-التخزين الحراري الكيميائي:

نضع الجملة الكيميائية محل التخزين عند مستقبل المركز الشمسي حيث يستقبل المركز الشمسي استطاعة قدرها يعطى بالعلاقة:

$$P = I_b \times A \quad (2 - 4)$$

حيث:

A: مساحة فتحة المركز الشمسي.

$I_b$ : هي شدة الإشعاع الشمسي المباشر.

نعتبر في هذه الدراسة أن % 60 من الطاقة المستقبلية يتم تخزينها (عملية الشحن) بشكل كيميائي فتصبح العبارة من الشكل التالي:

$$P = I_b \times A \times \frac{60}{100} \quad (3 - 4)$$

و لدينا لكل تفاعل كيميائي:

$$P_{che} = \Delta H \times \frac{\dot{m}}{M} \quad (4 - 4)$$

حيث :

$\dot{m}$ : تدفق الكتلة المتحولة من المتفاعل (g/s).

M: الكتلة المولية (g/mol).

$\Delta H$ : أنتالبي التفاعل ( $J \cdot mol^{-1}$ ).

من خلال العلاقتان (3 - 4) و (4 - 4) نحصل على التالي:

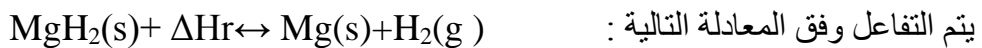
$$\dot{m} = I_b \times A \times 0.6 \times \frac{M}{\Delta H} \quad (5 - 4)$$

- نمثل  $\dot{m}$  خلال اليوم لكل تفاعل تخزين.

- نختار نظام التركيز الخطي (PTC).

- تحديد اليوم المختار من السنة.

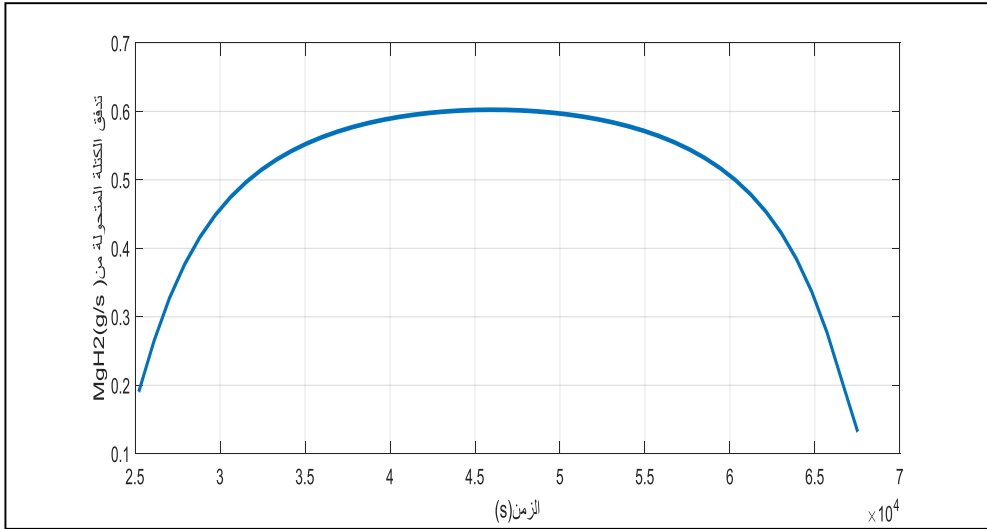
IV-3-2-1-تفاعل هيدريد المغنيزيوم:



حيث:

من الجدول (4-3) لدينا:  $\Delta H_r = 75000 \text{ (J.mol}^{-1}\text{)}$

و  $M_{(MgH_2)} = 26 \text{ (g/mol)}$



الشكل (4-11): منحنى تغيرات تدفق الكتلة المتحوّلة من هيدريد المغنزيوم خلال اليوم.

