

جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي

ميدان: علوم المادة

تخصص فيزياء طاقوية وطاقات متجددة

من إعداد الطلبة: زنو ونيس - عمراني جهاد

بعنوان:

دراسة تحليلية لأنظمة التبريد الشمسي بالامتزاز والامتصاص

نوقشت يوم: 2021/06/17

أمام اللجنة:

جامعة قاصدي مرباح ورقلة	رئيسا	أستاذ تعليم عال	- نور الدين ستو
جامعة قاصدي مرباح ورقلة	ممتحنا	أستاذ محاضر (أ)	- بلخير نيقرو
جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مؤطرا	أستاذ محاضر (أ)	- يسين معريف
جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مساعد مؤطر	طالبة دكتوراه	- أفاق بن عزوز

الموسم الجامعي: 2021/2020

الإهداء

❖ أهدي عملي المتواضع هذا إلى:

- أمي وأبي حفظهم الله وأطال في عمرهما.
- إلى إخوتي حفظهم الله أيضا ورعاهم.
- إلى جميع عائلتي.
- إلى كل أصدقائي.
- وإلى كل من ساهم وقدم لي يد العون والمساعدة خلال مشواري الدراسي سواء من بعيد أو قريب والتي ما أنا وصلت إليه الآن.

شكر و عرفان

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى اله وصحبه أجمعين المبعوث رحمة للعالمين إلى يوم الدين.

قبل كل شيء نشكر الله وافر الشكر أنه وفقنا وأعاننا على إتمام هذه الرسالة، ثم إلى أهلنا الذين كانوا سندا لنا طيلة مشوارنا الدراسي.

كما أتوجه بالشكر والتقدير إلى أستاذي الفاضل الدكتور "يسين معريف" المشرف على هذه الرسالة وكان لرحابة صدره وسمو خلقه وأسلوبه المميز على مساعدتنا على إتمام هذه الرسالة وتوجيهه وإرشاده لنا، ونخص كذلك بالشكر إلى طالبة الدكتوراه "أفاق بن عزوز" على مساعدتها لنا فجزاكم الله ألف خير. كما نتقدم بالشكر الجزيل إلى أساتذتنا الكرام الذين وافقوا على مناقشة مذكرتنا

- نور الدين ستو

- بلخير نيقرو

ونتمنى أن يفيدونا بأرائهم القيمة.

كما نتقدم بالشكر إلى كل أساتذتنا الأفاضل بقسم علوم المادة وبالأخص الذين قاموا بتدريسنا طيلة التعليم الجامعي.

وإلى الذين كانوا نورا لنا يضيء الظلمة التي كانت تقف أحيانا في طريقنا لهم منا كل الشكر.

كما نشكر كل من ساهم ومد يد العون لنا لإكمال هذا العمل.

وننتقدم بالشكر إلى كافة الزملاء والزميلات بجامعة قاصدي مرياح ورقلة.

الحمد لله رب العالمين.

المخلص:

المناطق الصحراوية في الجزائر يتصف مناخها صيفا بارتفاع شديد في درجات الحرارة وكذلك بشدة إشعاع شمسي كبيرة، وهذا يؤدي إلى الزيادة في استهلاك الطاقة الكهربائية لتحقيق الراحة الحرارية. مما أدى إلى البحث على أنظمة تضع حد لهذه المشكلة وتحل محل أنظمة التبريد التقليدية ومن بينها أنظمة التبريد الشمسي الامتزازي والامتصاصي. تهدف هذا الدراسة إلى التعرف على مبدأ عمل هذه التقنيات، إضافة إلى التطرق إلى بعض الأبحاث التي ساهمت في تحسين معامل أدائها وهذا لإنتاج أكبر كمية من الجليد والبرودة. وقد تبين أنه يمكن الاعتماد على هذا النوع من أنظمة التبريد الشمسي في المناطق الصحراوية للتقليل من الاستهلاك الطاقوي خاصة بعد التحسينات التي أجريت عليها.

الكلمات الدالة (المفتاحية): التبريد الشمسي، الامتزاز، الامتصاص، التحسينات.

Résumé:

Les régions sahariennes en Algérie se caractérisent par une température estivale très élevée, ainsi qu'une grande intensité de rayonnement solaire, ce qui conduit à une augmentation de la consommation d'énergie électrique pour atteindre le confort thermique. Cela a conduit à la recherche des systèmes qui mettent fin à ce problème et remplacent les systèmes de refroidissement conventionnels, y compris les systèmes de refroidissement par adsorption et absorption solaire. Cette étude vise à identifier le principe de fonctionnement de ces technologies, en plus de traiter certaines recherches qui ont contribué à l'amélioration de leur facteur de performance pour produire une grande quantité de glace et de froid. Il a été observé que ces deux types de système de refroidissement solaire peuvent être utilisés dans les zones sahariennes pour réduire la consommation énergétique, en particulier après les améliorations apportées à ces systèmes.

Mots clés: Refroidissement solaire, Adsorption, Absorption, Améliorations.

Abstract:

The Saharan regions in Algeria are characterized by a very high summer temperature, as well as a great intensity of solar radiation, which leads to an increase in the consumption of electrical energy to achieve thermal comfort. This has led to the search for systems that put an end to this problem and replace conventional cooling systems such as adsorption and solar absorption cooling systems. This study aims to identify the operating principle of these technologies, in addition to addressing some research that has contributed to the improvement of their performance factor to produce a large amount of ice and cold. It has been observed that these two types of solar cooling system can be used in Saharan areas to reduce energy consumption, especially after the improvements carried to these systems.

Keywords: Solar cooling, Adsorption, Absorption, Improvements.

قائمة الفهرس

الصفحة	المحتويات
أ	الإهداء.....
ب	التشكرات.....
ج	الملخص.....
د	قائمة المحتويات.....
ز	قائمة الجداول.....
ح	قائمة الأشكال.....
ي	قائمة الرموز والاختصارات.....
1	مقدمة عامة.....
الفصل الأول: مفاهيم وعموميات حول الطاقة الشمسية	
4	1-I - تمهيد.....
4	2-I - الطاقة الشمسية.....
4	1-2-I - تعريف الشمس.....
5	2-2-I - الإشعاع الشمسي.....
6	3-2-I - أهمية الطاقة الشمسية.....
7	4-2-I - الجوانب الايجابية والسلبية لاستخدام الطاقة الشمسية.....
8	3-I - تحويلات الطاقة الشمسية.....
8	1-3-I - الطاقة الشمسية الكهربائية.....
8	2-3-I - الطاقة الشمسية الحرارية.....
9	1-2-3-I - المجمعات الشمسية الحرارية المركزة.....
9	2-2-3-I - المجمعات الشمسية المسطحة (الغير المركزة).....
10	4-I - الاستخدامات المنزلية للطاقة الشمسية الحرارية.....
11	1-4-I - تسخين المياه والتدفئة.....
12	2-4-I - الطبخ وتجفيف المحاصيل.....
12	3-4-I - تحلية المياه.....
13	4-4-I - التبريد الشمسي الحراري.....

13	5-I- الطاقة الشمسية في الجزائر.....
14	6-I- خاتمة.....
الفصل الثاني: بحث في المراجع حول التبريد الشمسي	
16	1-II- تمهيد.....
16	2-II- نبذة تاريخية في علم التبريد.....
17	3-II- تقنيات التبريد بواسطة الطاقة الشمسية.....
18	1-3-II- التبريد الشمسي باستخدام الأنظمة الكهروضوئية.....
19	2-3-II- التبريد الشمسي باستخدام الأنظمة الحرارية.....
19	1-2-3-II- الميكانيكية الحرارية (thermomécanique).....
20	2-2-3-II- المبادلات الحرارية (الديناميكا الحرارية).....
21	4-II- نظام التبريد الشمسي بالامتزاز.....
21	1-4-II- مفهوم ظاهرة الامتزاز.....
22	2-4-II- مبدأ عمل آلة التبريد بالامتزاز.....
24	3-4-II- مخطط عمل آلة التبريد بالامتزاز.....
26	5-II- نظام التبريد الشمسي بالامتصاص.....
26	1-5-II- مفهوم ظاهرة الامتصاص.....
27	2-5-II- مبدأ عمل آلة التبريد بالامتصاص.....
29	3-5-II- التحليل الترموديناميكي لنظام التبريد الامتصاصي الشمسي.....
31	4-5-II- تصنيف أنظمة التبريد الامتصاصية الشمسية.....
35	6-II- خاتمة.....
الفصل الثالث: التحسينات في أنظمة التبريد الشمسي	
37	1-III- تمهيد.....
37	2-III- مقارنة بين الأعمال المنجزة باللواقط المسطحة والمركزة.....
38	1-2-III- بعض الأعمال المنجزة في نظام التبريد بالامتزاز.....
40	2-2-II- بعض الأعمال المنجزة في نظام التبريد بالامتصاص.....
42	3-III- التحسينات في آليتي التبريد.....
42	1-3-III- نظام التبريد بالامتزاز.....
45	2-3-III- نظام التبريد بالامتصاص.....

قائمة الفهرس

50	.....III-4- الدمج بين آلة الامتصاص والامتزاز.....
51	.....III-5- خاتمة.....
53	.....خاتمة عامة وتوصيات.....
55	.....المصادر والمراجع.....

قائمة الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
7	.....إيجابيات وسلبيات الطاقة الشمسية.....	1-I
21	.....أنظمة التبريد بالطاقة الشمسية.....	1-II
24	.....بعض مزايا وعيوب نظام التبريد الامتزاجي.....	2-II
26	.....أزواج العمل المستخدمة في عملية التبريد بالامتصاص.....	3-II
34	.....أمثلة على استخدام المجمع الشمسي في دورة نظام التبريد بالامتصاص... ..	4-II
35	.....بعض مزايا وعيوب آلة التبريد الامتصاصي.....	5-II
42	.....مقارنة بين الأعمال المنجزة باللواقط المسطحة والمركزة.....	1-III
43	.....مقارنة بين آلة الممتزات الغير المترابطة وآلة الممتزات المدمجة.....	2-III
50	.....بعض مواد متغيرة الطور (PCM) ودرجة حرارة انصهارها.....	3-III

قائمة الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
1-I	أبعاد وموضع الشمس والأرض.....	4
2-I	أنواع الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض.....	6
3-I	مخطط توضيحي لتخزين الطاقة الشمسية.....	7
4-I	أنظمة الخلايا الكهروضوئية.....	8
5-I	مجمع قطع مكافئ أسطواني.....	9
6-I	مجمع شمسي مسطح على اليمين ومجمع شمسي مفرغ على اليسار.....	10
7-I	مخطط توضيحي لتحويلات الطاقة الشمسية.....	10
8-I	تسخين المياه بالطاقة الشمسية.....	11
9-I	تدفئة منزل بالطاقة الشمسية.....	11
10-I	جهاز الطبخ الشمسي.....	12
11-I	التجفيف بالطاقة الشمسية.....	12
12-I	مقطر شمسي مزدوج.....	12
13-I	مبدأ عمل أنظمة التبريد الشمسي.....	13
14-I	مختلف مناطق الطاقة في الجزائر.....	14
1-II	دورة التبريد الكلاسيكية.....	17
2-II	مخطط توضيحي لأنظمة التبريد بالطاقة الشمسية.....	18
3-II	رسم تخطيطي لنظام تبريد كهروضوئية.....	19
4-II	نظام التبريد الميكانيكا الحرارية.....	19
5-II	مبدأ نظام التبريد الشمسي ذات دورة مغلقة.....	20
6-II	نظام التبريد الشمسي بالامتزاز.....	23
7-II	مخطط كلايرون لعمليات دارة التبريد الامتزازية الشمسية.....	24
8-II	مخطط توضيحي لمكونات وعمل آلة التبريد بالامتصاص.....	27
9-II	نظام التبريد الامتصاصي الشمسي.....	29
10-II	نظام التبريد الشمسي أحادي الامتصاص.....	32
11-II	نظام التبريد الشمسي مزدوج الامتصاص.....	33

قائمة الأشكال

34	..... نظام التبريد الشمسي ثلاثي التأثير	12-II
37	..... مقطع للاقط مفرغ أنبوب حراري (يمين) ومخطط للشكل العام ل-PTC (يسار)	1-III
38	..... صورة لثلاجة شمسية بالامتزاز	2-III
39	..... صورة لنظام امتزاز بواسطة لاقط شمسي أسطواني مكافئ	3-III
40	..... صورة لمستودع التبريد الشمسي بالامتزاز	4-III
40	..... صورة لآلة الامتزاز بالطاقة الشمسية	5-III
41	..... صورة من غرفة نظام التبريد الشمسي بالامتصاص	6-III
44	..... يوضح دورة مثالية لآلة التبريد بالامتزاز	7-III
44	..... تأثير المواد المعدنية الممتازة على COP_{Th}	8-III
45	..... تأثير المواد المعدنية الممتازة على Q_{Utile}	9-III
46	..... مخطط دورة محول حراري لامتصاص-الطرد	10-III
48	..... منحني استخدام بعض مركبات العضوية	11-III
49	..... منحني تغيرات (COP) لآلة تبريد بالامتصاص بدلالة تركيز المادة النانوية.	12-III
50	..... مخطط توضيحي لنظام تبريد بالامتصاص والامتزاز	13-III

قائمة الرموز والاختصارات

قائمة الرموز

الوحدة	المقدار الفيزيائي	الرمز
/	معامل الأداء الكلي	COP
/	معامل الأداء الحراري لنظام التبريد بالامتزاز	COP_{ref}
/	معامل الأداء الحراري	COP_{Th}
/	معامل كفاءة الطاقة	ECOP
kJ/kg	الأنثالبي الحراري النوعي	H
kJ/kg	أنثالبي التكثيف	$h_{fg.con}$
kJ/kg	أنثالبي التبخير	$h_{fg.eva}$
W/m ² .K	معامل الحمل الحراري	h_{pm-AC}
W/m.K	معامل التوصيل الحراري	k_{AC}
kg	الكتلة	M
kg/s	تدفق المحلول الفقير المتجه إلى الماص عبر المبادل الحراري	\dot{m}_a
kg/s	تدفق بخار وسيط التبريد الخارج من المولد	\dot{m}_d
kg/s	التدفق الكتلي الداخلة	\dot{m}_{in}
kg/s	التدفق الكتلي الخارجة	\dot{m}_{out}
kg/s	تدفق المحلول الغني من الماص إلى المولد	\dot{m}_r
Pa	ضغط المكثف	p_c
Pa	ضغط المبخر	p_e
kW	استطاعة العنصر الماص	\dot{Q}_A
kW	استطاعة المكثف	\dot{Q}_C
kJ/h	كمية الحرارة المطروحة في المكثف	\dot{Q}_{con}
kW	استطاعة التبريد (المبخر)	\dot{Q}_E
kJ/h	كمية الحرارة الممتصة في المبخر	\dot{Q}_{ev}
kW	استطاعة المولد الحراري	\dot{Q}_G
kW	الاستطاعة الحرارية الداخلة إلى العنصر	\dot{Q}_{in}
kW	الاستطاعة الحرارية الخارجة من العنصر	\dot{Q}_{out}

قائمة الرموز والاختصارات

kJ/h	كمية الحرارة المقدمة لتسخين الوسيط في جهاز الامتزاز	Q_a
kJ/kg	كمية الحرارة الساخنة المطروحة من المكثف لنظام الامتصاص	Q_H
kJ/kg	كمية حرارة الباردة المكتسبة من المبخر لنظام الامتصاص	Q_L
MJ	طاقة الكلية للوحدة	Q_{Utile}
kJ/h	كمية الحرارة داخل المكثف	q_c
kJ/h	كمية الحرارة داخل المبخر (كمية البرد)	q_e
kJ/h	كمية الحرارة الممتصة خلال المرحلة (1-2) (كمية حرارة التسخين)	q_{12}
kJ/h	كمية الحرارة الممتصة المرحلة (2-3) (كمية حرارة توليد مع تكثيف)	q_{23}
kJ/h	كمية الحرارة المطروحة خلال المرحلة (3-4)	q_{34}
kJ/h	كمية الحرارة المطروحة خلال المرحلة (4-1)	q_{41}
$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة المادة المازة (درجة حرارة الجو)	T_a
$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة المكثف	T_c
$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة التجديد	T_d
$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة المبخر	T_e
$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة اللاقط بعد مرحلة التبريد	T_{sa}
$^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة الامتصاص	T_{sd}
kW	استطاعة المضخة	W_p
kg/kg	التركيز الأعظمي للامتزاز	x_{\max}
kg/kg	التركيز الأصغري للتوليد	x_{\min}
kg/kg	الفرق بين التركيزين الأعظمي والأصغري	Δx

قائمة الرموز والاختصارات

قائمة الاختصارات:

الاختصار	المعنى بالعربية	المعنى بالانجليزية
S	الإشعاع المباشر	Direct radiation
D	الإشعاع المنتشر (المبعثر)	Diffuse radiation (Scatter)
A	الإشعاع المنعكس (الألبيدو)	Reflected radiation (albedo)
G	الإشعاع الشمسي الكلي	Global solar radiation
PV	الألواح الكهروضوئية	Photovoltaic
PT	الألواح الحرارية الضوئية	Photothermic
DC	تيار مستمر	Direct Current
AC	تيار متناوب	Alternative Current
HPG	مولد الضغط العالي	High pressure generator
LPG	مولد الضغط المنخفض	Low pressure generator
PTC	المجمع الأسطواني القطع المكافئ	Parabolic Trough Collector
EAHT	المحول الحراري لامتصاص الطرد	heat transformer by absorption ejection
PCM	مواد متغيرة الطور	Phase-changing materials

مقدمة عامة

مقدمة عامة:

إن البحث في مجال الطاقات المتجددة يعتبر من أهم المواضيع التي استقطبت أنظار الباحثين في عصرنا الحالي، وذلك نتيجة التضاعف المفرط في الطلب العالمي عليها منذ ما بعد الثورة الصناعية [1]، كما أنها تعتبر طاقة مجانية ودائمة وكحل بديل للطاقة الأحفورية الملوثة والأخذة في النفاذ.

بعد الارتفاع المفاجئ في أسعار النفط عام 1973م، أدركت العديد من الدول أهمية تطوير هذه الطاقات وخاصة الطاقة الشمسية التي تعد أمرا متاحا في بلادنا العربية. حيث تحظى الجزائر بإمكانيات كبيرة من الطاقة الشمسية نظرا لمساحتها وموقعا الجغرافي الهام، فهي تستقبل كميات كبيرة من أشعة الشمس والتي تقدر الكمية الواردة ب 5 كيلوواط سا/ م² وتصل إلى 7 كيلوواط سا/ م²، مما يعني أنها تغطي 5000 مرة من الاستهلاك الوطني من الكهرباء، وبالتالي فإن الطاقة الشمسية تمثل أحد الحلول الممكنة في بلادنا.

ويقصد بالطاقة الشمسية الضوء المنبعث والحرارة الناتجة عن الشمس اللذان سخرهما الإنسان لمصلحته منذ العصور القديمة باستخدام مجموعة من الوسائل التكنولوجية التي تتطور باستمرار. حيث أن الطاقة المستلمة من الشمس خلال ساعة واحدة تعادل ما تحتاجه الكرة الأرضية من الطاقة لمدة عام تقريبا، والمستلمة في عام واحد تعادل ضعفي المستخدم والمكتشف والمقدر من طاقة الفحم والنفط والغاز وطاقة اليورانيوم النووية. ولهذا خصصت معظم الدول في العالم ميزانيات كبيرة لاستغلال الطاقة الشمسية، كما تعددت الطرق المقترحة للاستفادة منها [2].

ولقد سعى الإنسان منذ بداية حياته في البحث عن أسباب الراحة وتأمين أفضل الشروط للعيش المثالي، فقد قام باستغلال الطاقة الشمسية في أنظمة التبريد والتكييف وذلك من أجل التقليل المفرط في كمية الكهرباء المستهلكة، وأصبحت هذه التقنيات مطلبا من متطلبات حياته اليومية لاسيما وأنها متعلقة بحاجته الشخصية في زمن بات فيه استعمال دارات التبريد الميكانيكية يشكل خطرا على حياتنا وأصبح يهدد بتلوث وشيك سواء من ناحية وسائط عمله الضارة بالبيئة أو نواتج طاقة تشغيله [3].

ويعتبر مجال التبريد وتكييف الهواء من المجالات ذات الازدهار المستمر في العالم وبالأخص في البلاد النامية، حيث أنه غالبا لا يوجد مجال صناعي أو علمي لا يعتمد في ناحية من نواحيه على هذا العلم كما يعتقدون البعض أن لهذا المجال صعوبة خاصة لكونه يجمع في طياته بين العلوم الميكانيكية وعلوم الكهرباء بفروعها، كما يلزمون أيضا العاملين في هذا المجال أن يكونوا على قدر كبير من معرفة المعلومات الأساسية في شتى مجالاته، وقد لوحظ في الإحصائيات العالمية والتي قدرها الباحثون لسنة

2005 أنه يوجد ارتفاع واضح في الطلب على استخدام تقنيات التبريد، حيث تبين أن 25% من الطاقة المستعملة في العالم تستخدم لأغراض التبريد والتكييف[4].

ومما سبق قد تبلورت فكرة البحث في دراسة وتحليل آلات التبريد العاملة بالطاقة الشمسية، وذلك بعد الرجوع إلى ما تم التوصل إليه في هذا المجال من تجارب وأبحاث علمية، حيث كان هناك الكثير من الدراسات المرجعية لأنظمة التبريد الامتزازية والامتصاصية المشغلة بالطاقة الشمسية، ومن بين هذه الدراسات التجريبية كتصميم ثلاجة شمسية تعمل بطريقة الامتزاز وتصميم نظام تكييف الهواء يعمل بالامتصاص [5] وهذا ما دفعنا إلى طرح العديد من الأفكار أنه كيف يمكننا استخدام واستغلال الطاقة الشمسية في أنظمة التبريد والتكييف؟ وهل هناك تطور وتحسن في هذه الأنظمة عبر الزمن أم لا؟ وللإجابة على هذه التساؤلات سنقدم دراسة شاملة حول هذه الإشكالية.