نلاحظ من خلال النتائج المتحصل عليها أن بازدياد شدة الإشعاع الشمسي تزداد الكتلة المتحوّلة و بذلك تزداد الطاقة المخزنة (أثناء الشحن ) إلى غاية الزوال حيث تبلغ الذروة قيمتها (0.6 g/s) ثم تتراجع إلى الغروب.

$$m = \int_{t_{lever}}^{t_{coucher}} \dot{m} dt \quad (6 - 4) \quad \text{ومن خلال التكامل:}$$

$$m = 21.407 \text{ kg/jour} \quad \text{نحصل على الكتلة المتحوّلة خلال اليوم:}$$

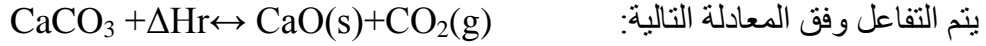
إذن نحسب الطاقة المخزنة خلال الشحن في اليوم وفق المعادلة:

$$E_{\text{charg}} = m \times \frac{\Delta H}{M} \quad (7- 4)$$

$$E_{\text{charg}} = 21.407 \text{ E}+03 \times \frac{75000}{26} = 61750.96 \text{ kJ/Jour} \quad \text{ت.ع:}$$

$$E_{\text{charg}} = 61750.96 \text{ kJ/Jour}$$

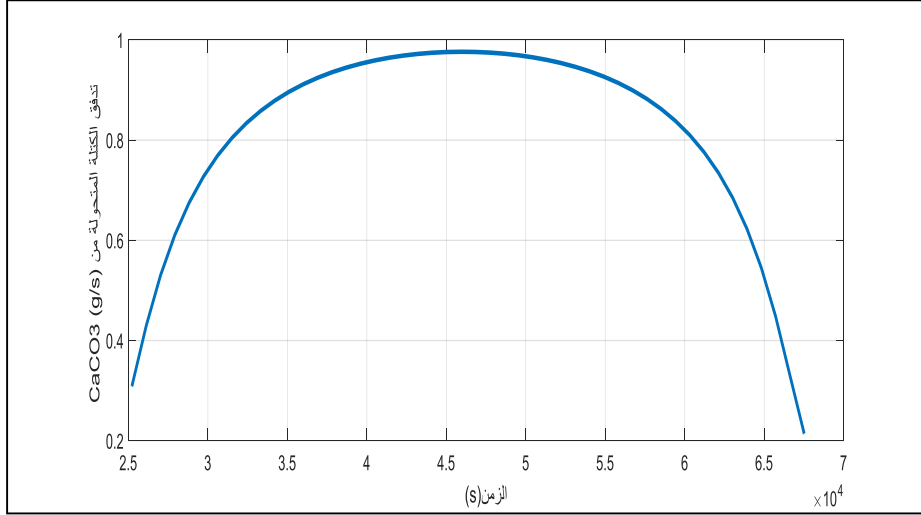
IV-2-3-2-تفاعل كربونات الكالسيوم:



حيث:

من الجدول (4-3) لدينا:  $\Delta H_r = 178000 \text{ (J.mol}^{-1}\text{)}$

و  $M_{(\text{CaCO}_3)} = 100 \text{ (g/mol)}$



الشكل (4-12): منحنى تغيرات تدفق الكتلة المتحوّلة من كربونات الكالسيوم خلال اليوم.

نلاحظ من خلال النتائج المتحصل عليها أن بازدياد شدة الإشعاع الشمسي تزداد الكتلة المتحوّلة و بذلك تزداد الطاقة المخزنة (أثناء الشحن) إلى غاية الزوال حيث تبلغ الذروة قيمتها (1 g/s) ثم تتراجع إلى الغروب.