تكمن أهمية موضوع بحثنا هذا حول دراسة لأنظمة التبريد الشمسي (الامتزاز والامتصاص) والتحسينات المضافة لزيادة فعاليتها، وسنتطرق إلى كل فصل بإجراء دراسة نظرية والتي تتمثل في ما يلي:

- الفصل الأول: يعتمد على دراسة مفاهيم وعموميات حول الطاقة الشمسية حيث سنتعرف بشكل عام على مفهوم الطاقة الشمسية وكيفية تخزينها وتحويلها ومجالات استخداماتها..... ومدى أهمية استغلالها وتوفيرها لكونها طاقة نظيفة ومستدامة ولا تتضب.
- بينما الفصل الثاني: سنخصص بحث في المراجع حول تقنيات التبريد الشمسي والذي يهدف إلى التعرف على أنظمة التبريد الشمسي المتمثلة في الامتزاز والامتصاص ومكوناتها ومبدأ عمل كل آلية.
- والفصل الثالث والأخير: سنقدم بحث في المراجع حول التحسينات في أنظمة التبريد الشمسي وأهم الأعمال المنجزة التي حققها العلماء والباحثين.

الفصل الأول:

مفاهيم وعموميات حول الطاقة

الشمسية

1-I - تمهيد:

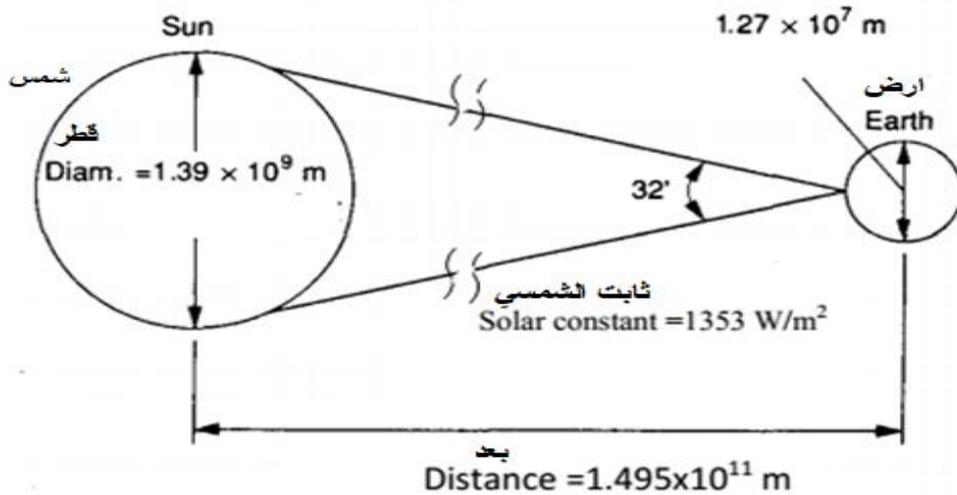
الشمس آية من آيات الله في الكون ومن أعظم نعمه علينا، فقد سخرها المولى عز وجل لتحقيق وتلبية كل حاجيات الكائنات الحية على وجه الأرض. لقوله تعالى: « وَسَخَّرَ لَكُمُ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ دَائِبَيْنِ وَسَخَّرَ لَكُمُ اللَّيْلَ وَالنَّهَارَ » [سورة إبراهيم: الآية 33].

تعتبر طاقة الشمس من أهم مصادر الطاقة، لكونها طاقة متجددة نظيفة (صديقة للبيئة)، دائمة (غير قابلة للنفاذ) وواسعة الانتشار (غير محتكرة). حيث تنبه الإنسان في العصر الحديث إلى إمكانية الاستفادة من أشعة حرارتها واستغلالها في جميع مجالات حياته. من هنا نتساءل: ماهية هذه الطاقة وماذا يترتب عنها؟

2-I - الطاقة الشمسية:

1-2-I - تعريف الشمس:

الشمس هي النجم المركزي للمجموعة الشمسية. تعد في التصنيف النجمي نجماً من نوع القزم الأصفر وتدور حولها الأرض وسبع كواكب أخرى وخمس كواكب قزمة على الأقل، والعديد من الكويكبات والمذنبات والسدم. تعد الشمس أقرب النجوم إلى الأرض، وهي عبارة عن كرة غازية ملتهبة بدلا من أن تكون جسما صلبا. هذا النوع من النجوم يقوم بتحويل الهيدروجين إلى هليوم عن طريق الاندماج النووي الذي يتكون في لب الشمس [6]، حيث يبلغ قطرها 1.391.000 كم وتفصلها عن الأرض مسافة يبلغ معدلها 149.598.000 كم. ويمكن اعتبار الشمس كجسم أسود مشع حيث تصل درجة حرارة سطحها حوالي 5800 كلفن وتتراوح درجة حرارة مركزها ما بين $(8 \times 10^6 - 40 \times 10^6)$ [7]، [8].



الشكل (1-I): أبعاد وموضع الشمس والأرض [8].

I-2-2- الإشعاع الشمسي:

الإشعاع الشمسي هو الطاقة الإشعاعية التي تطلقها الشمس في كل الاتجاهات، وهي طاقة ضخمة جدا يقدرها البعض بـ 170 ألف حصان (أي حوالي 125077.5 كيلو واط) لكل متر مربع من سطح الشمس [2]، إلا أن معدل الإشعاع الشمسي الساقط على مستوى سطح الأرض أقل من 1367 وات لكل متر مربع ما يعرف بالثابت الإشعاع الشمسي. لأن الغلاف الجوي يمتص جزءا من الإشعاع الشمسي (حوالي 15%) ويعاد بثه في كل الاتجاهات في شكل إشعاع منتشر. ويعكس الغلاف الجوي جزءا آخر من الإشعاع الشمسي نحو الفضاء (حوالي 6%). وبالتالي فإن الإشعاع الكلي على مستوى الأرض يعرف بأنه مجموع الإشعاع المباشر والإشعاع المنتشر. ويصل الإشعاع الشمسي إلى أقصى شدة له عندما يكون متعامد مع السطح الساقط عليه [9].

وبالتالي يكمن تقسيم الإشعاع الشمسي على سطح الأرض إلى:

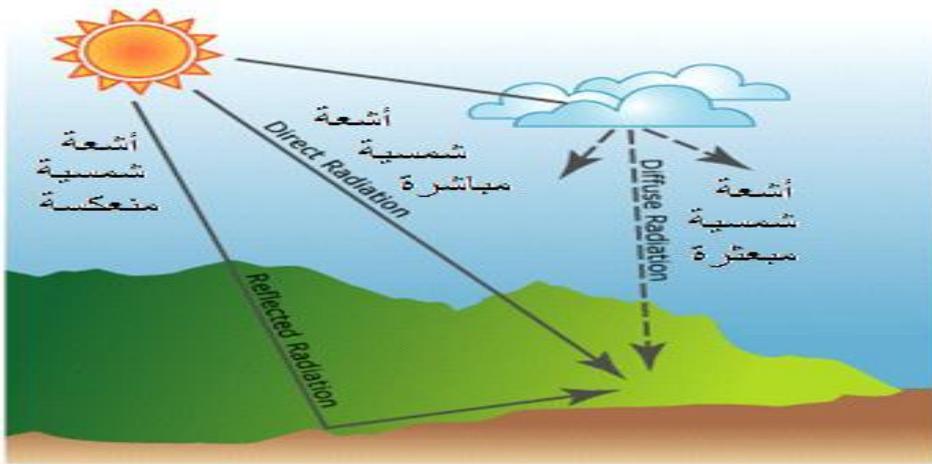
أ- **الإشعاع المباشر (S):** هو ذلك الجزء من الإشعاع الشمسي الذي يعبر الغلاف الجوي دون انعكاس ولا تشتت، أي عبارة عن حزمة ضوئية مباشرة من الشمس وتبقى على حالها دون ضياع.

ب- **الإشعاع المنتشر (المبعثر) (D):** هو الإشعاع الساقط على سطح ما بعد أن تشتت خلال مروره بطبقات الجو ويأتي من جميع الاتجاهات. إن جزء من الإشعاع المنتشر غير مهمل ويمكن أن يصل إلى 50% من الإشعاع الكلي (وفقا للوضع الجغرافي للمكان)، أو هو الإشعاع الذي انعكس وسقط على ذلك السطح.

ج- **الإشعاع المنعكس (الألبيدو) (A):** هو جزء الأشعة الواصلة إلى الأرض التي يمكن أن تنعكس نحو المستقبل، ويعتمد الإشعاع المنعكس كثيرا على خصائص سطح الأرض وزاوية السقوط، حيث أنه من الصعب جدا حسابه فإنه لا يؤخذ في الحسابات، إلا أنه يمكن أن يكون مهم عندما تكون الأرض عاكسة بشكل خاص (الماء والثلوج).

د- **الإشعاع الشمسي الكلي (G):** هو الإشعاع الشمسي الواصل إلى نقطة من سطح الأرض الناتج من مجموع الشعاع المباشر، المنتشر. كما في المعادلة التالية والشكل (I-2) يبين ذلك [10]:

$$G=S+D (W/m^2)..... (I-1)$$



الشكل (I-2): أنواع الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض [10].

I-2-3- أهمية الطاقة الشمسية:

للطاقة الشمسية أهمية بالغة تنعكس على جميع جوانب حياة الإنسان سواء الاقتصادية أو الاجتماعية أو البيئية منها، ويمكن أن نذكر من بين النقاط التي تكسب الطاقة الشمسية أهميتها فيما يلي:

- الطاقة الشمسية طاقة هائلة من حيث مخزونها وكميتها، من حيث مخزونها إن الشمس منبع لا ينتهي من الطاقة، ومن حيث كميتها إن ما يصل إلى الأرض من الأشعة الشمسية يعادل عدة أضعاف احتياج البشرية من الطاقة.

- تعد الطاقة الشمسية عملية من ناحية استخدامها، فهي قابلة للتحويل إلى أنواع أخرى من الطاقة كالطاقة الحرارية والميكانيكية والكهربائية.

- تعد هذه الطاقة لا مثيل لها في بعض الاستخدامات الخاصة فيما يتعلق بحياة الإنسان والنبات كالمشاريع الضخمة التي تعتمد على تبخير كميات هائلة من المياه وعمليات التركيب الضوئي.

- تعد هذه الطاقة مصدرا نظيفا للطاقة من حيث تأثيرها على البيئة وغير خطرة الاستعمال.

- الشمس هي مصدر الضوء والحرارة على سطح الأرض.

وتأتي أهمية الطاقة الشمسية من اعتبارها أهم مصادر الطاقة المتجددة خلال القرن الحالي، لأن الطاقة التقليدية (الأحفورية) مهددة بالنضوب، وكذلك بما خلفته من آثار كارثية على بيئة الأرض من تلوث وارتفاع في درجة حرارة الأرض، والتي سببت تغيرات مناخية في جو الأرض. لذلك فإن جهود كثير من الدول تتوجه نحو استثمار الطاقة الشمسية، وترصد لها المبالغ اللازمة لتطوير المنتجات، والبحوث

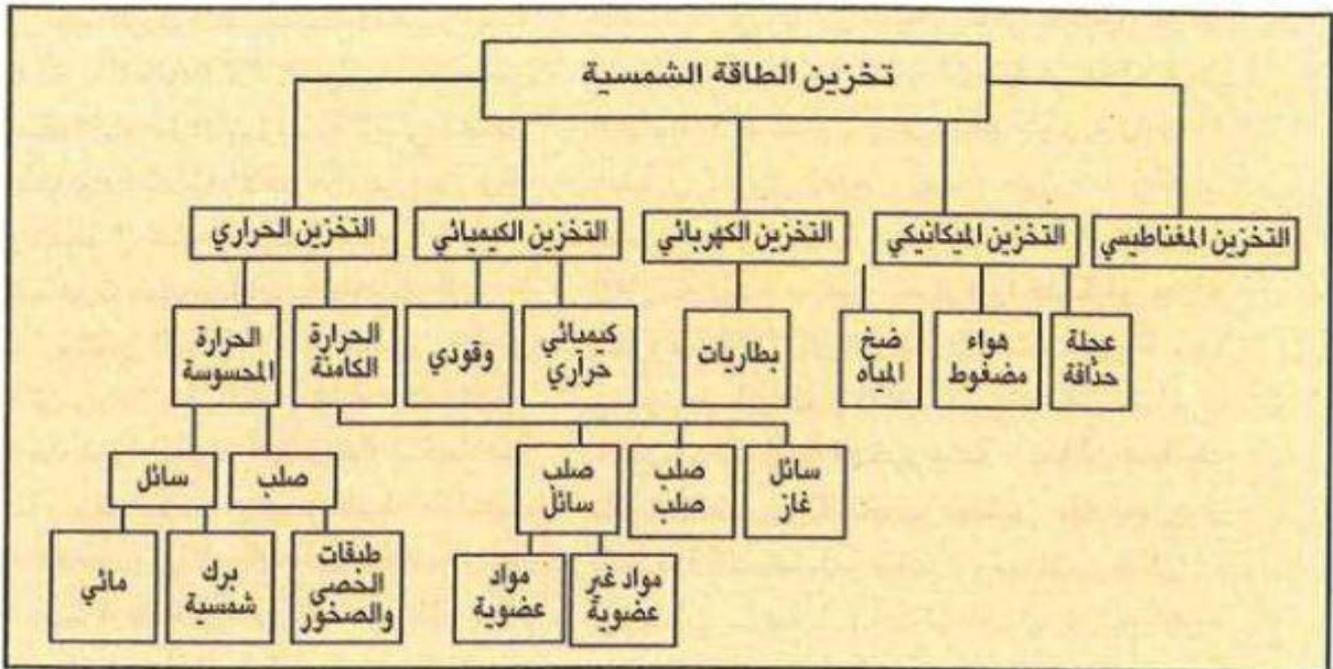
الخاصة باستغلال الطاقة الشمسية كإحدى أهم مصادر الطاقة البديلة للنفط والغاز، وقد أعطي النصيب الأوفر في البحوث والتطبيقات لمجال تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء [11].

I-2-4- الجوانب الايجابية والسلبية لاستخدام الطاقة الشمسية:

يوضح الجدول أدناه (I-1) بعض ايجابيات وسلبيات الطاقة الشمسية [12].

سلبياتها	ايجابيتها
- تعد الطاقة الشمسية قليلة الكثافة لواحدة السطح إذا ما قورنت بأنواع الطاقة التقليدية.	- تعد الطاقة الشمسية بديلا ميدانيا للوقود الأحفوري.
- عدم استمرارية الطاقة الشمسية خلال اليوم، حيث تتوفر فقط لساعات معينة مما يسبب مشاكل عملية في استخدامها.	- تتوزع الطاقة الشمسية على سطح الكرة الأرضية، وتصل إلى الجميع فلا حاجة لنقلها وتوزيعها.
- تعتبر مشكلة التخزين من المشاكل المطروحة في استغلال الطاقة الشمسية.	- تعتبر مصدرا آمنا بيئيا أي أنها تمنع حدوث التلوث (طاقة نظيفة).
- تعتبر تكاليف إنشاء محطات الطاقة الشمسية وتجهيزاتها باهظة.	- الطاقة الشمسية مجانية، لذلك يعتمد استخدامها على الكلفة التأسيسية فقط.

❖ كما يجدر الإشارة أنه يمكن استخدام وسائل وطرق مختلفة لتخزين الطاقة الشمسية وهي موضحة في المخطط التالي:



الشكل (I-3): مخطط توضيحي لتخزين الطاقة الشمسية [13].

I-3- تحويلات الطاقة الشمسية:

لقد حاول الإنسان منذ فترة بعيدة الاستفادة من الطاقة الشمسية واستغلالها ولكن بقدر قليل ومحدود، ومع التطور الكبير في التقنية والتقدم العلمي الذي وصل إليه الإنسان فتحت آفاقا علمية جديدة في ميدان استغلال الطاقة الشمسية، حيث من الممكن تحويل واستخدام الطاقة الشمسية بطريقتين أساسيتين هما: التحويل الكهروضوئي (الطاقة الشمسية الكهربائية) والتحويل الحراري (الطاقة الشمسية الحرارية)[14].

I-3-1- الطاقة الشمسية الكهربائية (Solar Electrical Energy):

تسمى أيضا بالطاقة الشمسية الكهروضوئية وهي عملية تحويل الإشعاع الشمسي (ضوء الشمس) إلى طاقة كهربائية، مباشرة بواسطة الألواح أو الخلايا الشمسية التي تتميز بالخواص الإلكترونية لبعض المواد أو المركبات والتي تصنف ضمن أشباه الموصلات[15].



الشكل (I-4): أنظمة الخلايا الكهروضوئية [15].

I-3-2- الطاقة الشمسية الحرارية (Solar Thermal Energy):

هي عملية حصاد واستغلال الطاقة الشمسية وذلك بتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات الشمسية، فإذا تعرض جسم داكن اللون ومعزول إلى الإشعاع الشمسي فإنه يمتص الإشعاع وترتفع درجة حرارته. حيث هناك نوعين من المجمعات الشمسية الحرارية المستخدمة لهذا الغرض وهي: المجمعات الشمسية الحرارية المركزة والمجمعات الشمسية المسطحة (الغير المركزة)، ولكل نوع من هذه الأنواع استخدامات معينة[14][15].

I-3-2-1- المجمعات الشمسية الحرارية المركزة:

يوجد عدد كبير من المجمعات الشمسية المركزة حسب شكل أو وظيفة كل منها، فمنها ما هو على شكل جزء أسطواني (قطع مكافئ، الأسطواني) ومنها على شكل صحن (مرآة مقعرة). حيث يتكون المجمع الشمسي المركز من: السطح العاكس، اللاقط، السائل الناقل للحرارة، ونظام التوجيه (تتبع) الشمس، ويلحق بالمجمع عدد من الملحقات والتوابع لتعمل مع المجمع كنظام بسبب وجود درجات حرارة مرتفعة جدا تزيد عن 250 درجة مئوية هذه الدرجات يستفاد منها في تسخين المياه، للمنشآت والمصانع وفي تحلية المياه، إنتاج الكهرباء وفي عمليات تكييف الأجواء (صيفا بالتبريد وشتاء بالتدفئة)[16].



الشكل (I-5): مجمع قطع مكافئ أسطواني[17].

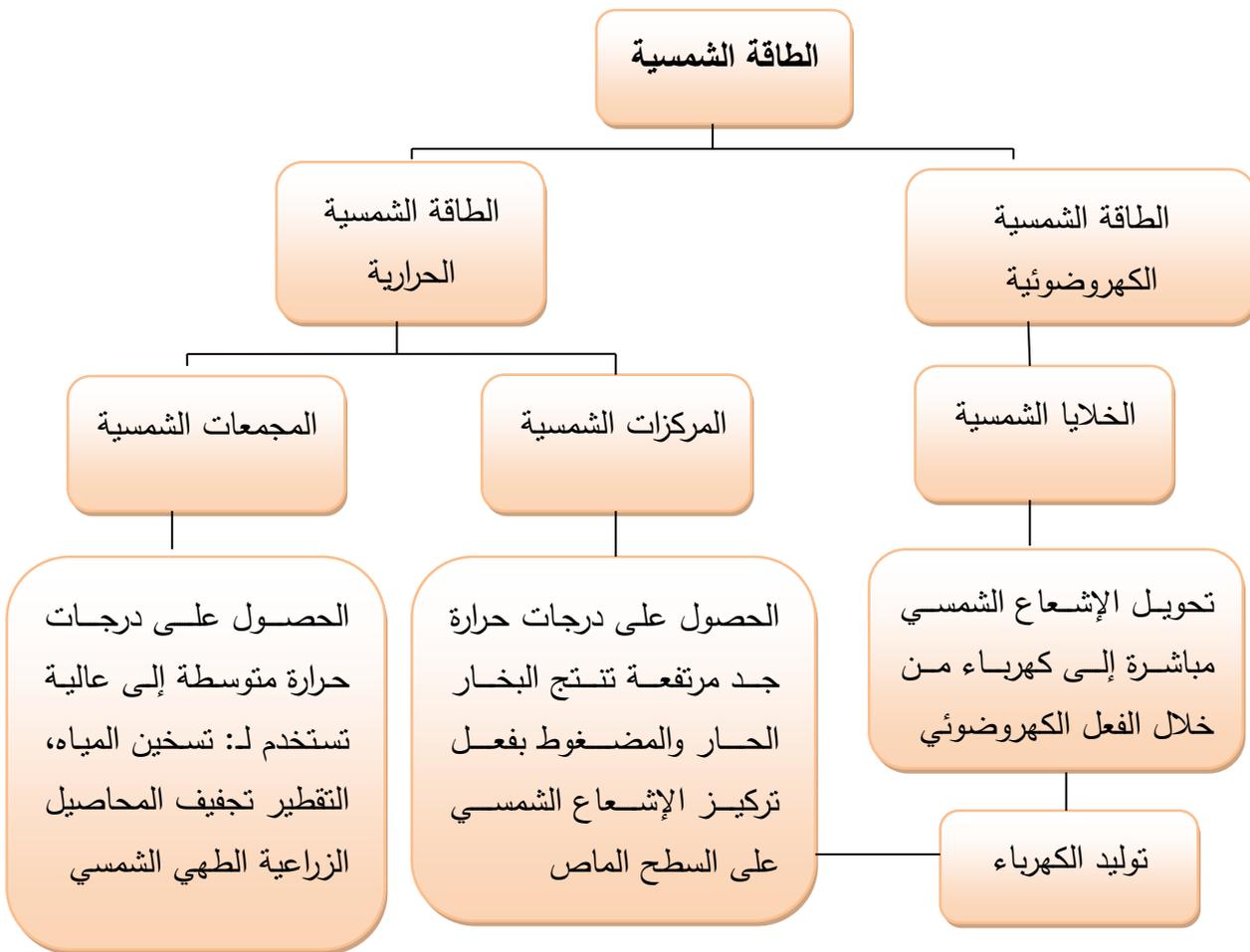
I-3-2-2- المجمعات الشمسية المسطحة (الغير المركزة):

المجمع أو اللاقط الشمسي المسطح هي وحدة يتم بواسطتها استقبال الإشعاع الشمسي الساقط على سطحها وتحويله إلى طاقة حرارية من خلال سطح ماص تنتقل إلى الهواء المار بين الزجاج والماص الحراري [18] ولزيادة كفاءة اللاقط الشمسي تم استحداث ما يسمى بالمجمع الشمسي المفرغ. تعتمد هذه النظم أساسا على ما يعرف باسم الأنابيب المفرغة والتي تمتص الطاقة الشمسية بكفاءة عالية بنسبة قد تصل إلى 98% وتحولها إلى طاقة حرارية لتسخين المياه، وهي عبارة عن أنابيب زجاجية شفافة مفرغة من الهواء وبداخلها أنابيب أخرى مغطاة بمادة خاصة هذه المادة تساعد على زيادة امتصاص الإشعاع الشمسي الساقط عليها عبر الأنابيب الزجاجية والفراغ الموجود داخل الأنبوب ووظيفته أنه عازل جيد للحرارة وتعطي هذه المجموعات درجة حرارة مرتفعة، وتمر بها المياه لتسخين نتيجة لتلامسها للأنابيب المفرغة ثم تخزن المياه في الخزان[19].



الشكل (I-6): مجمع شمسي مسطح (على اليمين). مجمع شمسي مفرغ (على اليسار) [20].

❖ كما يمكن أن نضع مخطط توضيحي يلخص التحولات الطاقة الشمسية الممثلة أدناه:



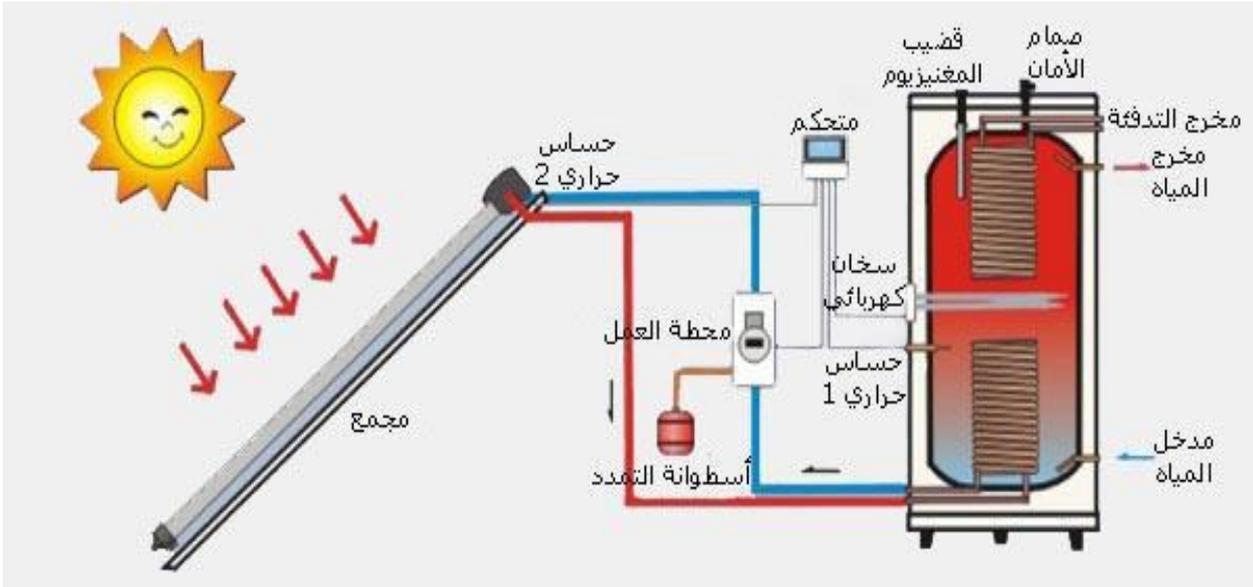
الشكل (I-7): مخطط توضيحي لتحولات الطاقة الشمسية [13].

I-4- الاستخدامات المنزلية للطاقة الشمسية الحرارية:

أصبح استخدام الطاقة الشمسية واسع الانتشار في جميع أنحاء العالم لما له من فوائد عديدة مثل تقليل استخدام الطاقة الأحفورية (النفط والغاز)، وتقليل التلوث البيئي ونذكر منها ما يلي:

I-4-1- تسخين المياه والتدفئة:

يستخدم السخان الشمسي في تجميع الأشعة الشمسية الساقطة على المجمعات الشمسية وتحويلها إلى طاقة حرارية وذلك للاستفادة منها في تسخين المياه، حيث تخزين المياه في خزان حراري قد يكون من الزجاج أو الزجاج الليفي للاحتفاظ بحرارة الماء [21].



الشكل (I-8): تسخين المياه بالطاقة الشمسية [21].

كما يمكن ضخ الحرارة المكتسبة في المجمعات إلى داخل الحيز المادي حيث يمكن تدفئة البنايات باستخدام الهواء أو الماء. فعند التدفئة بالهواء يتم تسخين الهواء في المجمعات الشمسية ثم يدفع إلى داخل البناية، أما بالنسبة للتدفئة بالطاقة الشمسية التي تستعمل الماء فإنها تتضمن مبادلات حرارية لنقل الحرارة من الماء القادم من المجمع الشمسي إلى الهواء المدفوع إلى داخل الحيز [21].



الشكل (I-9): تدفئة منزل بالطاقة الشمسية [22].

I-4-2- الطبخ وتجفيف المحاصيل:

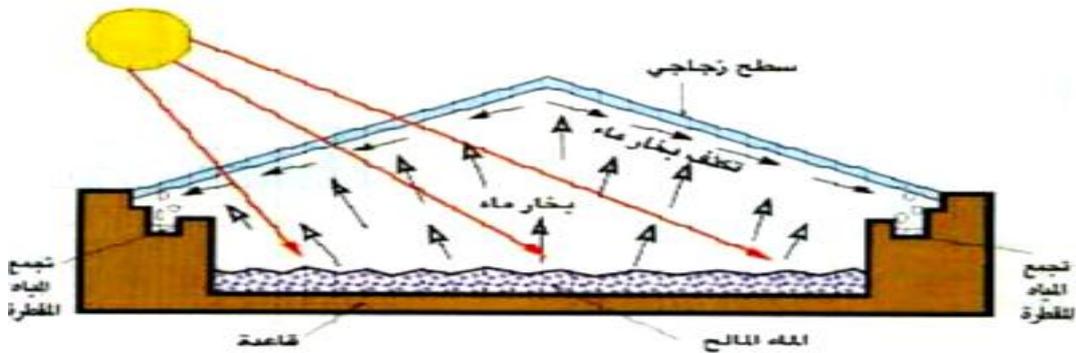
إن استخدام الطاقة الشمسية للطهي هو أحد حلول المهمة لتخلص من استخدام الخشب والغاز وللتقليل من انبعاث الغازات الدفيئة. خصوصا أن كلفتها قليلة والحصول عليها يسير جدا، ويمكن كذلك استعمال الطباخ الشمسي في تجفيف المحاصيل والبسترة. والتجفيف بالطاقة الشمسية هي عملية تخلص المحاصيل من كل السوائل الموجودة فيها وذلك لمنعها من التلف وجعلها صالحة للتخزين لفترات طويلة.



الشكل (10-I): جهاز الطبخ الشمسي [23]. الشكل (11-I): التجفيف بالطاقة الشمسية [23].

I-4-3- تحلية المياه:

عملية التحلية تعني تحويل المياه المالحة إلى مياه عذبة عن طريق المقطرات الشمسية المتنوعة الشكل: (I-12) [8]. وتتكون أساسا من الغطاء المصنوع من الزجاج والذي يمتاز بعدة خصائص نلمس منها؛ أنه شفاف وله إمكانية تمرير الإشعاعات الواردة من الشمس، وكذلك يعمل على حبس الأشعة ما تحت الحمراء التي تعمل بدورها على تسخين الماء المالح في حوض التبخير، والذي يتصاعد ليتكاثف على الوجه الداخلي للغطاء الزجاجي.

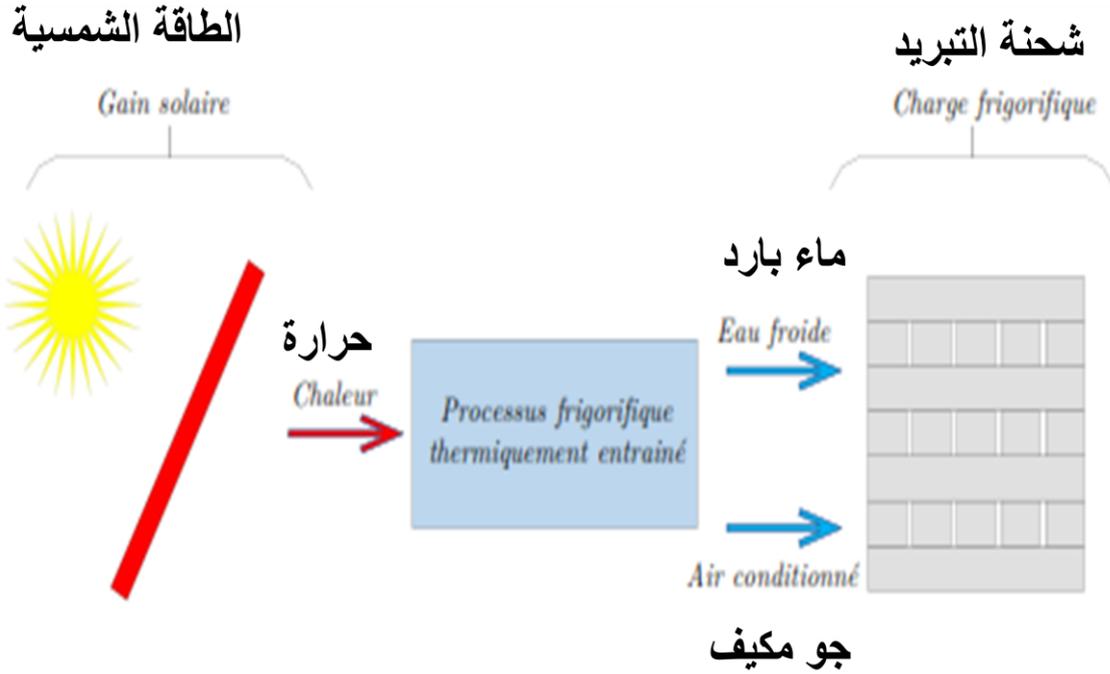


الشكل (12-I): مقطر شمسي مزدوج [23].

I-4-4- التبريد الشمسي الحراري:

ويتم عمل دورات التبريد الشمسية الحرارية باستخدام نظامي الامتصاص أو الامتزاز وذلك من أجل إنتاج ماء أو هواء بارد. وهو عبارة على مزيج من ثلاثة أنظمة فرعية كما هي موضحة في الشكل (I-13):

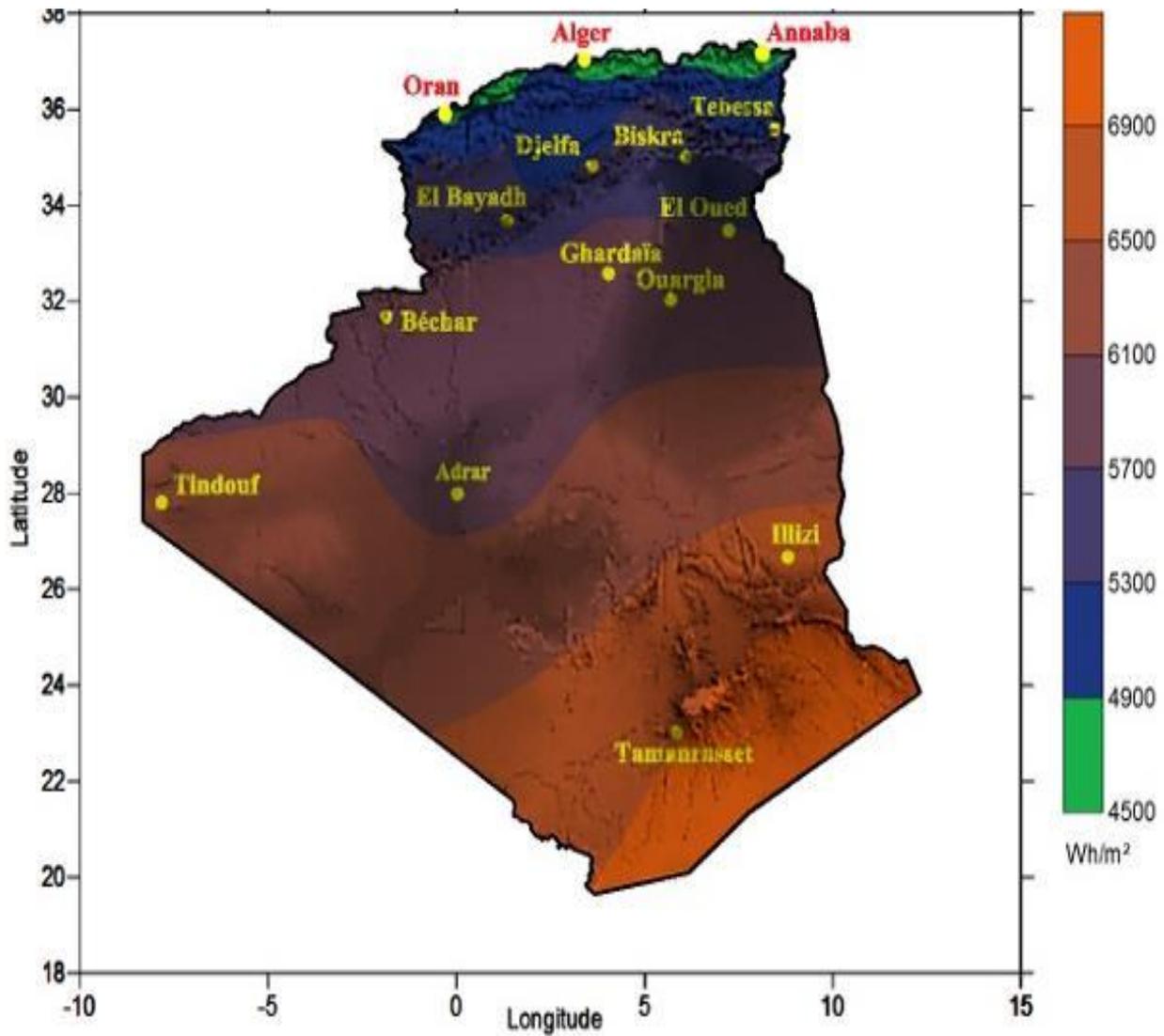
- نظام فرعي شمسي: يتكون من مجمّع شمسي وخزان حرارة.
- نظام فرعي: يتكون من آلة تبريد مدفوعة حراريا.
- نظام فرعي: يشكل الحمل الذي يستخدم البرودة المنتجة.



الشكل (I-13): مبدأ عمل أنظمة التبريد الشمسي [24].

I-5- الطاقة الشمسية في الجزائر:

تتوفر الجزائر جغرافيا موقعا المتميز على أكبر حقل من الطاقة الشمسية في حوض البحر المتوسط، كما أن متوسط إشراق الشمس في الأرض الجزائرية يتجاوز 2000 ساعة سنويا، ومجموع تلقي الطاقة الشمسية في الجزائر يقدر بـ 169400 تيراواط ساعة/ سنة أي 5000 مرة استهلاك الكهرباء السنوي في البلاد، والجزائر لديها أهم حقل للطاقة الشمسية في العالم، وإذا قارنا الطاقة الشمسية مع الغاز الطبيعي فإن إمكانيات الطاقة الشمسية في الجزائر تساوي ما يعادل 37000 مليار متر مكعب، أي أكثر من 8 أضعاف احتياطات الغاز الطبيعي في البلاد [25] والشكل التالي يوضح مختلف مناطق الطاقة في الجزائر.



الشكل (I-14): مختلف مناطق الطاقة في الجزائر [26].

I-6- خاتمة:

تعتبر الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقات المتجددة التي يمكن للإنسان أن يستفيد منها، حيث ظهرت أهميتها كعامل مهم في الاقتصاد العالمي. كما يعد استخدام الطاقة الشمسية من بين الطرق البديلة التي تعتمد في تشغيلها على الكهرباء، وذلك باستعماله في العديد من التطبيقات المستهلكة. في هذا الفصل قد تطرقنا إلى التعرف على مفاهيم عامة حول الطاقة الشمسية من خلال طرق تحويلها واستخداماتها والتي كانت من بينها التبريد الشمسي وسنعمد على دراسته بشكل مفصل في الفصل الثاني.

الفصل الثاني:

بحث في المراجع حول التبريد

الشمسي

II-1- تمهيد:

تعتبر أنظمة التبريد وتكييف الهواء من أهم مستهلكي الطاقة، عادة ما يتم تشغيل هذه الأنظمة بواسطة الطاقة الكهربائية المنتجة من الوقود الأحفوري (البترول، الغاز الطبيعي، الفحم). ومن أجل التقليل الاستهلاك المفرط للكهرباء أدى إلى العديد من الباحثين والعلماء إلى التفكير في طريقة بديلة تتمثل في استخدام أنظمة التبريد بالطاقة الشمسية. سوف نتطرق في هذا الفصل إلى مختلف تقنيات التبريد الشمسي الحراري ومن بينها آليتي الامتزاز والامتصاص.

II-2- نبذة تاريخية في علم التبريد:

يعتبر انتقال الحرارة عن طريق آلية لتوفير تكييف الهواء اختراع حديث نسبياً، على عكس آلية التبريد المعروفة منذ الأزل، فقام أثرياء الرومان بإحاطة الجدران بقنوات مياه لتبريد منازلهم الفاخرة.

- في القرن الثاني اخترع الصيني دينغ هاو مروحة دوارة لتكييف الهواء تعمل يدوياً [27].
- في العصور الوسطى في إيران كانت تستخدم أحواض وأبراج رياح لتبريد المباني خلال موسم الصيف.
- في عام 1820م اكتشف الباحث والمخترع البريطاني مايكل فاراداي أن ضغط وتسييل غاز النشادر يمكن أن يبرد الهواء عندما يسمح بتبخر الأمونيا.
- في 1842 استخدم طبيب ولاية فلوريدا جون جوري تكنولوجيا لعمل الجليد، استخدمها لتبريد الهواء لمرضاه في مستشفى أباليشيكولا (بفلوريدا).
- في 1902م قام وليس كاريير بتصميم وبناء أول نظام لتكييف الهواء للتحكم في الرطوبة ودرجة الحرارة للهواء الداخلي لمطبعة [28].
- في 1906م استخدم مصطلح تكييف الهواء لأول مرة في التاريخ بواسطة ستيفرت كرامر [28].
- في 1913م إقامة أول معرض دولي متخصص للتبريد (شيكاغو، أمريكا) [28].
- في 1930م نجاح ميدجلي (Midgley) بالولايات المتحدة الأمريكية بإنتاج مبردات الهالوكربونات التي تعرف تجارياً باسم فريون [28].

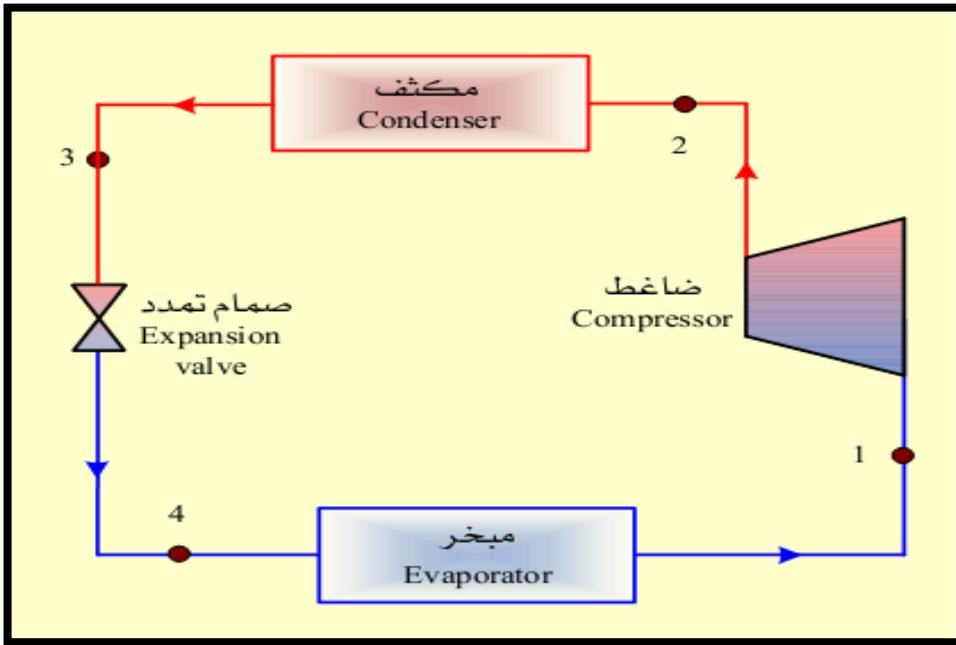
ويستمر الابتكار في مجال التكنولوجيات تكييف وتبريد الهواء، مع التركيز الكبير على كفاءة الطاقة، وتحسين نوعية الهواء الداخلي والحد من آثار تغير المناخ.

حيث يعتبر علم التبريد أحد العلوم الهندسية التطبيقية في مجال الهندسة الحرارية والتي تبحث في طرق الحصول على درجات حرارة منخفضة والمحافظة عليها مهما تغيرت حالة الهواء المحيط، حيث

يبني علم التبريد على القانون الثاني للديناميكا الحرارية الذي ينص: على استحالة انتقال الحرارة من وسط بارد إلى وسط ساخن بدون مساعدات خارجية. أو بعبارة أخرى: يعرف التبريد بسحب الحرارة من المكان المراد تبريده، وذلك بخفض درجة الحرارة داخله والعمل على ثبات قيمتها مهما تغيرت درجة حرارة الجو خارج المكان [29].