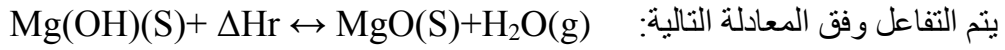
بواسطة العلاقة (4 – 6) نحصل على:  $m = 34.633 \text{ kg/jour}$

إنّ نحسب الطاقة المخزنة خلال الشحن في اليوم وفق المعادلة (4-7):

ت.ع:  $E_{\text{charg}} = 34.633 \text{ E}+03 \times \frac{178000}{100} = 61646.74 \text{ kJ/Jour}$

$E_{\text{charg}} = 61646.74 \text{ kJ/Jour}$

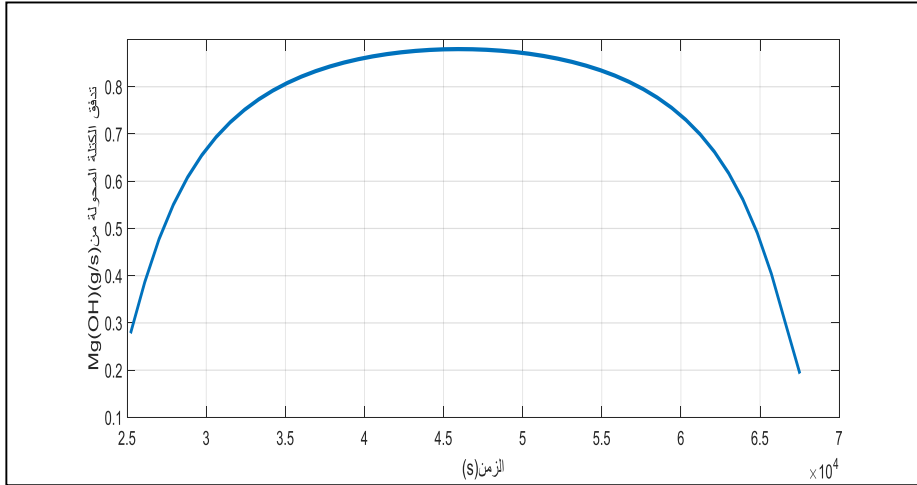
IV-3-3-2-3- تفاعل هيدروكسيد المغنيزيوم:



حيث:

$$\Delta H_r = 81000 \text{ (J.mol}^{-1}\text{) لدينا: (4-3)}$$

$$M_{\text{(MgOH)}} = 41 \text{ (g/mol) و}$$



الشكل (4-13): منحنى تغيرات تدفق الكتلة المتحولة من هيدروكسيد المغنيزيوم خلال اليوم.

نلاحظ من خلال النتائج المتحصل عليها أن بإزدياد شدة الإشعاع الشمسي تزداد الكتلة المتحولة و بذلك تزداد الطاقة المخزنة (أثناء الشحن) إلى غاية الزوال حيث تبلغ الذروة قيمتها ( 0.9 g/s ) ثم تتراجع إلى الغروب.

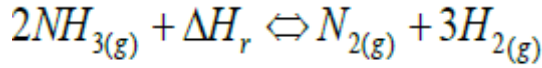
$$m = 31.049 \text{ kg/Jour} \quad \text{بواسطة العلاقة (4 - 6) نحصل على:}$$

إذن نحسب الطاقة المخزنة خلال الشحن في اليوم وفق المعادلة (4-7):

$$E_{\text{charg}} = 31.049 \text{ E}+03 \times \frac{81000}{41} = 61340.70 \text{ kJ/Jour} \quad \text{ت.ع:}$$

$$E_{\text{charg}} = 61340.70 \text{ kJ/Jour}$$

IV-2-3-4- تفاعل الأمونياك:

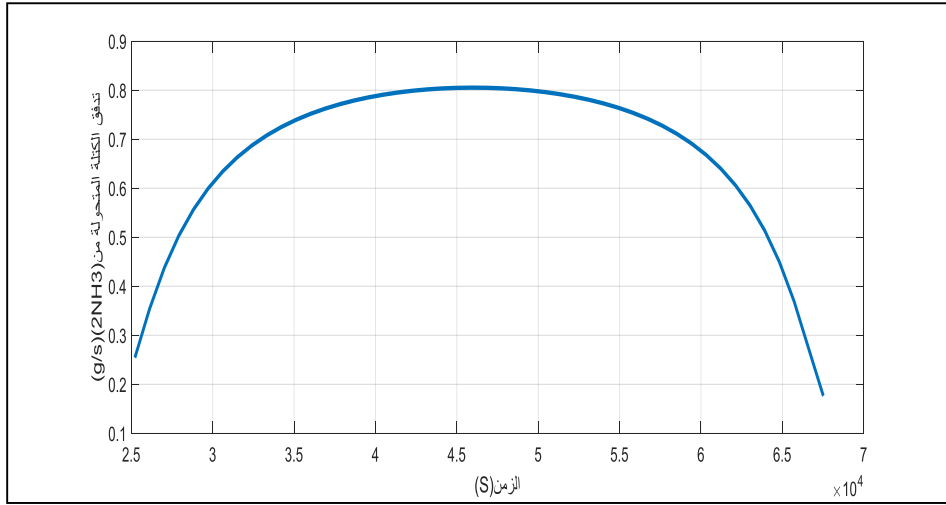


يتم التفاعل وفق المعادلة التالية:

IV-2-3-4-1- أثناء الشحن:

من الجدول (3- 4) لدينا:  $\Delta H_r = 66900 \text{ (J.mol}^{-1}\text{)}$

و  $M_{(2NH_3)} = 31 \text{ (g/mol)}$



الشكل (4-14): منحنى تغيرات تدفق الكتلة المتحولة من الأمونياك خلال اليوم.

نلاحظ من خلال النتائج المتحصل عليها أن بإزدياد شدة الإشعاع الشمسي تزداد الكتلة المتحولة و بذلك تزداد الطاقة المخزنة (أثناء الشحن) إلى غاية الزوال حيث تبلغ الذروة قيمتها ( 0.8 g/s ) ثم تتراجع إلى الغروب.

بواسطة العلاقة (4 – 6) نحصل على:  $m=28.88 \text{ kg/jour}$

إذن نحسب الطاقة المخزنة خلال الشحن في اليوم وفق المعادلة (4- 7):

$$E_{\text{charg}} = 28.88 \text{ E}+03 \times \frac{66900}{31} = 62324.90 \text{ kJ/Jour} \quad \text{ت.ع:}$$

$$E_{\text{charg}} = 62324.90 \text{ kJ/Jour}$$

نلخص النتائج السابقة في الجدول التالي:

جدول (1-4): الطاقة المخزنة الناتجة عن الكتلة المتحوّلة لبعض التفاعلات الكيميائية

نوع التفاعل	m (kg/Jour )	E <sub>char</sub> (kJ/Jour)
تفاعل هيدريد المغنيزيوم	21.407	61750.96
كربونات الكالسيوم	34.633	61646.74
هيدروكسيد المغنيزيوم	31.049	61340.70
الأمونيك	28.88	62324.90

#### IV-2-4-3-2- أثناء التفريغ:

من الجدول (3- 4) لدينا :  $\Delta H_r = 53000 \text{ (J.mol}^{-1}\text{)}$

و  $M_{(2NH_3)} = 31 \text{ (g/mol)}$  و  $m_{char} = m_{Dchar} = m = 28.88 \text{ kg/jour}$   
 إذن نحسب الطاقة المخزنة خلال التفريغ في اليوم وفق المعادلة (4- 7):

$$E_{Dcharg} = 28.88 \text{ E}+03 \times \frac{53000}{31} = 49375.48 \text{ kJ/Jour} \quad \text{ت.ع:}$$

$$E_{Dcharg} = 49375.48 \text{ kJ/Jour}$$

ومنه مردود التخزين يعطى من الشكل:

$$\eta_{char} = 100 \times \frac{E_{Dchar}}{E_{char}} \quad (8-4)$$

$$\eta_{char} = \frac{49375.48}{62324.90} \times 100 = 79 \quad \text{ت.ع:}$$

$$\eta_{char} = 79 \%$$

نلخص قيم تفاعل الأمونيك في الجدول التالي:

الجدول (2-4): مردود الطاقة المخزنة لتفاعل الأمونيك

$\eta_{char}$	$E_{Dechar}(kJ/Jour)$	$E_{char}(kJ/Jour)$	نوع التفاعل
% 79	49375.48	62324.90	الأمونيك