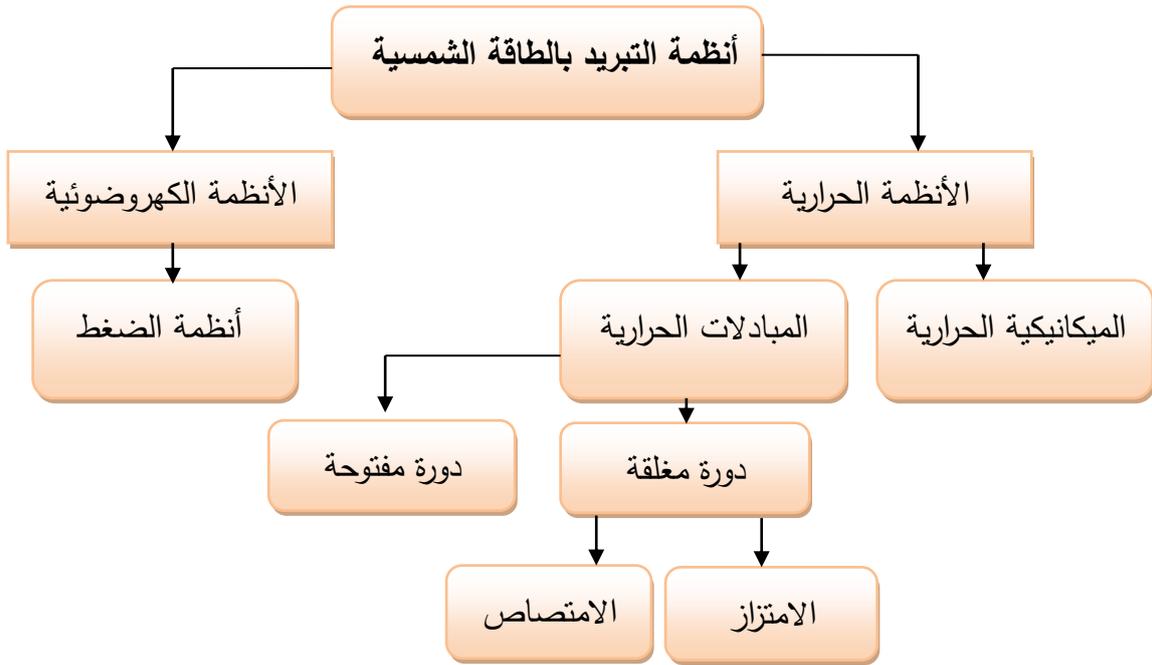
II-3- تقنيات التبريد بواسطة الطاقة الشمسية:

التبريد التقليدي (الكلاسيكي) هو عبارة عن نظام تبريد أو منظومة ترموديناميكية تعمل بالطاقة الكهربائية مثل (المجمدات، الثلاجات المنزلية، المكيفات)، والهدف منها سحب الحرارة من الحيز المراد تبريده، كما يستعمل هذا النظام وسائط (موائع) تعمل على امتصاص الحرارة وضخها بواسطة ضاغط [29].



الشكل (II-1): دورة التبريد الكلاسيكية [30].

إن استخدام الطاقة الشمسية في التبريد يؤدي إلى توفير الطاقة وتلبية بعض احتياجات الدول النامية خاصة في القطاع الريفي. ومن بين الطرق المعتمدة في عملية التبريد: استخدام الكهرباء الناتجة عن الألواح الكهروضوئية (PV) واستخدام الحرارة الناتجة عن الألواح الحرارية الضوئية (PT) [31]. المخطط التالي يوضح أهم هذه الطرق:



الشكل (II-2): مخطط توضيحي لأنظمة التبريد بالطاقة الشمسية [32].

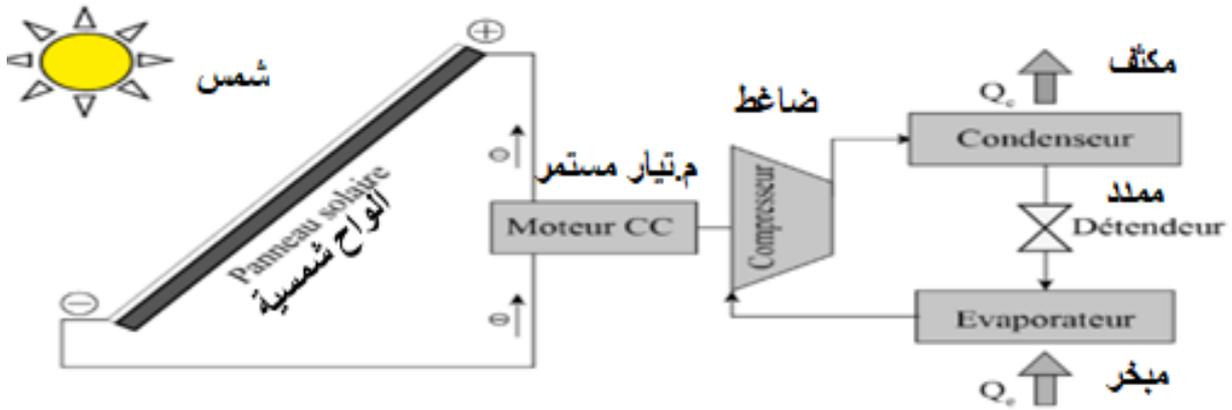
II-3-1- التبريد الشمسي باستخدام الأنظمة الكهروضوئية:

يمكن أن تكون تقنيات التبريد بالطاقة الشمسية عبارة على نظام تبريد يعتمد على استخدام الألواح الكهروضوئية، حيث في هذه الحالة يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء بواسطة الألواح الكهروضوئية. لقد اعتبرت الألواح الكهروضوئية على أنها تكنولوجيا التبريد الشمسية الأكثر استخداماً في تبريد المشاريع التجارية والسكنية الصغيرة (ما يعادل أقل من 5 ميغا واط/ أمبير) [33]. لكن هذه الخلايا الضوئية تنتج بكفاءة كاملة فقط في الأيام المشمسة والتي تظهر فيها السماء صافية. وعليه نحتاج إلى بطاريات للتخزين للأوقات الغير المشمسة.

تعمل الألواح الكهروضوئية (PV) بشكل أساسي لتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية، وعادةً ما يعطي ناتج الأخير تياراً مستمراً (DC). وبما أن أنظمة الضغط الكلاسيكية ومعظم الأجهزة الكهربائية المنزلية والصناعية تستخدم التيار المتناوب (AC) فيجب تحويل التيار المستمر إلى متناوب باستعمال الموجات (Convertiseur DC-AC)، كما نحتاج إلى نظام تحكم لحماية البطاريات من التلف [34].

واليا تم تصنيع بعض أنظمة الضغط تشتغل بالتيار المستمر، وبالتالي يتم الربط مباشرة بالألواح الكهروضوئية. الشكل (II-3) يوضح المكونات الأساسية للأنظمة التبريد الكهروضوئية المباشرة وهي

كالتالي:



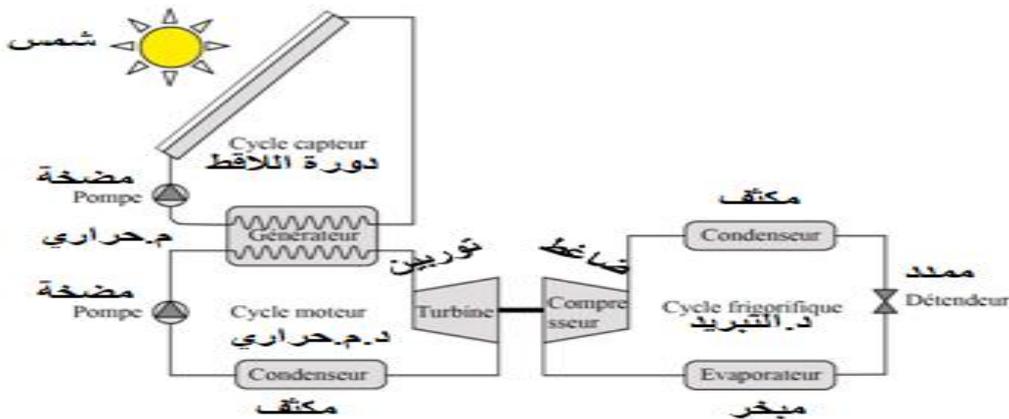
الشكل (II-3): رسم تخطيطي لنظام تبريد كهروضوئية [35].

II-3-2- التبريد الشمسي باستخدام الأنظمة الحرارية:

بدلاً من استعمال الأنظمة الكهروضوئية، يتم استخدام التبريد الحراري الشمسي وذلك من أجل إنتاج البرودة بواسطة تقنية المجمع الحراري الشمسي ويصنف هذه النظام إلى ما يلي:

II-3-2-1- الميكانيكية الحرارية (thermomécanique):

في هذا النظام يتم تحويل الحرارة المجمعة بواسطة محرك حراري إلى طاقة ميكانيكية وذلك من أجل استخدامها لتشغيل ضاغط آلة التبريد بضغط البخار. بينما تعتمد الكفاءة الكلية لمثل هذا النظام على كفاءة التحويل الشمسي (المجمع الشمسي) والتحويل الحراري (المحرك الحراري) وتحويل التبريد (جهاز التبريد)، كما يتم إنتاج الطاقة بشكل أساسي من عدة دورات من بينها: دورة رانكن، ستيرلنغ ودورة النفاث... والتي تمت دراستهم في زمن السبعينات والثمانينات [16].



الشكل (II-4): نظام التبريد الميكانيكا الحرارية [16].

II-3-2-2- المبادلات الحرارية (الديناميكا الحرارية):

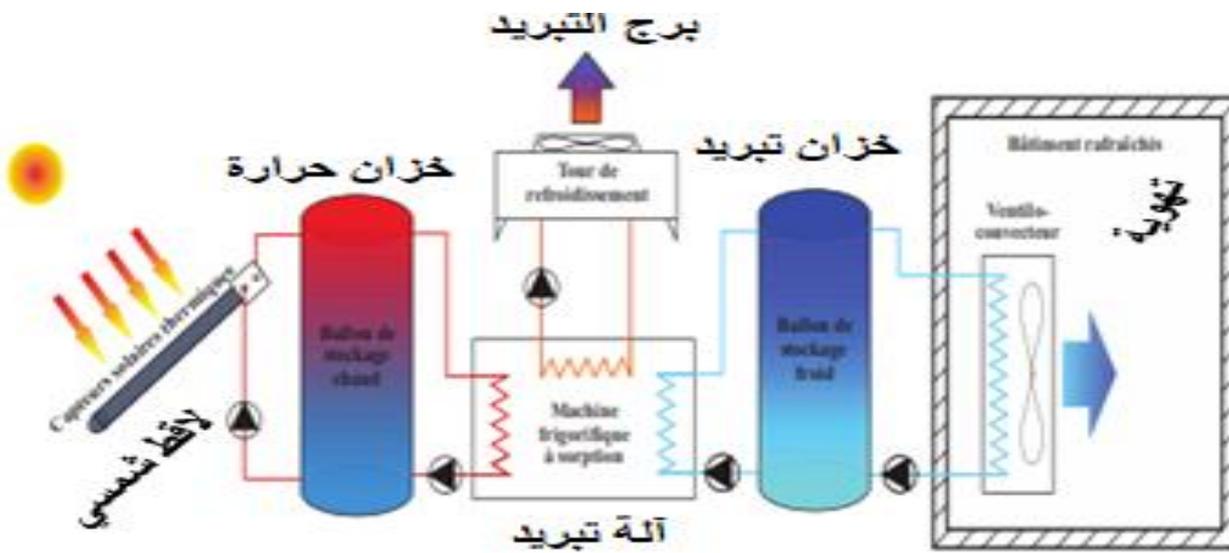
هو علم يهتم بانتقال الحرارة من مكان إلى آخر، أو هي خاصية تغير درجة حرارة المائع برفع درجة حرارته أو خفضها من وسط إلى آخر وهي قسمان:

(أ) أنظمة تبريد ذات دورة مفتوحة (Les systèmes frigorifiques à cycle ouverts):

تتميز هذه الآلات بأن وسيط التبريد المستعمل يخرج من الآلة على شكل ناتج مفيد (برودة) مثل آلات تمييع الهواء. أي أن يعتمد مبدأ هذه الأنظمة على ترطيب الهواء نتيجة لتخفيض درجة حرارته الجافة بحيث تتم هذه العملية بمزج (حقن) الماء في الهواء فيمتص هذا الأخير الحرارة فيتبخر وشرط حدوث هذه الظاهرة أن يكون الهواء الأولي جافاً وبدرجة حرارة كافية [36].

(ب) أنظمة تبريد ذات دورة مغلقة (Les systèmes frigorifiques à cycle fermé):

تعمل الدورات الديناميكية الحرارية لهذه الأنظمة بين مصدرين حراريين (مصدر ساخن ومصدر بارد)، أي أن وسيط التبريد يجتاز كل الأجهزة في الآلة بشكل دوري وتتغير درجة حرارته بين درجتين حرارة المنبعين الحار والبارد المفروضتين ومن بين هذه الآلات: آليتي الامتزاز والامتصاص وهما موضوع الدراسة [36]. الشكل الموالي يبين مبدأ عمل نظام تبريد شمسي للمنازل بدورة مغلقة.



الشكل (II-5): مبدأ نظام التبريد الشمسي ذات دورة مغلقة [36].

ولتسهيل الدراسة نقوم بتلخيصها في الجدول التالي:

الجدول (II - 1): أنظمة التبريد بالطاقة الشمسية [16].

المبرد في دورة مغلقة		الدورة
الامتصاص	الامتزاز	تقنية النظام
سائل	صلب	الطور
H ₂ O -LiBr	هلام السيليكا/الماء	زوج العمل
H ₂ O-LiCl	زيوليت / الماء	
NH ₃ -H ₂ O	الكربون المنشط/الميثانول	
10kW-5MW	7-430 kW	القدرة (الاستطاعة)
0.6-0.75	0.5-0.6	معامل الأداء (COP)
80-110°C	65-90 °C	درجة حرارة المولدة
أنابيب مفرغة مسطحة		اللاقط الشمسي

II-4- نظام التبريد الشمسي بالامتزاز:

II-4-1- مفهوم ظاهرة الامتزاز:

ظاهرة الامتزاز أو الادمصاص (Adsorption) هي عبارة عن عملية يتم فيها ارتباط مادة سائلة مع مادة صلبة (solide- sorption) ليشكلان ما يسمى بزوج العمل، أي هي عملية فيزيائية يحدث فيها ارتباط عدد من جزيئات هاتين المادتين وفقا لقوى رابطة فاندافرالس، وبالتالي هي عملية اكسومترية (تغير في الأبعاد بين الجزيئات) يتبعها تحول في المادة من حالة السائل إلى الغاز وهذا يعتمد على نوع وطبيعة زوج العمل المستخدم [37]. تسمى المادة السائلة بالمادة الممتزة (adsorbat)، وتسمى المادة الصلبة بالمادة المازة (adsorbent). وقد يقتصر الامتزاز على تكوين طبقة جزئية واحدة على السطح الصلب (الماز) وتدعى هذه الظاهرة عندئذ بالامتزاز أحادي الطبقة، ويشمل أحيانا على تكوين طبقات جزئية عدة وتسمى بالامتزاز متعدد الجزيئات.

وتعود طريقة اختيار زوج العمل المستخدم (الماز والممتز) إلى نوع التبريد المراد تطبيقه، وبالتالي

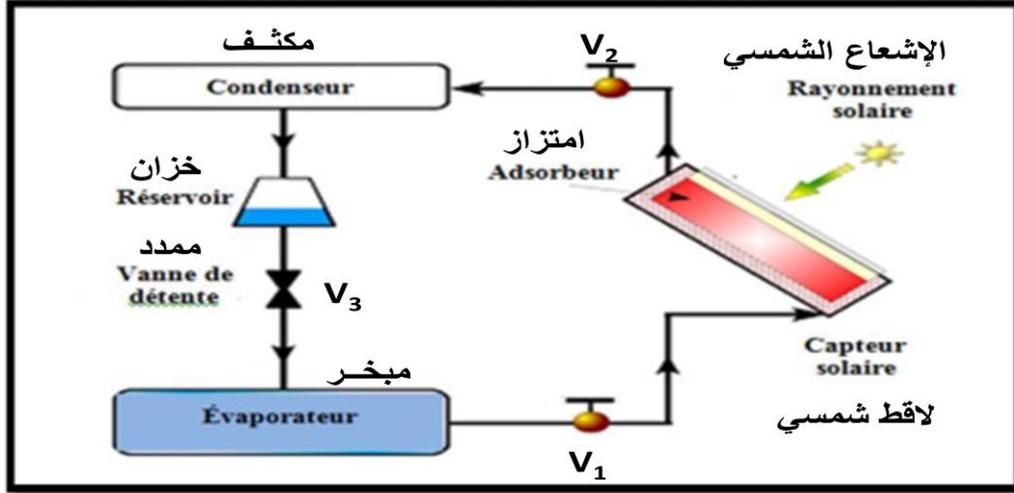
لكل زوج عمل درجة حرارة تبريد وضغط وتركيز محدد، يتم عندها امتزازه وتبخره [37].

(أ) طريقة اختيار الماز: يكون اختيار الماز حسب معايير معينة أهمهما [38]، [39]:

- الأجسام المستخدمة كمواد مازة ذات مساحة نوعية كبيرة جدا.

- يجب أن يكون للماز قدرة امتصاص عالية في درجة الحرارة البيئية والضغط المنخفض، ولكن قدرة امتزاز منخفضة عند أقصى درجة حرارة للنظام والضغط العالي للحصول على كمية كبيرة من إنتاج البرد.
 - انخفاض الحرارة النوعية والتوصيل الحراري الجيد.
 - غير سامة وغير قابلة للتآكل.
 - يجب أن يكون الماز متوافقا كيميائيا مع الممتز المختار.
 - أسعار معقولة ومتاحة على نطاق واسع.
- (ب) **طريقة اختيار الممتز:** يعتمد اختيار سائل التبريد على المعايير التالية [40]، [41]:
- لديه حرارة كامنة عالية من التبخير لإنتاج أقصى قدر من البرد في المبخر.
 - جزيئاته سهل الامتزاز بواسطة الممتز.
 - لزوجته منخفضة والموصلية الحرارية العالية.
 - مستقرة كيميائيا في نطاق درجات حرارة الاستخدام.
 - يجب أن يكون الضغط أعلى من الضغط الجوي لتجنب المشاكل التقنية مثل التسريبات.
 - تكلفة معقولة ومتاحة على نطاق صناعي.
- وبناء على معايير الاختيار المذكورة أعلاه، فإن أكثر الأزواج المطبقة في دراسة التبريد الشمسي بالامتزاز هم: الكربون المنشط/الميثانول، الكربون المنشط/الأمونيا، الزيوليت/الماء، وهلام السيليكا/الماء.
- II-4-2- مبدأ عمل آلة التبريد بالامتزاز:**
- تتكون آلة التبريد بالامتزاز من خمسة عناصر أساسية وهي موضحة في الشكل (II-6):
- اللاقط الشمسي (capteur solaire):** هو العنصر الأساسي في الآلة، يلعب دور الضاغط في نظام الضغط التقليدي. يحتوي على الزوجين (الماز/الممتز).
- المكثف (condenseur):** هو المبادل الحراري الذي يعمل على تكثيف أبخرة سائل التبريد ويكون متصل بمصدر خارجي.
- الخزان (réservoir):** يسمح بتخزين سائل التبريد الخارج من المكثف.
- صمام التمدد (vanne de détente):** هو الجهاز الذي يفصل جزء الضغط العالي (المكثف) عن جزء الضغط المنخفض (المبخر).

المبخر (é vaporateur): مبادل حراري محتوى في غرفة التبريد، حيث يتبخر سائل التبريد عند ضغط المبخر وينتج البرودة.
صمامين للفحص.



الشكل (II-6): نظام التبريد الشمسي بالامتزاز [42].

تعمل آلة التبريد بالامتزاز وفق الخطوات التالية [43]:

- في بداية الدورة يتم إغلاق جميع صمامات الفحص V_1 ، V_2 و V_3 ويكون جهاز الامتزاز في هذه الحالة عند أدنى درجة حرارة له، كما يتم شحن المادة الممتزة بأقصى كتلة عن طريق تسخين الممتز.
- عند تسخين جهاز الامتزاز، يزداد ضغط الغاز مع زيادة درجة الحرارة، وتبقى الكتلة الممتصة ثابتة.
- عندما يصل هذا الضغط إلى ضغط المكثف (الضغط العالي)، يفتح صمام V_2 ، فيتدفق البخار (المادة الممتزة) إلى المكثف ويتم تخزينه على شكل سائل في الخزان.
- يستمر التسخين حتى يتوازن جهاز الامتزاز مع درجة حرارة المصدر الساخن (اللاقط الشمسي)، فتصل درجة الحرارة إلى قيمتها القصوى، وفي هذا الوقت يتم إغلاق الصمام V_2 وتبدأ مرحلة تبريد جهاز الامتزاز.
- يفتح الصمام V_3 ، فيتمدد سائل التبريد المخزن في الخزان ويدخل المبخر وينخفض ضغطه من ضغط المكثف إلى ضغط منخفض (ضغط المبخر).
- عندما يصل الضغط في جهاز الامتزاز إلى ضغط المبخر، يفتح الصمام V_1 ويمتص جهاز الامتزاز (الذي يكون في حالة انخفاض طفيف) البخار الناتج في المبخر فتحدث عملية النظام.

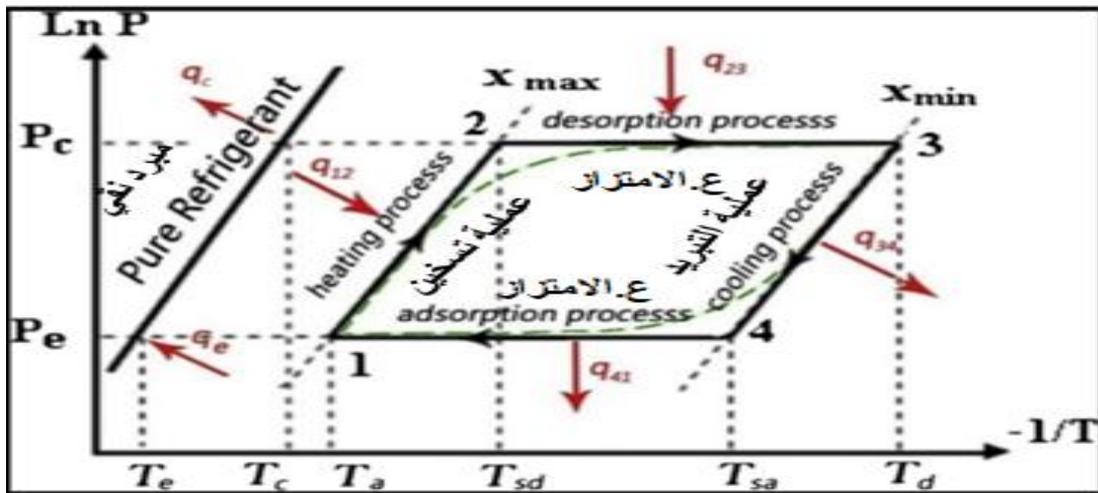
- يستمر تبريد جهاز الامتزاز حتى يصل إلى أدنى درجة حرارة له (تشبع بالمادة الممتزة). يتم غلق الصمامات V_1 ، V_3 وتبدأ دورة جديدة أخرى.
و لهذه الآلة مزايا وعيوب يوضحها الجدول أدناه:

الجدول (II-2): بعض مزايا وعيوب نظام التبريد الامتزازي [43]، [44]، [45]:

المزايا	العيوب
- عدم وجود ضغط ميكانيكي وبالتالي عدم وجود اهتزازا وضجيج.	- المعامل الحراري لأداء هذه الآلات يكون محدود (>0.5).
- استخدام مباشر للطاقة الحرارية الشمسية أي تجنب الاستهلاك الكهربائي للضاغط.	- يتم طرح الفائض من الاستطاعة الحرارية إلى الخارج.
- سهولة الصيانة وتكاليف التشغيل.	- تأثر أداء نظام آلات التبريد الشمسي الإمتزازي بظروف البيئة المحيطة (رياح، درجة الحرارة، الإشعاع الشمسي).
- يمكن أن يكون عمر هذه الآلات طويلا إذا كانت محمية (ضد التآكل).	