#### خاتمة:

من خلال نتائج المحاكاة العددية المتحصل عليها في الدراسة النظرية والتحليلية تمكنا من معرفة أن العلاقة بين المقادير الفيزيائية المدروسة والإشعاع الشمسي هي علاقة خطية، ومعرفة قدر الطاقة المخزنة إنطلاقاً من شدة الإشعاع الشمسي المباشر الواصل إلى مدينة ورقلة وفق الإحداثيات المذكورة سابقاً، و تغيير قيمتها بتغيير نوع التفاعل المستخدم في عملية التخزين الحراروكيميائي، ويتم ذلك بواسطة أحد أنظمة التركيز الشمسي للإشعاع المباشر.



الخاتمة العامة

## خاتمة عامة:

إن إزدياد الطلب على الطاقة والمشاكل الناجمة عن تلوث البيئة أدى إلى رفع كفاءة استخدام الطاقة من خلال الأبحاث العلمية المرتبطة بالطاقات المتجددة خاصة الشمسية منها. الحديث عن الطاقة الشمسية يدفع بنا إلى الحديث عن المراكز الشمسية كجزء لا يتجزأ من هذه التقنية، إذ أن استخدام المراكز الشمسية في محطات الطاقة الكهروشمسية يمثل التكنولوجيا الواعدة من أجل إنتاج الطاقة الحرارية الشمسية مما يحقق ترشيدها 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، وتتوصل إليها من خلال تخزين الطاقة الحرارية على شكل كيميائي ثم استرجاعها عند غياب الشمس (الليل، ضباب، سحب،...الخ). وهذا من بين الأهداف التي نطمح إليها في عملنا هذا بأن نبين مدى أهمية التخزين الحراري الكيميائي إنطلاقاً من شدة الإشعاع الشمسي المباشر الذي تم تركيزه بواسطة المراكز الشمسية التي قمنا بدراسة أنواعها ومزاياها وتطبيقاتها في ميدان الطاقة، وكذلك تطرقنا إلى معرفة أنماط التخزين الأخرى ومجالات استخدامها.

ثم نختم بالمحاكاة العددية لنتائج المقارنة بين المركز الشمسي (PTC) و الصحن المقعر (Dish) بتقدير شدة الإشعاع الشمسي الساقط على مدينة ورقلة في مختلف أيام السنة ( 21مارس، 23 سبتمبر، 22 جوان، 22 ديسمبر)، ودراسة تغيرات شدة التركيز للإشعاع إنطلاقاً من نسبيتي تركيز هندسيتين مختلفتين التي تتغيران حسب أبعاد كل مركز.

وبالإعتماد على التخزين الحراري الكيميائي و إختيار التفاعل الكيميائي المناسب نستخلص أن الزيادة في شدة الإشعاع الشمسي تؤدي إلى الزيادة في الكتلة المتحولة للمتفاعل وهي بدورها ترفع قيمة الطاقة المخزنة أثناء الشحن. بحيث أن هذه الطاقة يمكن إسترجاعها من خلال تفاعل عكسي و هو التفريغ. وهنا نجد أن التخزين الحراري كيميائي ذو أفضلية على بقية الطرق الأخرى وهذا إستناداً إلى أنه يتميز بتخزين طويل الأمد مع نقل لمسافات بعيدة ولا يحتاج لعزل حراري و يكون التخزين هنا موسمياً و هذا ما تفتقر إليه أنماط التخزين الأخرى.

وتوصلنا في هذا العمل إلى أن الطاقة المخزنة بشكل حرار و كيميائي لتفاعل الأمونياك في اليوم تصل إلى **62324.90 (kJ/Jour)** ، أما الطاقة المسترجعة عند غياب الشمس تصل قيمتها إلى **49375.48 (kJ/Jour)** ومردود التخزين الحراروكيميائي يقدر بـ: **79%**.

وخالصة القول أن موضوع تخزين الطاقة الشمسية يعد في مراحل الأولى و لايزال بحاجة إلى تكثيف الجهود في البحث و التطوير، ونأمل مستقبلا بأن تزيد عدد المشاريع الخاصة بهذا النوع من التخزين وتنفذ في منطقتنا، بالرغم من أن إستغلال الطاقة العالية جدا المخزنة في مركبات الكيميائية تعتبر قفزة نوعية في مجال الطاقة.

# قائمة المراجع

### مراجع باللغة العربية :

- [1]: سوداني محمد البار، تحقيق عملي لمركز شمسي أسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي، رسالة مقدمة لنيل درجة الدكتوراه في العلوم جامعة ورقلة 2018
- [2]: سماحي سهيلة، فعالية أداء الخلايا الشمسية الكهروضوئية في ورقلة وتأثير شدة الإشعاع الشمسي والعوامل المناخية عليها، مذكرة ماستر أكاديمي جامعة ورقلة 2016.
- [3]: سوداني محمد البار، دراسة نظرية لمجمع شمسي أسطواني مقعر ذي غطاء زجاجي، مذكرة ماجستير جامعة ورقلة 2009.
- [4]: العاتي مختار، المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية، مذكرة ماجستير جامعة ورقلة 2011.
- [5]: د.م. كاميليا يوسف محمد، الطاقة الكهروشمسية، موقع الفريد في الفيزياء، 27 ديسمبر 2017.
- [6]: محفوظ عمار، تسخين المياه بالطاقة الشمسية الجزائر، فرقة البحث في الأنظمة المنخفضة الحرارة، قسم الحرارة الشمسية والجيوحرارية.
- [7]: حنان الصاوي، بوابة أخبار اليوم الإلكترونية.  
<https://akhbarelyom.com>news,3/02/2018>
- [8]: د. سعود يوسف عياش، تكنولوجيا الطاقة البديلة، عالم المعرفة، الكويت فبراير 1981.
- [9]: د. هيثم جبيلي، د. بهجت إبراهيم، حسن أيوب، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الأساسية المجلد (31) العدد (2) 2009.
- [10]: أ. نبيل شهيد، تقنيات الطاقة حساب الإشعاع الشمسي الساعي بمساعدة الحاسوب الطاقة والحياة، العدد الثالث والعشرون، الصيف (يونيو) 2006.
- [11]: د. أسعد رحمان سعيد الحلفي، كتاب هندسة الأغذية بالطاقة الشمسية، مكتبة الزهراء البصرة 2010.
- [12]: أ.د. البهلول اليعقوبي، حقيبة الخلايا الشمسية، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، تونس 2000 م.

[13]: د. بوجدة رمزي، مجلة ميلاف للبحوث والدراسات، جامعة علي الوئيس، البليدة 2، الجزائر، العدد الخامس، جوان 2017.

[14]: جرين بيس، سولاربييسيس و استلا، مستقبل التكنولوجيا تركيز الطاقة الشمسية في العالم 2009.

[www.solarpaces.org/wp-content/uploads/csp2009\\_arabic.pdf](http://www.solarpaces.org/wp-content/uploads/csp2009_arabic.pdf),16-11-2018.

[15]: م.محمود العجمي، المركزات الشمسية، العلوم التقنية، ربيع الثاني 1416 هـ. العدد 34.

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

[20]: د.سيد محمود حسنين، د.محمد الصالح سميعي، تخزين الطاقة الشمسية. ربيع الثاني 1416 هـ. العدد 34.

### مراجع باللغة الأجنبية :

[17]:Philibert C. , "The Present and Future Use of Solar Thermal Energy as a Primary Source of Energy", Copyright 2005 by InterAcademy Council All rights Reserved.

[18]: K. Gouthamraj, K. Jamuna Rani, G. Satyanarayana, Design and Analysis of Rooftop Linear Fresnel Reflector Solar Concentrator, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Volume 2, Issue 11, May 2013.