II-4-3- مخطط عمل آلة التبريد بالامتزاز:

تعمل دارة التبريد بالامتزاز وفقا لمخطط كلايرون الشكل (II-7) والذي يمثل قيم نقاط الدارة الفعلية المخطط (P,T)، إضافة لخطوط التراكيز التي تحدد مجال دارة العمل، وبمساعدة خطوط الضغط وخط الإشباع لقدرة الامتزاز، كما يوضح المخطط كيفية توضع خطي ضغط التكثيف والتبخير، وتوضع درجات حرارة التكثيف والتبخير على خط الإشباع، يبين الشكل أيضا خطي التركيز الأعظمي للإمتزاز (X_{max}) والأصغري للتوليد (X_{min}) مع كميات الحرارة المضافة والمطروحة ضمن الدارة [46].



الشكل (II-7): مخطط كلايرون لعمليات دارة التبريد الامتزازية الشمسية [47].

نلاحظ من خلال منحني كلايرون أن النظام أو دورة التبريد تمر بأربع مراحل أساسية هي [37]:

- **مرحلة التسخين ورفع الضغط (heating):** من النقطة (1) إلى النقطة (2) حيث يبدأ جهاز الامتزاز في هذه المرحلة بتلقي الحرارة من المنبع الحراري (اللواقط)، لتبدأ درجة حرارة المادة المازة بالارتفاع ويرتفع معها الضغط من ضغط التبخير إلى ضغط التكثيف، بينما يكون الجهاز مغلقا ويعمل ذلك على امتزاز المادة الممتزة من قبل المادة المازة لتصل إلى حد الإشباع الخاص.

- **مرحلة التوليد مع التكثيف (desorption):** من النقطة (2) إلى النقطة (3) تستمر فيها زيادة درجة الحرارة ضمن جهاز الامتزاز مع استمرار تلقي الطاقة الحرارية تحت ضغط التكثيف إلى أن تصل حتى درجة حرارة محددة، تبدأ عندها المادة الممتزة بالتبخير لتعطي وسيط التبريد الغازي العامل في الدارة، والذي سينتقل إلى المكثف بعد أن يفتح صمام التحكم (V_2).

- **مرحلة التبريد (cooling):** من النقطة (3) إلى النقطة (4) يقوم الجهاز في هذه الفترة بطرح الحرارة وهو بحالة الإغلاق، وتبدأ درجة حرارة جهاز الامتزاز بالانخفاض والتي تحت على انخفاض الضغط إلى ضغط التبخير، وبالوقت نفسه يتم أيضا طرح حرارة وسيط التبريد ويتحول إلى سائل.

- **مرحلة التبخير والامتزاز (adsorption):** من النقطة (4) إلى النقطة (1) يستمر انخفاض درجة الحرارة في جهاز الامتزاز مع دخول وسيط التبريد إلى المبخر وتبخيره، ثم عملية سحب هذا الوسيط وامتزازه من قبل المادة المازة تحت ضغط التبخير، وذلك عن طريق الصمام المفتوح (V_1).

❖ **تحليل الحراري للمكثف والمبخر:**

كمية الحرارة المطروحة في المكثف: تعطى كمية الحرارة التي يقوم وسيط التبريد بطرحها في المكثف أثناء تبريده وتحويله لسائل بالعلاقة التالية [37]:

$$\dot{Q}_{con} = m \cdot \Delta x \cdot h_{fg.con} \quad \dots\dots (II-1)$$

الفرق بين التركيزين الأعظمي والأصغري ضمن الدارة. $\Delta x = x_{max} - x_{min}$
 $h_{fg.con}$: أنتالبي التكثيف. (kJ/kg)

كمية الحرارة الممتصة في المبخر: وتمثل كمية الحرارة اللازمة لتبخير وسيط التبريد ضمن المبخر وتعرف بالعلاقة التالية [37]:

$$\dot{Q}_{ev} = m \cdot \Delta x \cdot h_{fg.eva} \quad \dots\dots (II-2)$$

❖ معامل الأداء الحراري لنظام التبريد الامتزازي:

يمثل معامل الأداء الحراري (التبريدي) نسبة الكمية الحرارية اللازمة لتبخير وسيط التبريد في المبخر Q_{eva} إلى كمية الحرارة المقدمة لتسخين الوسيط في جهاز الامتزاز Q_a وفقا للعلاقة التالية: [37]

$$(Q_a = q_{12} + q_{23}) ، COP_{ref} = \frac{Q_{eva}}{Q_a} \dots\dots (II-3)$$

q_{12} : كمية حرارة التسخين.

q_{23} : كمية حرارة توليد مع التكثيف.

II-5- نظام التبريد الشمسي بالامتصاص:

II-5-1- مفهوم ظاهرة الامتصاص:

تعمل آلات التبريد بالامتصاص بفضل قدرة بعض السوائل على امتصاص (تفاعل طارد للحرارة) التخلي (تفاعل ماص للحرارة) الأبخرة. تعتمد هذه العملية على مستويات درجات الحرارة والضغط. عند مستويات منخفضة من درجة الحرارة والضغط يمتص السائل الماص البخار من وسيط التبريد وعند المستويات العالية فإنه يطلقه. يتم استغلال هذه الظاهرة لضخ وسيط التبريد من المبخر إلى المكثف باستخدام مضخة بدلاً من ضاغط البخار في المبردات الكلاسيكية [16].

الجدول (II-3): أزواج العمل المستخدمة في عملية التبريد بالامتصاص [48]، [49]:

المبردات (frigorigènes)	الماص أو الممتص (absorbant)
- الماء H_2O	- بروميد الليثيوم LiBr
- ميثانول CH_3OH	- LiBr
- ميثيلامين CH_3NH_2	- الماء H_2O
- $(CH_2ClF)_2$ R22	- رباعي إيثيلين جلايكول ثنائي ميثيل الأثير
- الأمونيا NH_3	- الماء H_2O

- يعود اختيار أزواج العمل حسب ظروف التشغيل ودرجة الحرارة اللازمة لعمل الدارة، كما يجب أن يتوفر في هذه المحاليل الخصائص الآتية [50]:

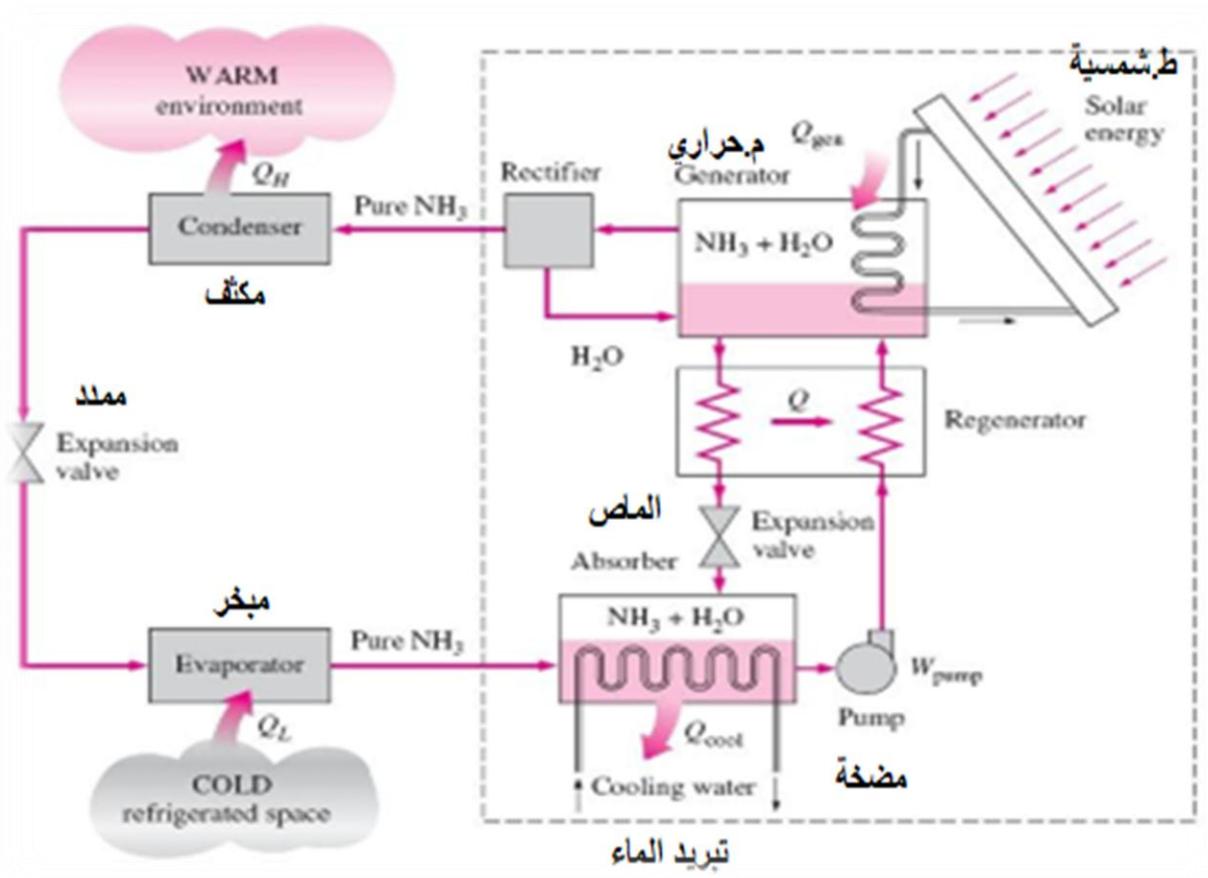
- استقرار حراري وكيميائي لفترات طويلة من التشغيل.
- انخفاض أو انعدام قدرة المادتين على إحداث تآكل في أنابيب النقل أو مكونات النظام.
- لزوجة منخفضة عند ظروف التشغيل.

- انخفاض درجة حرارة تجمده عن أقل درجة حرارة في الدارة.
- غير سام وضار.
- انخفاض الحرارة النوعية.

ومن أكثر الأزواج المستخدمة في عملية التبريد هي مركبات: $(\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O})$ ، $(\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr})$.

II-5-2- مبدأ عمل آلة التبريد بالامتصاص:

تتألف الدارة الامتصاصية من سبعة عناصر أساسية كما في الشكل (8-II) وهي [50]:



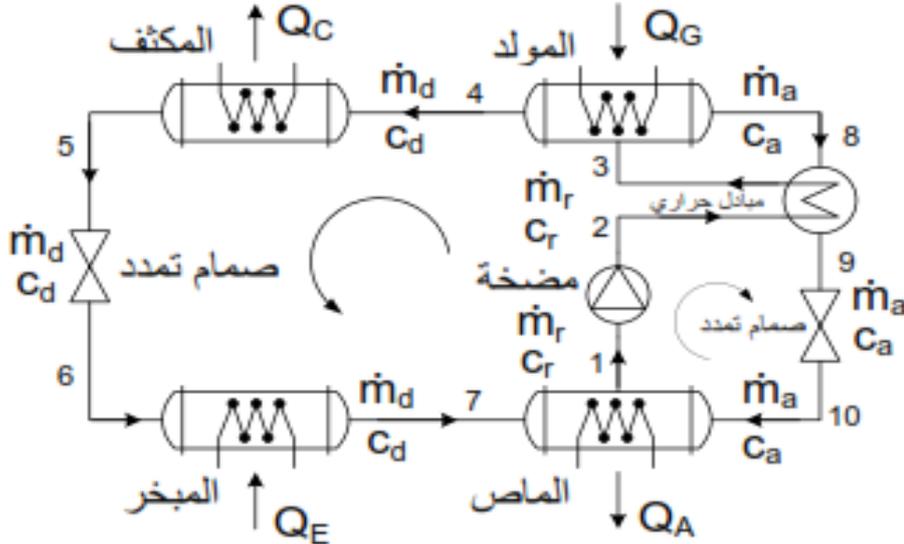
الشكل (8-II): مخطط توضيحي لمكونات وعمل آلة التبريد بالامتصاص [16].

- مولد حراري (générateur): تتم في المولد عملية توليد بخار وسيط التبريد نتيجة لغلجان المحلول وهو عبارة عن وعاء يوجد بداخله أنابيب يمر فيها وسيط القادم من اللواقط الشمسية. وغالبا ما يكون الماء حيث أن أقل درجة حرارة مسموح بها ضمن المولد (حسب درجة حرارة التكاثف هي 30°C) وكذلك فإن أعلى درجة حرارة هي 80°C .

- **مبخر (évaporateur):** عبارة عن مبادل حراري يتم فيه تبريد وسيط التشغيل عن طريق تساقط وسيط التبريد على حزم متعددة من الأنابيب. غالباً ما يكون مصنوعاً من النحاس ودرجة حرارة المبخر المطلوب حسب درجة حرارة وشيعة التبريد هي 7°C .
- **ماص (absorbeur):** عبارة عن وعاء مصنوع من الفولاذ الطري يتم فيه امتصاص وسيط التبريد من قبل المحلول بعد خروجه من المبخر،
- **مكثف (condenseur):** هو مبادل حراري يتمثل دوره في تكثيف المائع، أي ينقل الحرارة من الطور البخار إلى الطور السائل.
- **مضخة ميكانيكية (pompe):** تستخدم لإعادة تدوير أزواج العمل (المبرد/الماص) في الدارة وكذلك تأمين فرق الضغط اللازم.
- **المبادل الحراري (échangeur de chaleur):** يقوم المبادل الحراري بعملية تسخين المحلول أو المزيج وذلك بهدف إنقاص كمية الحرارة المطلوبة في المولد وبالتالي تحسين معامل أداء الدارة.
- صمام التمدد (vanne de détente):** يعملان على تخفيض ضغط وسيط التبريد بين المكثف والمبخر وكذلك تخفيض ضغط المحلول بين المولد والوعاء الماص.
- حيث تعمل دورة التبريد بالامتصاص بنفس طريقة دورة التبريد بالضغط وذلك باستبدال ضاغط ميكانيكي بضاغط حراري وهذا عند ضغطين مختلفين. الضغط العالي هو ضغط المكثف والذي يتساوى مع ضغط المولد الحراري، أما الضغط المنخفض فهو ضغط المبخر والذي يتساوى مع ضغط الوعاء الماص. حيث تستخدم هذه الدورة مادتين قابلتين لتكوين محلول متجانس عند درجة حرارة معينة وقابلتين للفصل عند درجة أخرى، حيث إحدى المادتين تعمل كوسيط تبريد والمادة الأخرى كمادة ماصة، ليشكلان ما يسمى المحلول الغني الموضوع في المولد.
- يتبخر وسيط التبريد بدءاً من المحلول الغني بفعل مصدر حراري متجهاً إلى المكثف، وعندئذ ينكثف بخار وسيط التبريد متحولاً إلى سائل ليمر بعدها عبر صمام تمدد فينخفض ضغطه من ضغط المكثف وصولاً إلى ضغط المبخر وفي المبخر يمتص الحرارة من المكان المراد تبريده متحولاً إلى بخار ثم ينتقل إلى الماص ليتم امتصاصه من قبل المادة الماصة الموجودة ضمن المحلول الفقير (وهو المحلول المتبقي في المولد بعد تبخر وسيط التبريد ويسير من المولد عكس اتجاه الدارة ليستقر في الماص) متحولاً ثانياً إلى محلول غني فيضخ إلى المولد من جديد ماراً عبر المبادل الحراري مستفيداً من حرارة المحلول

الفقير وهكذا يتم استمرار عمل الدورة. وينتج عن عملية الامتصاص حرارة وهذا ما يتطلب تبريدا خارجيا للوعاء الماص [51]، [52].

II-5-3- التحليل الترموديناميكي لنظام التبريد الامتصاصي الشمسي:



الشكل (II-9): نظام التبريد الامتصاصي الشمسي [50].

تعتمد دراسة التوازن الحراري لعناصر دورة التبريد الامتصاصية على معادلتين أساسيتين تمثلان توازن الكتلة والطاقة لكل عنصر من عناصرها [53]:

• توازن الكتلة (II-4) $\sum \dot{m}_{in} - \sum \dot{m}_{out}$

$\sum \dot{m}_{in}$: مجموع التدفقات الكتلية الداخلة إلى العنصر.

$\sum \dot{m}_{out}$: مجموع التدفقات الكتلية الخارجة إلى العنصر.

• توازن الطاقة: (II-5) $\sum \dot{Q}_{in} - \sum \dot{Q}_{out}$

$\sum \dot{Q}_{in}$: مجموع الاستطاعات الحرارية الداخلة إلى العنصر.

$\sum \dot{Q}_{out}$: مجموع الاستطاعات الحرارية الخارجة من العنصر.

❖ ومنه بإجراء الدراسة الترموديناميكية للدورة وفق الشكل (II-9) في كل عنصر نجد [50]:

- المولد الحراري:

مبدأ التوازن الحراري: $\dot{Q}_G + \dot{m}_r \cdot h_3 = \dot{m}_d \cdot h_4 + \dot{m}_a \cdot h_8$ (II-6)

مبدأ التوازن الكتلي: $\dot{m}_r = \dot{m}_d + \dot{m}_a$ (II-7)

\dot{m}_r : تدفق المحلول الغني (غني بوسيط التبريد) من الماص إلى المولد.

\dot{m}_d : تدفق بخار وسيط التبريد الخارج من المولد.

\dot{m}_a : تدفق المحلول الفقير (بوسيط التبريد) المتجه إلى الماص عبر المبادل الحراري.

ومنه فإن التدفق الحراري المقدم للمولد (الاستطاعة اللازمة في المولد) هي:

$$\dot{Q}_G = \dot{m}_d \cdot h_4 + (\dot{m}_r - \dot{m}_d) \cdot h_8 - \dot{m}_r \cdot h_3 \quad \dots\dots (II-8)$$

- المبخر:

$$\dot{Q}_E + \dot{m}_d h_6 = \dot{m}_d \cdot h_7 \quad \dots\dots(II-9) \quad \text{مبدأ التوازن الحراري:}$$

ومنه فإن معدل كمية الحرارة المقدمة للمبخر من المكان المراد تبريده (استطاعة التبريد) هي:

$$\dot{Q}_E = \dot{m}_d \cdot (h_7 - h_6) \quad \dots\dots (II-10)$$

- الماص:

$$\dot{Q}_A + \dot{m}_r \cdot h_1 = \dot{m}_d \cdot h_7 + \dot{m}_a h_{10} \quad \dots\dots(II-11) \quad \text{مبدأ التوازن الحراري:}$$

$$\dot{m}_r = \dot{m}_d + \dot{m}_a \quad \dots\dots (II-12) \quad \text{مبدأ التوازن الكتلي:}$$

ومنه فإن التدفق الحراري في الماص هو:

$$\dot{Q}_A = \dot{m}_d \cdot h_7 + (\dot{m}_r - \dot{m}_d) \cdot h_{10} - \dot{m}_r \cdot h_1 \quad \dots\dots (II-13)$$

- المكثف:

$$\dot{Q}_C + \dot{m}_d \cdot h_5 = \dot{m}_d \cdot h_4 \quad \dots\dots (II-14) \quad \text{مبدأ التوازن الحراري:}$$

ومنه فإن معدل كمية الحرارة المطروحة من المكثف هي:

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_d \cdot (h_4 - h_5) \quad \dots\dots (II-15)$$

- المضخة:

الاستطاعة الواجب تقديمها المضخة هي:

$$W_p = \dot{m}_r \cdot (h_2 - h_1) \quad \dots\dots (II-16)$$

- المبادل الحراري:

$$\dot{m}_r \cdot (h_3 - h_2) = \dot{m}_a \cdot (h_8 - h_9) \quad \dots\dots (II-17) \quad \text{مبدأ التوازن الحراري:}$$

وتعني هذه المعادلة بأن: معدل كمية الحرارة التي يكتسبها المحلول الفقير تساوي معدل كمية الحرارة التي

يخسرها المحلول الغني.