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

[21]: Mahfoudi Nadjiba, « Stockage de la chaleur dans un milieu granuleux solide, », Thèse Pour l'obtention du diplôme de Doctorat,2016.

[22]: Pierre Pardo, « Développement d'un procédé de stockage d'énergie thermique haute température par thermochimique, », Thèse Pour obtenir le grade de Docteur,2013.

[23]: I. Dincer and M. Rosen, "Thermal energy storage: systems and applications," 2<sup>nd</sup> ed.

John Wiley & Sons, 2011, pp. 84-141.

[24]: Ali H. Abedin and Marc A. Rosen, A Critical Review of Thermochemical Energy Storage Systems *The Open Renewable Energy Journal*, 2011, Volume 4, 42-46

## الملخص :

قمنا بدراسة التخزين الحراري الكيميائي بواسطة الإشعاع الشمسي في مدينة ورقلة خلال أيام مختلف الفصول والساقط على سطح المركّزات الشمسية التي تُركز أشعة الشمس في مساحة معينة، ومن خلال برنامج المحاكاة العددية لمعادلات تقدير شدة تدفق الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح مدينة ورقلة في أي يوم من أيام السنة ( $N_j=1 \dots 365$ ) من لحظة شروق الشمس إلى غايه غروبها، وهذا اعتماداً على معطيات جغرافية وفلكية وجوية للمكان والزمان المحددين، ويتم تركيز الإشعاع المباشر بواسطة مختلف أنظمة التركيز الشمسي، حيث يتم تخزين الطاقة الحرارية على شكل كيميائي ثم إسترجاعها عند غياب الشمس كما نقوم بدراسة تأثير مختلف العوامل على فعالية ومردود التخزين الحراري الكيميائي بهدف التحسين في شدته.

في هذا العمل، وجدنا أن الطاقة المخزنة في التفاعل الكيميائي الحراري للأمونياك خلال اليوم وصلت إلى  $62324.90 \text{ kJ}$  في اليوم. تصل الطاقة المستخرجة في غياب الشمس إلى  $49375.48 \text{ kJ}$  في اليوم و يبلغ مردود التخزين الحراري الكيميائي  $79\%$ .

الكلمات المفتاحية: الإشعاع الشمسي \_ الزوايا الشمسية \_ المركّزات الشمسية \_ التخزين الحراري الكيميائي .

## Résumé:

Nous avons étudié le stockage thermique chimique 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. ( $N_j=1 \dots 365$ ) 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. L'énergie thermique est stockée chimiquement et récupérée à L'absence du soleil Nous étudions également l'effet de divers facteurs sur l'efficacité et le rendement du stockage thermique afin d'en améliorer l'intensité.

Dans ce travail, nous avons constaté que l'énergie emmagasinée dans une réaction thermo-chimique de l'ammoniac au cours de la journée atteint  $62324.90 \text{ (kJ / Jour)}$ . L'énergie récupérée en l'absence du soleil atteint  $49375.48 \text{ (kJ / Jour)}$  et le rendement de stockage thermo-chimique est de  $79\%$ .

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

## Summary:

We studied the chemical thermal storage by solar radiation in the city of Ouargla during different days of the seasons and fell on the surface of the solar concentrates that focus the sun in a given area, and through the numerical simulation program of the equations of estimating the intensity of the solar radiation flow reaching the surface of the city of Ouargla on any day of the year ( $N_j=1 \dots 365$ ) from the moment of sunrise until sunset, depending on the geographical, astronomical and atmospheric data of the specific place and time. Direct radiation is concentrated by various solar concentric systems. Thermal energy is stored chemically and retrieved at The absence of the sun We also study the effect of various factors on the effectiveness and yield of chemical thermal storage in order to improve its intensity.

In this work, we found that the energy stored in the thermal chemical reaction of ammonia during the day reached  $\text{kJ / day } 62324.90$ . The energy extracted in the absence of the sun reaches  $\text{kJ / day at } 49375.48$  and the chemical thermal storage yield is  $79\%$ .

**Keywords :** solar radiation - solar angles - solar centers - chemical thermal storage.