- صماما التمدد:

$$h_5 = h_6 \quad \dots\dots\dots (II-18) \quad \text{بتطبيق مبدأ التوازن الحراري نجد:}$$

$$h_9 = h_{10} \quad \dots\dots\dots (II-19)$$

للتأكد من صحة العلاقات السابقة تكتب معادلة التوازن الكلية لآلة التبريد الامتصاصية كما يلي:

$$\dot{Q}_E + \dot{Q}_G + W_p = \dot{Q}_A + \dot{Q}_c \quad \dots\dots\dots (II-20)$$

وباعتبار أن قيمة استطاعة المضخة W_p صغيرة جدا [50] ويمكن إهمالها بالمقارنة مع الاستطاعات الأخرى وبالتالي تصبح معادلة توازن الاستطاعة بالشكل التالي:

$$\dot{Q}_E + \dot{Q}_G = \dot{Q}_A + \dot{Q}_c \quad \dots\dots\dots (II-21)$$

ويعرف معامل الأداء لدارة التبريد الامتصاصية بأنه النسبة بين معدل الحرارة المسحوبة بالمبخر (أي حمل التبريد \dot{Q}_E) ومعدل الحرارة المضافة إلى المولد \dot{Q}_G أي:

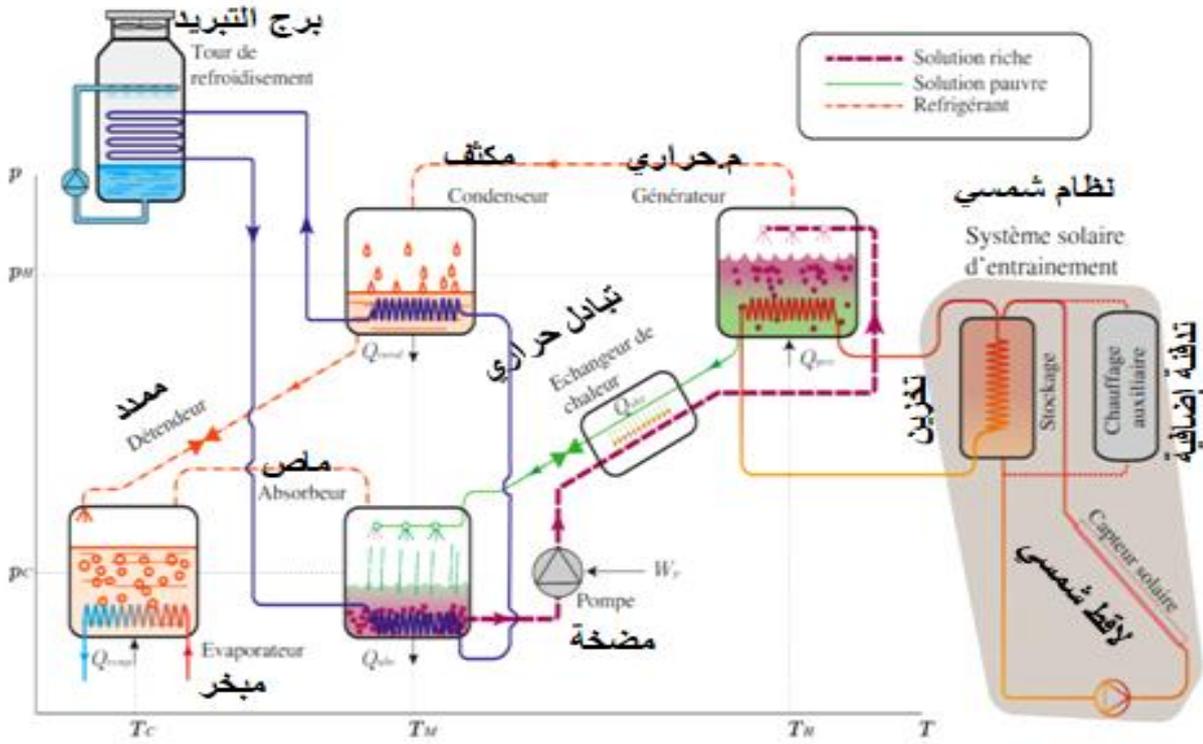
$$COP = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{Q}_G} \quad \dots\dots\dots (II-22)$$

II-5-4- تصنيف أنظمة التبريد الامتصاصية الشمسية:

تصنف دورات التبريد الامتصاصية إلى ثلاثة أصناف وهي:

(أ) نظام التبريد الامتصاص أحادي التأثير:

تعتبر دورة امتصاص أحادية التأثير من أبسط التقنيات الامتصاص بالطاقة الشمسية، حيث تتكون من نفس النظام الموضح في الشكل (II-9). إضافة إلى وجود مجمع شمسي وخزان تخزين الشكل (II-10). عندما يكون هناك إنتاج فائض من الحرارة يتم تخزين هذا الزائد في خزان التخزين، ويتم تنشيط سخان إضافي في حالة عدم توفر الشمس. وتعتمد غالبية أنظمة التبريد بالطاقة الشمسية الموجودة في السوق من أجل تشغيل دورة أحادية التأثير على الزوج (H₂O/LiBr) الذي يتم تغذيته بواسطة مجمعات أنابيب مسطحة أو مفرغة، كما يتراوح أداء معامل هذا النظام (COP) من (0.6 - 0.8)، بينما درجات الحرارة تكون في حدود (80 °C و 100 °C)[16].

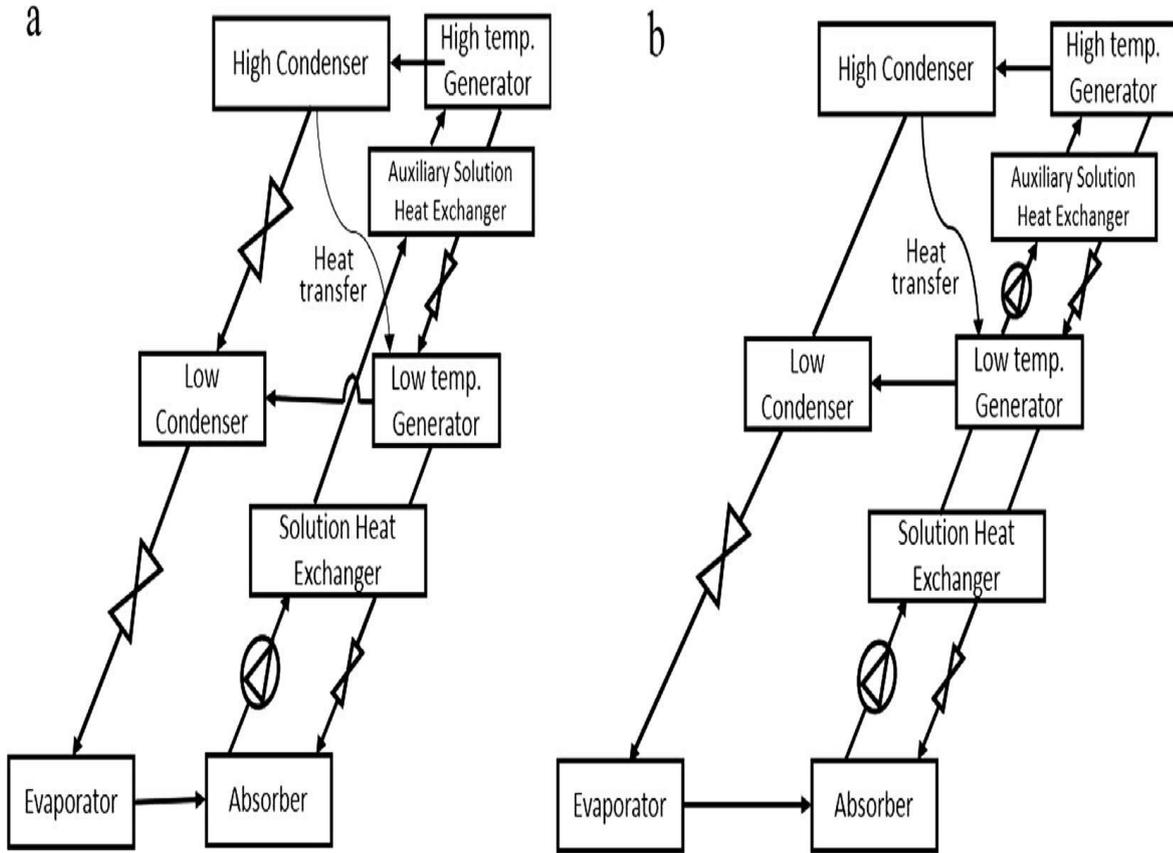


الشكل (II-10): نظام التبريد الشمسي أحادي الامتصاص [16].

(ب) نظام التبريد الامتصاص مزدوج التأثير:

يتم استخدام هذا النوع من الآلات في بعض تقنيات التبريد الشمسي، وهي تعتبر دورة إضافية لدورة امتصاص أحادية التأثير. أي أن النظام التبريد الامتصاصي مزدوج المفعول يمتلك مرحلتا توليد للبخار وذلك من أجل فصل وسيط التبريد عن المادة الماصة، حيث تقدر درجات حرارة التشغيل لهذه الأنظمة بـ $[140-180]^{\circ}\text{C}$ ، بينما تحتوي على معامل أداء مزدوج مقارنة بنظام التبريد أحادي التأثير.

ويوضح الشكل (II-11) مبدأ عمل هذه الدارة والمكونة من مولدين حراريين، أحدهما يعمل عند درجات حرارة مرتفعة (مولد الضغط العالي HPG)، والآخر يعمل عند درجات حرارة منخفضة (مولد الضغط المنخفض LPG)، حيث البخار الناتج من المولد ذي درجات الحرارة الأعلى يعود ويمر عبر المولد ذي درجات الحرارة المنخفضة والذي يعمل عمل مكثف للبخار الأولي الناتج عن مولد الضغط العالي، إضافة إلى عمله بوصفه مولدا حراريا، وهذا ما يميز دارات التبريد الامتصاصية الثنائية، كذلك أن الحرارة المنتجة في المكثف تستخدم لتسخين وسيط التبريد في LPG، وتحقيق توفير في المصدر الحراري، ليخرج بعدها البخار كلا من المولدين إلى مكثف مشترك، ويتابع وسيط التبريد طريقه إلى المبخر، يليه الماص، ليمر بعده على مبادلين حراريين بدلا من مبادل واحد كما في حالة الدارة الأحادية [51].



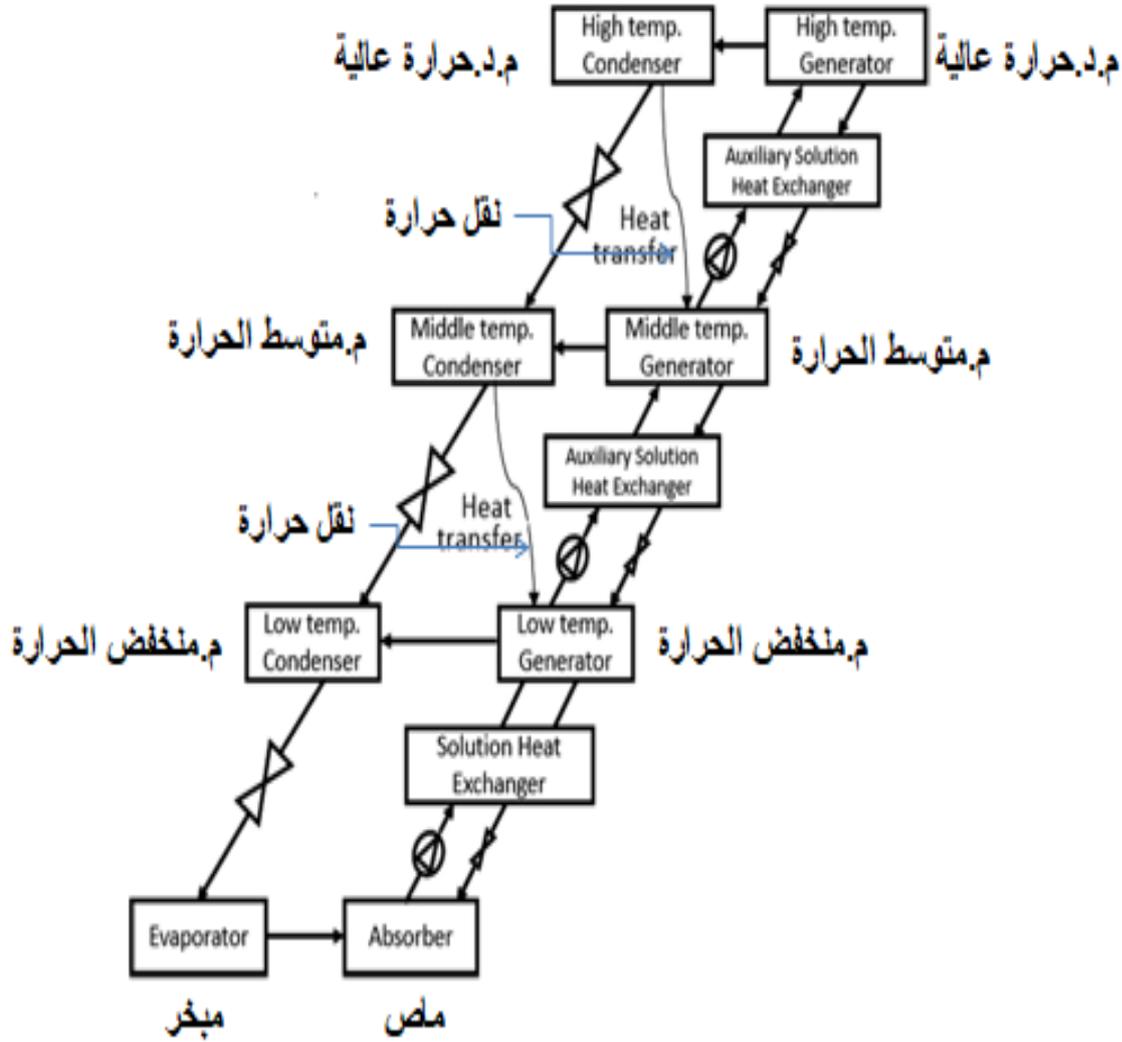
الشكل (II-11): نظام التبريد الشمسي مزدوج الامتصاص [54].

ج) نظام التبريد الامتصاص ثلاثي التأثير:

يعتبر هذا الصنف نتيجة لامتداده دورة امتصاص مزدوجة التأثير، أي هو عبارة عن دورتين أحاديتين المفعول تعمل تحت أربعة مستويات ضغط كما هو موضح في الشكل (II-12).

يتكون هذا النظام من ثلاثة مولدات وثلاثة مكثفات تعمل بشكل مشابه لنظام مزدوج التأثير، ويتضمن هذا الأخير على عمليتين حراريتين داخليتين (مكثف عالي/ مولد متوسط ومكثف متوسط/ مولد منخفض). يتم تكثيف مادة التبريد من المولدات العالية والمتوسطة وتستخدم الحرارة من أجل توفيرها في المولد المنخفض. كما يتدفق المبرد من المكثفات الثلاثة إلى المبخر لحدوث عملية التبريد.

تم تطوير أول وحدة تجارية في سوق باستخدام المركبين ($H_2O/LiBr$) وكان معامل أدائها يبلغ حوالي 1.7 [31].



الشكل (II-12): نظام التبريد الشمسي ثلاثي التأثير [54].

يعطى الجدول (II-4) بعض الأمثلة على استخدام المجمع الشمسي في دورة نظام التبريد بالامتصاص مع أداء كل نظام. [55]

الجدول (II-4): أمثلة على استخدام المجمع الشمسي في دورة نظام التبريد بالامتصاص.

نوع اللاقط	درجة حرارة المصدر	وحدة الحرارة (Btu/Wh)	معامل الأداء (cop)	نظام الامتصاص
مسطحة	85	2.39	0.7	أحادي التأثير
مسطحة	130	4.10	1.2	مزدوج التأثير
أنابيب مفرغة	220	5.80	1.7	ثلاثي التأثير

ولهذه الآلة مزايا وعيوب يوضحها الجدول أدناه:

الجدول (II-5): بعض مزايا وعيوب آلة التبريد الامتصاصي [56]:

عيوب	مزايا
- لها كفاءة طاقوية ضعيفة أي في حدود 0.5 إلى 0.8.	- سهولة الصيانة.
- وجود حد أدنى لدرجة حرارة التشغيل.	- عدم وجود سائل تبريد مضر بالبيئة.
- تكلفة عالية.	- عدم وجود ضغط ميكانيكي وبالتالي عدم وجود اهتزاز وضجيج.
- تستخدم حالياً فقط من أجل إنتاج استطاعة كبيرة للتبريد.	- العمر الافتراضي لهذه الآلات أكبر بكثير مقارنة بعمر آلات الضغط الميكانيكي أي (يتراوح ما بين 25 إلى 30 سنة)
- تحتاج إلى وجود مساحات كبيرة لللواقط.	

II-6- خاتمة:

تحظى مصادر الطاقة المتجددة باهتمام كبير بسبب فوائدها الواعدة، في حين تحظى الطاقة الشمسية وخاصة في التبريد بشعبية كبيرة في أنحاء العالم، وتعد أنظمة التبريد الشمسي أكثر ملائمة من أنظمة التبريد التقليدية في عمليات تبريد وتكييف الهواء والتجميد وكما تعتبر من الحلول المستحسنة وخاصة في المناطق المعزولة وتسعى عدة بحوث علمية في هذه الأنظمة إلى تطوير وزيادة مستمرة في كفاءتها.

الفصل الثالث:

التحسينات في أنظمة التبريد

الشمسي

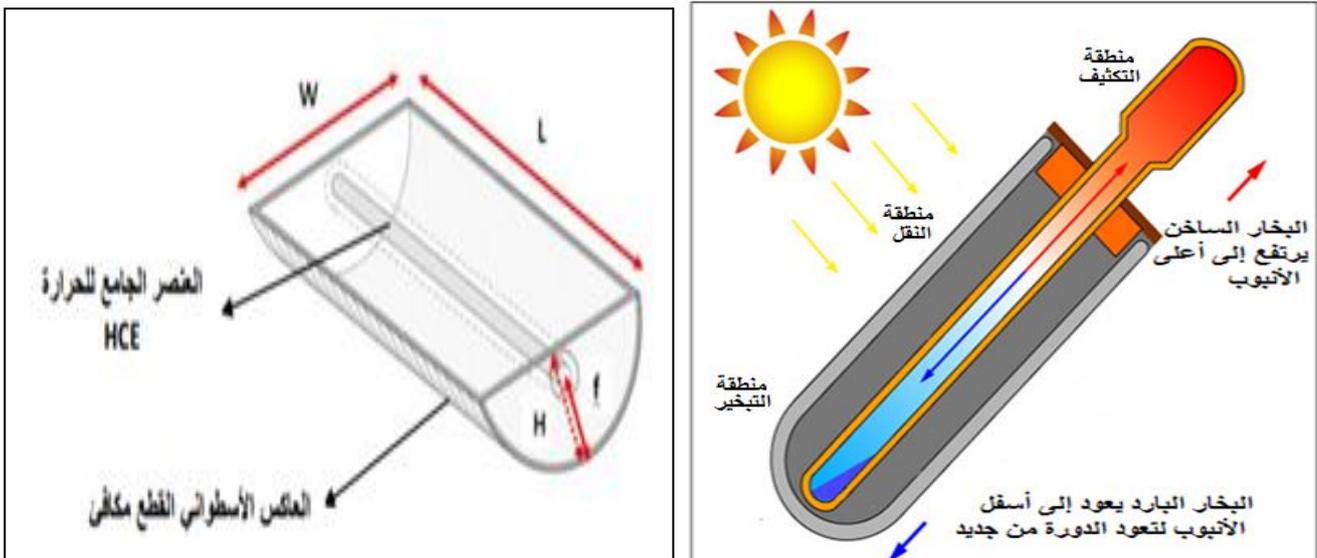
III-1- تمهيد:

من خلال الفصل السابق قمنا بإجراء دراسة نظرية وتحليلية لأنظمة التبريد الشمسي المتمثلة في الامتزاز والامتصاص، حيث تعرفنا على مبدأ تشغيلها ومدى أهمية استخدامها خاصة بالنسبة للدول النامية، وهذا ما أدى بمجموعة من العلماء والباحثين إلى التطوير والتحسين في هذه التقنيات للزيادة في معامل أدائها وسعة تبريدها. حيث سنتطرق في هذا الفصل إلى أهم الأعمال التي حققها العلماء من خلال دراستهم لأنظمة التبريد الشمسي بالامتزاز والامتصاص وكذلك معرفة التحسينات التي قاموا بانجازها.

III-2- مقارنة بين الأعمال المنجزة باللواقط المسطحة والمركزة:

كان العديد من العلماء والمهندسين يستخدمون في تجاربهم مختلف اللواقط الشمسية المسطحة في أنظمة التبريد الشمسي الحراري. فلاحظوا أن اللواقط المفرغة ذات الأنابيب الحرارية التي تعمل عند درجات حرارة مرتفعة هي الأكثر ملائمة لتحسين كفاءة النظام [53].

- كما لاحظوا أيضا أن اللاقط الشمسي المركز الأسطواني القطع المكافئ (PTC) أنه يتيح استخدامه إلى زيادة في مستويات درجات حرارة عالية وبكفاءة حرارية كبيرة ومساحة أقل مقارنة بوسائل التجميع الأخرى.



الشكل (III-1): مقطع للاقط مفرغ أنبوب حراري (يمين) ومخطط للشكل العام لـ PTC (يسار)

[53]، [23].

كما يمكن تحسين كفاءة اللواقط الشمسية باستخدام التتبع الشمسي، وذلك من أجل ضمان وتحقيق أفضل زاوية سقوط لإشعاع الشمسي على السطح اللواقط خلال اليوم، مما تساهم هذه العملية في زيادة من كفاءة اللاقط الشمسي أي يكون أحسن وأفضل من تثبيته في زاوية واحدة.

III-2-1- بعض الأعمال المنجزة في نظام التبريد بالامتزاز:

تهتم فرق البحث في جميع أنحاء العالم بدراسة هذا النوع من أنظمة إنتاج الثلج (الجليد) وذلك من خلال الأعمال التجريبية أو النماذج الرياضية. فتم تخصيص في البداية بعض الفرق من أجل إنشاء نماذج آلات التبريد بالطاقة الشمسية لمحاكاة تشغيل آلة التبريد من بيانات الشمسية الحقيقية، بينما انتقلت الفرق الأخرى إلى المرحلة التجريبية تحت أشعة الشمس الحقيقية أو الاصطناعية. ووفقا لهذا سوف نذكر بعض الانجازات التي تمت دراستها من قبل العلماء في نمذجة نظام التبريد الشمسي بالامتزاز [31].

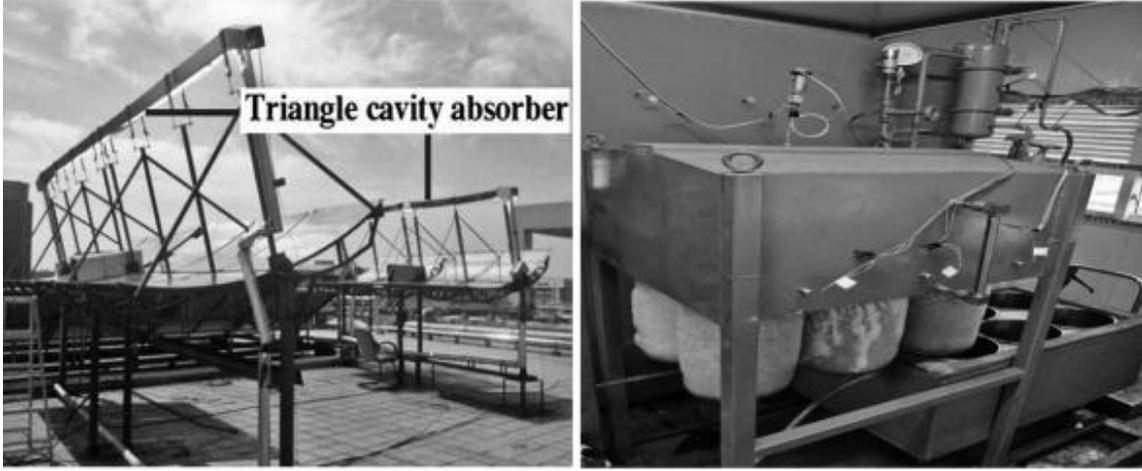
- صنع ميديم وآخرون [57] أول نموذج لآلة شمسية صناعية تبلغ مساحتها 0.8 متر مربع وذلك باستخدام الزوجين (الكربون المنشط/الميثانول)، مما أظهرت النتائج أن نسبة معامل الأداء الحراري (COP_{Th}) يساوي 41% أي ما يعادل 4 كغ من الثلج تحت الظروف الحقيقية المناخية في تونس والمغرب (أغادير)، كما قامت الشركة الفرنسية BLM بتصنيع ثلاث آلات ثلج شمسي خلال الفترة من مايو إلى يوليو عام 1990م، فأظهرت النتائج أن COP تم الحصول عليه ما بين 0.08 و 0.12 من كتلة الجليد المنتجة ب 5.2 كغ كل يوم [58].

- قام كل من ازكيوو وآخرون [59] بتصنيع آلة التبريد الشمسي بالامتزاز بمساحة تقدر 1.2 متر مربع مصنوعة من ستة أنابيب من الفولاذ المقاوم للصدأ وذلك باستعمال (الكربون المنشط والميثانول)، مما أظهرت النتائج أن درجة الحرارة في الغرفة الباردة ما بين 1 و 8.5 درجة مئوية.



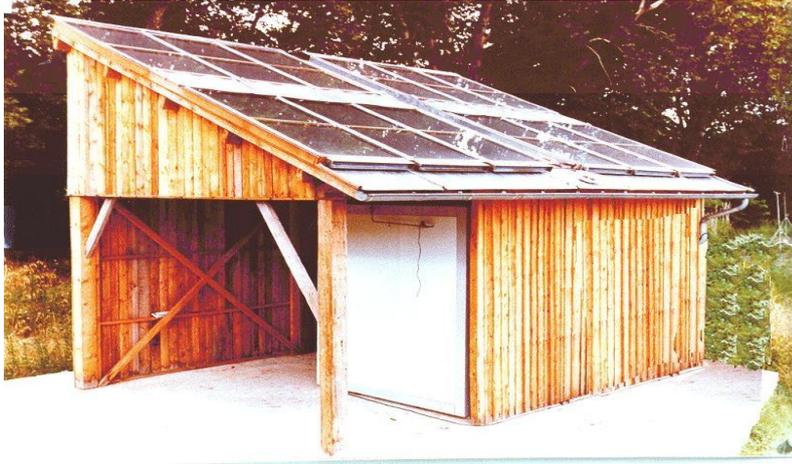
الشكل (III-2): صورة لثلاجة شمسية بالامتزاز [59].

- كما قام كل من لي و وونغ [60] باختبار آلة صنع الثلج بالطاقة الشمسية المستقلة بدون صمامات وبدون خزان ميثانول مع ظروف مناخية حقيقية، وكانت كتلة الجليد المنتجة تتراوح من 6 إلى 7 كغ بينما كان الأداء الحراري في حدود 0.12 إلى 0.13.
- قام فادار وآخرون [61] بدراسة محاكاة لنظام الامتزاز الذي يغذى بواسطة اللاقط الشمسي من النوع الأسطوانى المكافئ، حيث استخدم الزوجين (الكربون المنشط/ الأمونيا) كمبرد، وأظهرت النتائج أن الأداء الحراري الأمثل (COP) يقدر بـ 0.18.
- قام سي لي وآخرون [62] بدراسة تجريبية لنظام الامتزاز فاستخدم الكربون المنشط والأمونيا لتشغيل هذا النظام بواسطة مجمع شمسي أسطوانى مكافئ والموضح في الشكل (III-3)، مما أظهرت النتائج التجريبية أن معامل الأداء يكون في حدود 0.08 أي يعمل على إنتاج 50 كغ من الجليد يوميا.



الشكل (III-3): صورة لنظام امتزاز بواسطة لاقط شمسي أسطوانى مكافئ [62].

- قدم مونييه وآخرون [63] دراسة تجريبية لإنشاء مبرد شمسي بحجم 150 لتر باستخدام الزوجين (زيوليت والماء) واعتبره هو الأنسب لحصول على درجات حرارة أكبر من أو تساوي 0 درجة مئوية، فأخذ 23 كغ من كمية زيوليت تحت سطح الالتقاط يساوي 0.8 متر مربع، وأظهرت النتائج أن الأداء الحراري يقدر بـ 0.1 أي ما يعادل 7.5 كغ من كمية الجليد المنتجة في المبخر.
- درس جريني وآخرون [64] في نهاية الثمانينات، مستودع تبريد تبلغ مساحته 12 متر مكعب مزود بـ 24 لاقط مسطح بمساحة 20 متر مربع كما هو موضح في الشكل (III-4) وذلك باستعمال زوجين العمل (زيوليت/ الماء)، وأظهرت النتائج أن الأداء الحراري (COP) دائما ما يكون قريب من 0.1 أي ما يعادل 7 كجم لكل متر مربع من اللاقط في إنتاج كمية من الثلج في المبخر.



الشكل (III-4): صورة لمستودع التبريد الشمسي بالامتزاز [64].

- أنتج فاتح وآخرون [65] في الجزائر آلة شمسية للتبريد بالامتزاز بواسطة لاقط مسطح تعمل بـ (هلام السيليكا / الماء) والموضحة في الشكل (III-5)، فأظهرت النتائج التجريبية أن درجة الحرارة القصوى المتولدة تتراوح من (95-117) درجة مئوية بينما متوسط درجة حرارة المحيطة تقدر بـ 33°C وكانت درجة التكثيف في حدود $(45-53)^{\circ}\text{C}$ بينما درجة الحرارة المنخفضة للمبخر تقدر بـ 5°C إضافة إلى هذا كان معامل أداء الامتزاز الشمسي يتراوح ما بين 0.083 إلى 0.09.



الشكل (III-5): صورة لآلة الامتزاز بالطاقة الشمسية [65].

III-2-2- بعض الأعمال المنجزة في نظام التبريد بالامتصاص:

من بين الأعمال التي حققها العلماء في آلة التبريد بالامتصاص هي كما يلي:

- قام لي وسماثي [66] بدراسة أداء نظام تكييف الهواء بالامتصاص الذي يعمل بالطاقة الشمسية بواسطة لاقط مسطح بمساحة تقدر 38 مترا مربعا وذلك لتشغيل مبرد امتصاص يعمل بالزوجين ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$) بسعة تبريد تقدر 4.7 كيلو واط، وأظهرت النتائج أن معامل الأداء الحراري (COP) يكون في حدود 0.07.

- قام مظلومي وآخرون [67] بدراسة محاكاة مبرد امتصاص أحادي التأثير بواسطة لاقط أسطواناني لمنزل نموذجي، حيث أظهرت النتائج أن معامل الأداء للنظام (COP) يكون في حدود 0.6-0.8. كما تم إجراء دراسة تجريبية وتحليلية على مبرد امتصاص أحادي التأثير باستخدام المركبين (H₂O/LiBr) والذي يعمل بواسطة لاقط أنبوب مفرغ بالطاقة الشمسية وكانت قدرة التبريد لمبرد الامتصاص تقدر بـ 6 كيلو واط، وأظهرت النتائج أن مبرد الامتصاص المدروس يمكنه توفير 65% من إجمالي حمل التبريد للمبنى بمتوسط حرارة تقدر بـ 0.61.

- قدم مارك وآخرون [68] دراسة النمذجة الديناميكية لمبرد الامتصاص أحادي التأثير ومن أجل تشغيله بواسطة مجمعات الطاقة الشمسية استخدم الزوجين (H₂O/LiBr)، مما أعطت نتائج النموذج لمدة يومين أن معامل الأداء الحراري (COP) يقدر بـ 0.617 و 0.560، بينما أظهرت النتائج التجريبية لنفس اليومين معامل الأداء يتراوح ما بين 0.581 و 0.524 على التوالي وبلغ متوسط الخطأ بنسبة 6.35%.

- قدم ازكواردو وآخرون [69] بصناعة آلة صغيرة تم تسويقها من قبل شركة اسبانية (Rotarica 045v) وذلك باستخدام المركبين (H₂O/LiBr) من أجل تبريد منزل في مدريد، فأظهرت النتائج أن أداء الآلة يقدر بـ 0.62 أي ما يقابل كمية المنتجة للتبريد 4.5 كيلو واط.



الشكل (III-6): صورة من غرفة نظام التبريد الشمسي بالامتصاص [69].

- قام كل من روسيك وبطلس [70] في حرم جامعة ألميريا (إسبانيا) بتحليل نظام امتصاص أحادي المرحلة الذي يعمل بالطاقة الشمسية باستطاعة تقدر 70 كيلو واط وذلك باستعمال مجمع الألواح المسطحة بمساحة تبلغ حوالي 160 متراً مربعاً، حيث تم إمالة هذه المجمعات بزاوية 30 درجة إلى الخط الأفقي وكان نطاق درجة حرارة مدخل المولد في حدود 70-95 درجة مئوية بينما كانت درجة حرارة

مدخل ماء التبريد تتراوح ما بين 24 إلى 31 درجة مئوية. وفي عام 2006 تم اختبار هذا النظام ووجدوا أن متوسط قيمة (COP) وقدرة التبريد تقدر بـ 0.6 و 40 كيلو وات على الترتيب.

- في ألمانيا سنة 2005، قدم ريختر وسفاريك [71] محطتين صغيرتين لتبريد الماء تعملان بزوج الامتصاص (الأمونيا والماء)، مما أنتجت أحد هذه الأنظمة تكييف الهواء تبريدا بقدرة 15 كيلو وات عند 3 درجة مئوية ومدفوعا بمياه ساخنة 95 درجة مئوية، بينما أنتج الآخر 20 كيلو وات عند 6- درجة مئوية ومسحوبا أيضا بالماء الساخن عند 100 درجة مئوية، وفي كلتا الحالتين أظهرت النتائج أن معامل الأداء الحراري (COP) يقدر بـ 0.54.

❖ الجدول التالي (III-1) يميز بين اللاقط المسطح (الغير مركز) والمجمع الأسطواني (المركز)

ومدى فعاليتهم في نظامي الامتزاز والامتصاص:

الجدول (III-1): مقارنة بين الأعمال المنجزة باللاقط المسطحة والمركزة.

الامتصاص		الامتزاز		نوع اللاقط
المجمع الأسطواني (المركز)	المجمع المسطح (غير مركز)	المجمع الأسطواني (المركز)	المجمع المسطح (غير مركز)	
(H ₂ O/LiBr)	(H ₂ O/LiBr)	(الكربون المنشط/الأمونيا)	(الكربون المنشط/الأمونيا)	زوج العمل
0.8-0.6	0.07	0.18-0.08	0.071	الأداء الحراري (COP _{Th})

III-3- التحسينات في آليتي التبريد:

III-3-1- نظام التبريد بالامتزاز:

أ- تحسين الممتزات:

إن انتقال الحرارة في مادة الممتزات (adsorbant) يعد جد ضعيف، ويرجع ذلك بسبب الموصلية الحرارية التي تقترب من المواد العازلة. وبالتالي من أجل التحسين نقل الحرارة في نظام الامتزاز نستخدم طريقة التوصيل الحراري وذلك بإضافة مواد موصلية حرارية جيدة إلى الممتزات وعلى سبيل المثال: إضافة مادة الكلوريد الكالسيوم التي تكون الموصلية الحرارية ما بين 0.1 إلى 0.2 (W/m.°C)، وتزداد عشر مرات بعد فترة معينة، وكذلك مسحوق الكربون المنشط الذي يعمل على تحسين الموصلية بنسبة 25-31% [31].

كما يوضح الجدول أدناه (III-2) نتائج دراسة مقارنة بين جهازي تبريد بالامتزاز حيث تستخدم الآلة الأولى مادة ممتزة غير منظمة (غير مترابطة) أي على شكل حبيبات والثانية تعمل بنفس كتلة المادة الممتزة ولكن مدمجة.

الجدول (III-2): مقارنة بين آلة الممتزات الغير المترابطة وآلة الممتزات المدمجة [72].

إعداد أو ضبط النقل	ممتزات غير منظمة	ممتزات مدمجة (متحدة)
التوصيلية k_{AC} (W/m.K)	0.1	5
الحمل h_{pm-AC} (W/m ² .K)	25	1500
نفاذية (m ²)	10 ⁻⁹	10 ⁻¹³
زمن الدورة (s)	3600	120

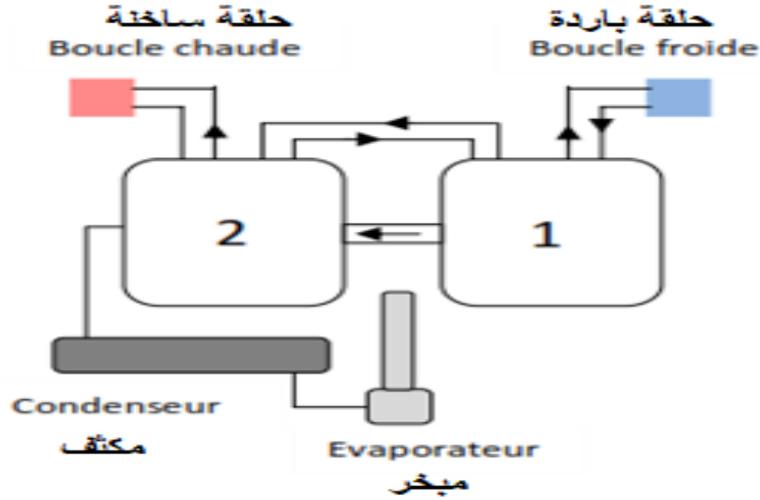
ب- تحسين سطح التبادل:

يمكن تحسين سطح التبادل بين الجدار المعدني للماز والمادة الممتزة وذلك باستخدام زعانف داخلية، التي تلعب دور الجسور الحرارية بين جدار التسخين والوسط التفاعلي، وتم اعتماد هذه الطريقة في جميع الممتزات المصممة حتى الآن، لكونها تعمل على تقليل درجة الحرارة في طبقة الممتزات والفرق بين درجة حرارة الجدار الخارجي المسخن والممتز ومثال على هذا: أجرى المرس وآخرون دراسة عديدة على جهاز الامتزاز باستعمال الزعانف فوجدوا أنها تؤثر بشكل كبير على معامل أداء (COP)، مما أدى إلى تحسين في آلة الامتزاز [31].

ج- استخدام دورة مثالية:

من المعلوم أن نظام الامتزاز يتكون من واحد أو (أكثر) من الممتزات التي تحتوي على مبادل حراري متصل بالتناوب بمكثف ومبخر كما هو موضح في الشكل (III-7)، حيث كل واحد منها يكون مقترن بحلقة حرارية ساخنة أو باردة لحدوث عملية انتقال الحرارة من السوائل.

وبهدف التحسين في نظام الامتزاز الذي يعمل على إنتاج برودة منقطة أي كمية معتبرة من الجليد وبكفاءة قليلة أدى إلى استخدام اثنين من الممتزات من أجل إنتاج مستمر وزيادة في معامل أداء الآلة (COP)، فاعتمدت على طريقة أو حيلة استرجاع جزء من الحرارة في نهاية التسخين الممتز (2) لنقلها إلى جهاز الممتز البارد (1)، إضافة إلى هذا قد يتم تسخين جهاز الامتزاز مسبقا بهدف التقليل في كمية الحرارة (Q) الناتجة عن مصدر الحراري الساخن ووفقا لهذا يحدث زيادة في كفاءة الدورة (COP) [73].

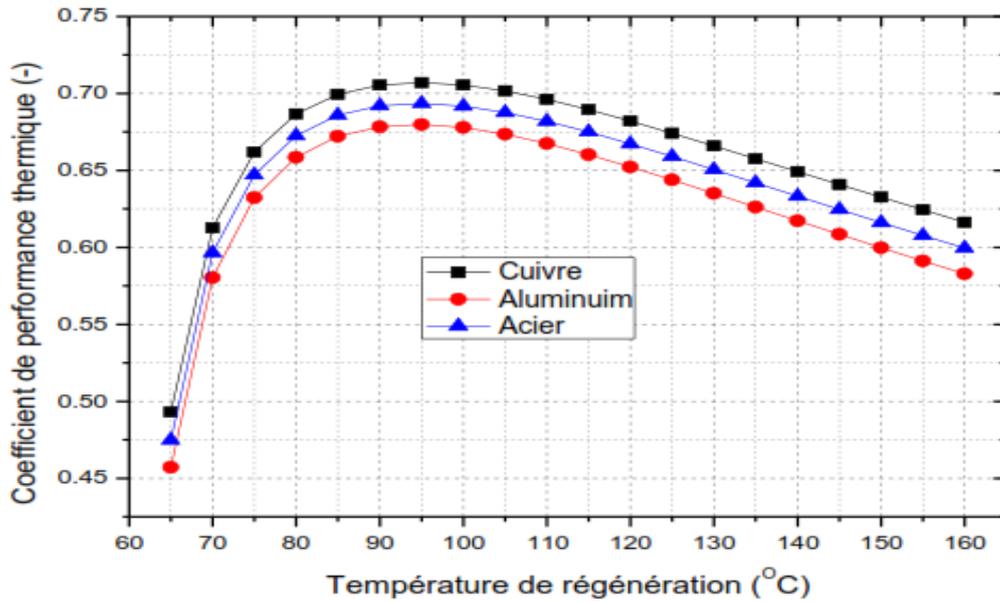


الشكل (III-7): يوضح دورة مثالية لآلة التبريد بالامتزاز [74].

د- تحسين الآلة باستخدام قطع النحاس:

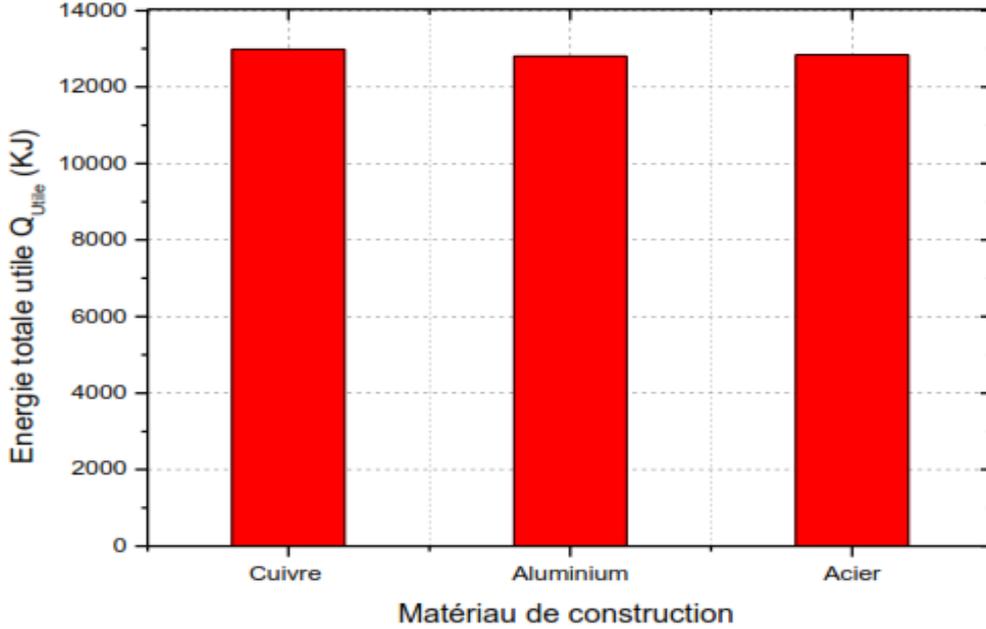
يهدف التحسين الأداء الحراري (COP_{Th}) في نظام الامتزاز أدى إلى العديد من العلماء والباحثين في تجاربهم إلى استعمال رواسب من كتلة النحاس بتركيز أو نسبة 20 % كمضافات معدنية على الأزواج العمل المستخدمة حيث عند إضافة نسبة 20 % من برادة نحاسية معدنية للكربون المنشط يؤدي إلى انخفاض في درجة حرارة المبخّر إلى -10 درجة مئوية مما يعني إنتاج كمية معتبرة من الجليد وهذا بفضل تحسين (COP_{Th}) [31].

كما قارنوا أيضا قطع النحاس بمواد معدنية أخرى (كالألمنيوم والصلب) بسبب تكاليفه ووفرته ووزنه، وهي موضحة من خلال المنحنى أدناه [75]:



الشكل (III-8): تأثير المواد المعدنية الممتزة على COP_{Th} [75].

حيث أظهرت تأثير هذه المواد المنشأة لأنابيب الامتزاز على COP_{Th} وذلك من خلال الشكلين الموضحين (III-8)، (III-9) فوجدوا أن النحاس يمكن أن يحقق أداءً عاليًا نسبيًا مقارنة بـ مواد الأخرى، نظرًا لأن منطقتنا يعتمد على درجات حرارة معينة أو ساعات حرارية، وقد انتهى بهم الأمر بإيجاد فارق بسيط بين أدائهم. أما بالنسبة لعرض نتائج المحاكاة والتي أجراها العالمان (Ogueke) و (Anyanwu) في دراسته، أظهرت التوافق المواد المعدنية عند مقارنته للنحاس والألمنيوم لتحسين أداء الجهاز [76].



الشكل (III-9): تأثير المواد المعدنية الممتازة على Q_{Utile} [76].

III-3-2- نظام التبريد بالامتصاص:

من أجل تحسين عمل آلة التبريد بالامتصاص يتم استخدام الطرق التالية:

أ- استخدام مبادل المحلول الغني بالمحلول الضعيف:

تهدف عملية استخدام مبادل المحلول الغني بالمحلول الضعيف من أجل تحسين في دورة التبريد بالامتصاص حيث يعمل المحلول الفقير التركيز بتسخين المولد بنسبة معتبرة بينما المحلول الغني يقوم بتبريد نسبي للماص، وهذا عن طريق تبريد المحلولين عبر مبادل حراري معاكس، أي يتم تبريد للمحلول الضعيف وتسخين المحلول الغني وبالتالي ينتج عن هذه العملية تحسين في كفاءة الدورة بشكل كبير [77].

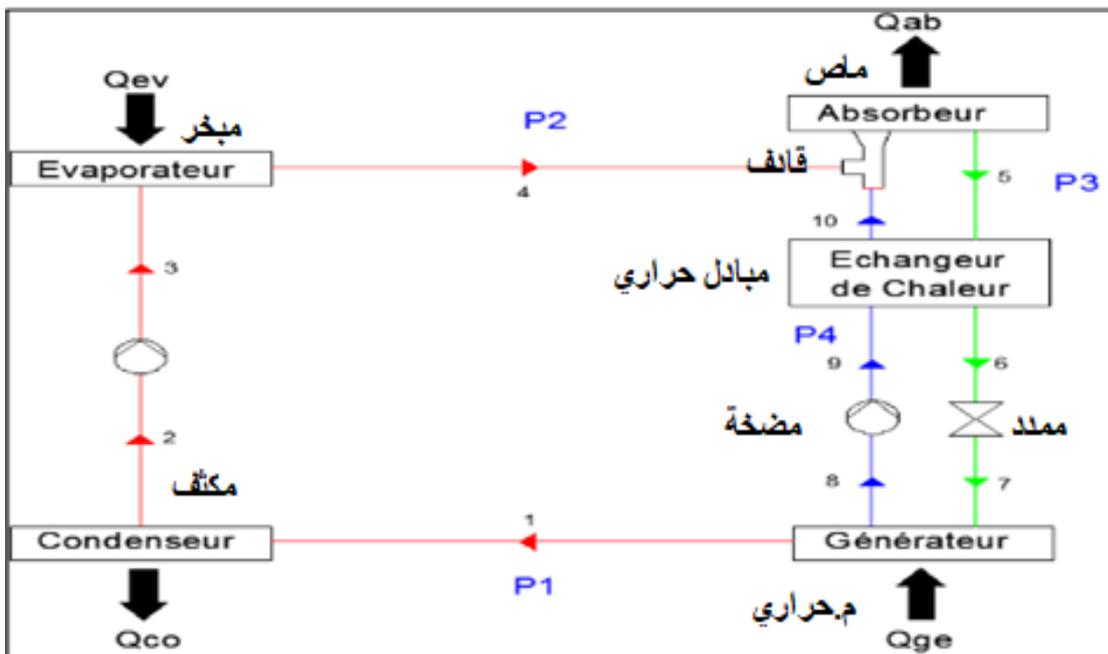
ب- استخدام دورات تسلسلية (أنظمة متعددة التأثيرات):

من خلال الفصل السابق تعرفنا على دورة امتصاصية أحادية التأثير التي تعتبر من أبسط التقنيات التبريد المستخدمة في الطاقة الشمسية إلا أن يكمن عيبها في توفير كفاءة ضئيلة للنظام، ولهذا تم تحسين في

هذه الدورة باستخدام دورات تسلسلية أو أنظمة متعددة المراحل كالدورة المزدوجة والثلاثية (والتي تمت دراستهم أيضا بشكل مفصل من قبل) وذلك بهدف العمل على زيادة معامل أداء الامتصاص أو زيادة نطاق استخدامها أي كلما كانت عدد دورات النظام أكثر أدى إلى تطوير وتحسين دارة الامتصاص بشكل جيد وفعال [78].

ج- استخدام دورة المحولات الحرارية لامتصاص الطرد (استخدام قاذف EAHT):

يمكن تحسين آلة الامتصاص أحادية التأثير من دون اللجوء إلى استخدام دورات تسلسلية وذلك بإضافة قاذف الذي يتم تحويله إلى محول حرارة لامتصاص الطرد (EAHT) كما هو مبين في الشكل (III-10):



الشكل (III-10): مخطط دورة محول حراري لامتصاص-الطرد [79].

أي بشكل عام يتم تحديد ضغط جهاز الامتصاص بواسطة درجة حرارة المبخر، نظرا لأن قطرات ضغط الامتصاص تكاد تهمل وبالتالي فإن ضغط جهاز الامتصاص يعتبر مساويا لضغط المبخر.

كما يعكس مبدأ تشغيل دورة الامتصاص-الطرد بمساواة الضغط بين الممتص والمبخر وينتج عنه ما يلي:

- عند فصل ضغط المبخر والممتص يجعل من الممكن حدوث زيادة في ضغط الممتص وبالتالي الحصول على درجة حرارة قصوى أكثر من الطلب نتيجة لذلك يمكن الحصول على حرارة مفيدة في درجات حرارة أعلى من دورات الامتصاص دون الطرد.

- قدرة القاذفات على رفع ضغط السائل دون استهلاك الطاقة الميكانيكية بشكل مباشر، لذا فإن إضافة قاذف إلى دورة امتصاص أحادية التأثير يؤدي إلى كفاءة أكثر من إدخال ضاغط لزيادة الضغط في النظام. كما يستقبل القاذف في دورة (EAHT) المحلول الغني عن طريق الامتصاص كسائل أولي والسائل المبرد النقي كسائل ثانوي كما هو موضح في الشكل السابق.

- في دورة (الامتصاص - الطرد) يحدث الامتصاص جزئياً في القاذف وبالتالي يقلل من حجم عملية وحدة الممتص، بينما في الحالة التي يكون فيها امتصاص كلياً يمكن استبدال الماص بمبادل حراري من أجل استعادة حرارة مزيج ثنائي الطور الذي يغادر القاذف.

وعلى سبيل المثال: قامت سوزان وآخرون [80]، [81]، [82] بتطوير نماذج رياضية لمحول حرارة امتصاص - الطرد تعمل بخليط $(\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O})$ ، وفي نفس ظروف التشغيل تم تحسين معامل أداء (COP) وكفاءة الطاقة (ECOP) بنسبة 14% و 30% على الترتيب.

د - استخدام زوج العمل أو المحلول المناسب:

منذ تاريخ نظام التبريد بالامتصاص تم اختبار العديد من المحاليل من قبل دراسة أجرتها مريريس (Mareriss)، فأظهرت أن هناك 40 مركب و 200 مادة ماصة متاحة للتبريد، ومع ذلك كانت السوائل الأكثر استخداماً هي $(\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr})$ و $(\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O})$ ويرجع هذا إلى تقديمهم أفضل نتائج وعروض في تحسين عمل الدارة بسبب احتوائهم على حرارة كامنة مرتفعة مقارنة بالأزواج الأخرى [78].

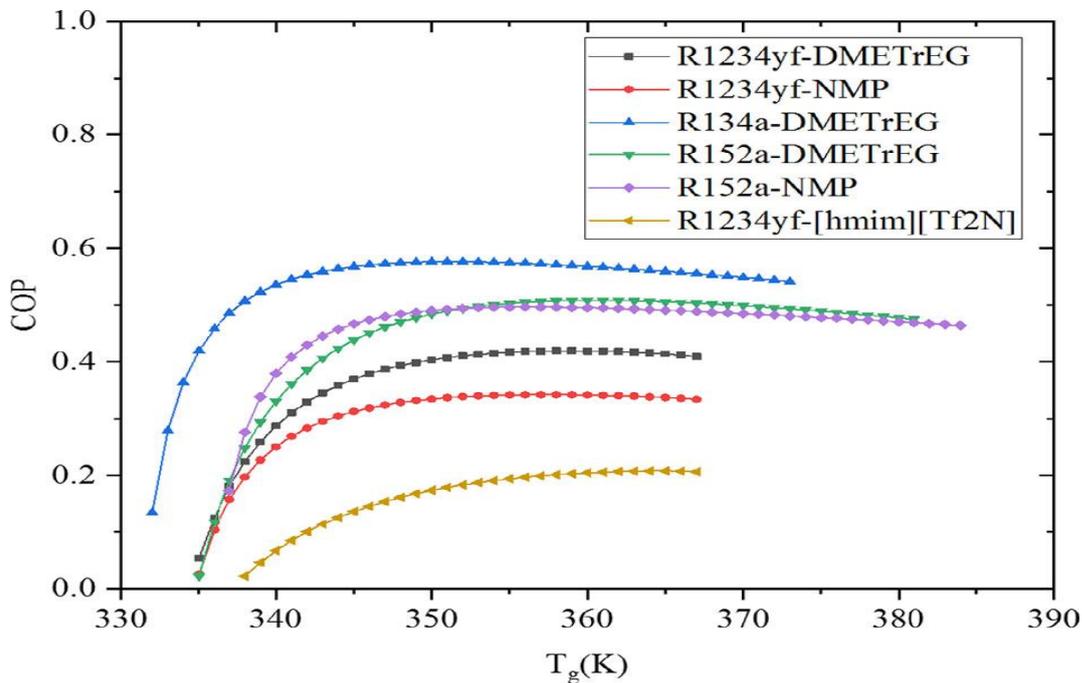
بالرغم من أن أكثر المحاليل المستعملة في نظام التبريد بالامتصاص هي $(\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr})$ و $(\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O})$ إلا أن لها عيوب ونقائص في الدارة كحدوث بلورة وإحراق ضرر بالبيئة (تسمم - اختناق)، مما أدى إلى ابتكار مركبات عضوية تعمل على تحسين أداء النظام الامتصاص مثل استخدام رباعي فلورو بروبيلين (R1234yf) كمبرد وثلاثي إيثيلين جلايكول ثنائي ميثيل الأثير (DME TrEG).

وفي السنوات الأخيرة تمت دراسة العديد من الأزواج السوائل العاملة الجديدة والتي تحتوي على الهيدرو فلورو كربون (HFC) والهيدرو فلورو ليفينات (HFO) وتم اعتبار المذيبات العضوية والسوائل الأيونية هي المواد الماصة لهذه المبردات.

حيث تعمل السوائل الأيونية (ILs) أنها تحل بشكل تدريجي محل المواد الماصة التقليدية في المبردات التي تعمل بالحرارة والمضخات الحرارية وذلك راجع لارتفاع درجة غليانها واستقرارها وتقاربها مع المبردات، وبناءً على هذا تم إجراء كل من باي وآخرون بدراسة محاكاة لاختبار دورة تبريدية تعمل

بالمركب R1234ze(E) وأظهرت النتائج أن (COP) في تبريد طرد وصل إلى 0.38. إضافة إلى ذلك تم فحص أربعة مخاليط جديدة من نوع (R1234ze(E)/IL) في دورة الامتصاص ووجدوا أن الحد الأقصى ل (COP) كان 0.431 عند درجة حرارة توليد تفوق 50°C ، أي بشكل عام أن المركبات الجديدة تعمل على تحسين نظام الدورة [83].

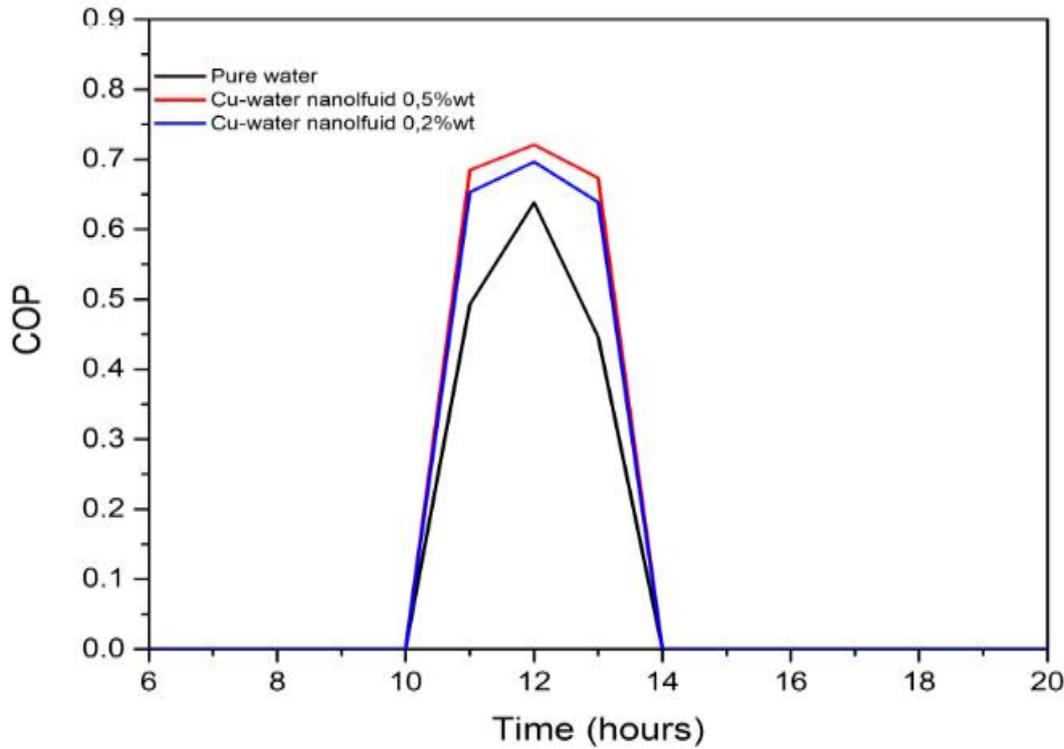
كما يمثل المنحنى أدناه بعض المركبات العضوية أو أزواج العمل الجديدة التي تم استخدامها من أجل تحسن معامل أداء الآلة (COP_{Th}).



الشكل (III-11): منحنى استخدام بعض مركبات العضوية [83].

هـ - استخدام الموائع النانوية:

يتم تحضير الموائع النانوية من خلال تشتيت الجسيمات النانوية المعدنية أو غير معدنية في المائع القاعدي [84]. الفكرة الرئيسية لاستخدام هي الزيادة في معامل التوصيل لأن الجسيمات المستخدمة لديها ناقلية أكثر من ناقلية السوائل القاعدية (ماء أو زيت) [85]. ومن خلال المنحنى التالي الذي يمثل نتائج المحاكاة لتغيرات معامل الأداء لآلة تبريد بالامتصاص بدلالة تركيز المادة النانوية والتي هي النحاس في الماء، نلاحظ أن الزيادة في تركيز النحاس يزيد معامل الأداء [86].



الشكل (III-12): منحنى تغيرات (COP) لآلة تبريد بالامتصاص بدلالة تركيز المادة النانوية [86].

ي- استخدام مواد تغير الطور:

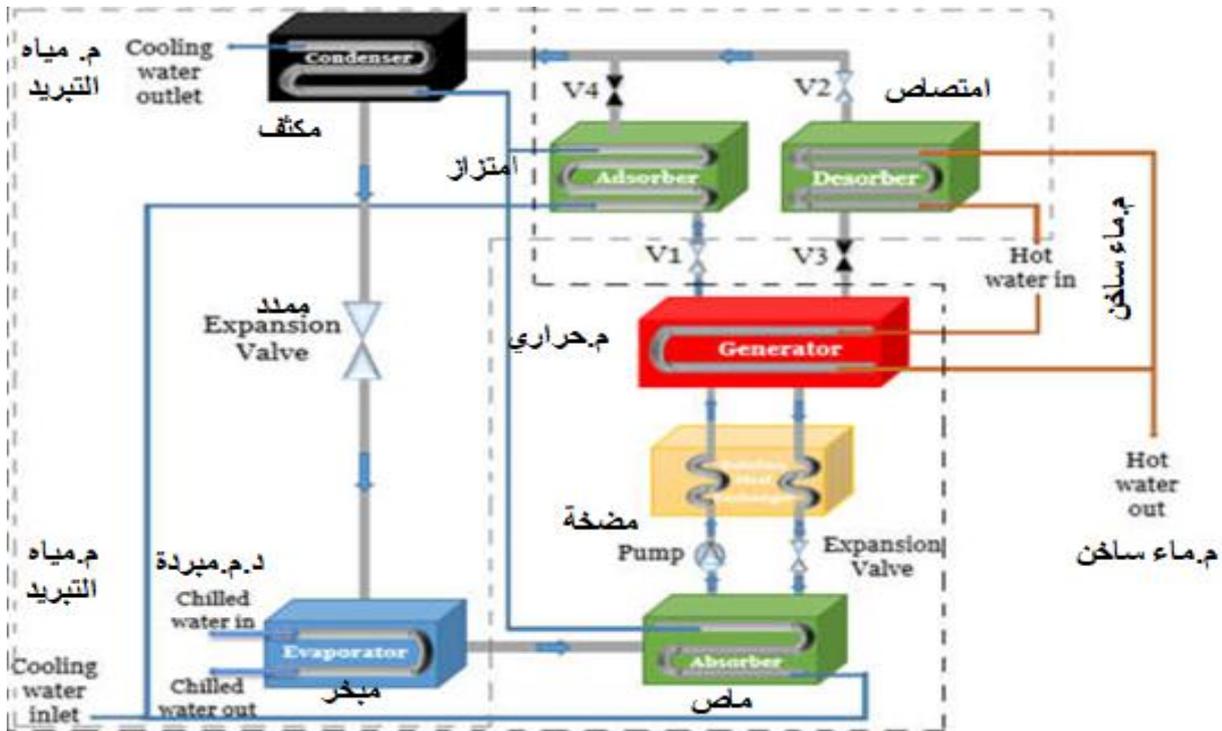
يمكن تحسين إمكانيات عمل آلات التبريد من خلال أنظمة تخزين الطاقة الحرارية الكامنة مثل استخدام مواد متغيرة الطور (PCMs) التي تعمل على تخزين الحرارة الزائدة في الخزان أثناء النهار وإمداد الماء الموجود في الخزان بهذه الحرارة أثناء الليل، أي هي عبارة عن مواد تعمل بواسطة روابط كيميائية وذلك بهدف تخزين الحرارة الكامنة عن طريق نقل الطاقة الحرارية من الطور الصلب إلى السائل أو العكس [87]. ولقد تم إثبات أن مواد التخزين الطاقة المتغيرة (PCM) بأنها تملك إمكانيات كبيرة في تطبيقات الطاقة الشمسية على عكس مواد التخزين الحساسة (الماء- الصخور)، حيث يخزن (PCM) قدراً أكبر من الحرارة، كما له ميزة أخرى باستعادة الحرارة المخزنة بشكل متساوي، إضافة إلى هذا أنه له قدرة على إرجاعها في الليل أثناء غياب الشمس. يوضح الجدول أدناه (III-3) بعض مواد متغيرة الطور (PCM) ودرجات حرارة الانصهار لكل مادة:

الجدول (III-3): يوضح بعض مواد (PCM) ودرجة حرارة انصهارها [87].

مادة التخزين	نقطة الانصهار (°C)	حرارة الانصهار (kJ/kg)
Naphtalène	80	147.7
RT 90	90	197
Alpha naphtol	96	163
Methyl fumarate	102	242

III-3-3- الدمج بين آلة الامتصاص و الامتزاز:

بهدف التشغيل الفعال والمستمر لآلة التبريد وإنتاج أكبر كمية للجليد والتبريد اقترح فريق بحث أسترالي الدمج بين آلة الامتصاص و الامتزاز، الشكل (III-13) يبين مكونات النظام. حيث أن جهاز الامتزاز في نظام الامتزاز يأخذ مكان المكثف في آلة الامتصاص التقليدية وكذلك المولد في نظام الامتصاص يأخذ مكان المكثف في آلة الامتزاز التقليدية. وقد كانت نتائج المحاكاة مشجعة حيث أن الحد الأقصى لـ (COP) كان 0.37 عند درجة حرارة توليد في حدود 60°C. ومن خلال الدراسة الاقتصادية تبين أن مدة استرجاع تكلفة هذا النظام تقدر بعشرة سنوات عند استعمال مساحة تقدر ب 34m² من اللواظ الشمسية المسطحة [88].



الشكل (III-13): مخطط توضيحي لنظام تبريد بالامتصاص و الامتزاز [88].

III-4- خاتمة:

من خلال الدراسة توصلنا إلى أن التحسينات في أنظمة التبريد الشمسي بالامتزاز والامتصاص لها دور فعال، لكونها تحسن في تسريع عمل أداء الآلة وإنتاج أكبر كمية من الجليد وتبريد الهواء إضافة إلى الحصول على كفاءة ملائمة للنظام. وبالتالي إن العمل على التطوير والتحسين في الأنظمة يبنى على تقليل في التكلفة الابتدائية مع الزيادة في معامل الأداء.

خاتمة عامة

خاتمة عامة:

بعد مرور حقبة من السنين الذي استخدم فيها الإنسان مصادر الطاقة المتاحة على وجه الأرض والتي تعد أكثر استخداما من بينها الطاقات الأحفورية (كالنفط، الغاز الطبيعي والفحم). وبالرغم من هذا إلا أن لها سلبيات تضر بالبيئة وكل الكائنات الحية، مما أدى بالإنسان جاهدا لإيجاد والحصول على طاقات بمواصفات الطاقة الأحفورية ولكن تكون غير مضره وغير قابلة للنفاد. فلجأ إلى الطاقة التي وهبها إلينا الله عز وجل بدون مقابل لكونها طاقة نظيفة ودائمة وتستعمل في العديد من المجالات المهمة والتي تعرف بالطاقة الشمسية.

نظرا إلى الاستهلاك الكبير للطاقة الكهربائية التي تستغل في مجال التبريد حاول العلماء والباحثين التقليل من ذلك الاستهلاك، فاستغلوا التبريد عن طريق الشمس. وبناء على ما قد سبق قمنا بدراسة حول آليتي التبريد الشمسي بالامتزاز والامتصاص (adsorption، absorption) في بحثنا هذا. حيث تعتبر اللواقط الشمسية القلب النابض في هذه الأنظمة، إضافة إلى هذا تعد أزواج العمل في النظامين أيضا لها دور كبير في العملية وكذلك الأجزاء الأخرى المكونة لآلة التبريد. وقد تمحورت الدراسة في هذا الموضوع حول مبدأ عمل آلة التبريد والتحسينات التي أجريت عليها للزيادة من كفاءتها.

بالإضافة إلى ذلك وبناء على هذه الدراسة التحليلية تم التوصل إلى تقديم التوصيات التالية:

- 1- الدمج بين تقنية النانو والمواد المتغيرة الطور في الخزان للزيادة في مدة التشغيل بعد غروب الشمس.
- 2- من الضروري جمع أفكار العلماء وتجسيدها في أنظمة جديدة لزيادة الكفاءة آلة التبريد.
- 3- إمكانية إضافة نظام حراري يعمل بالغاز الطبيعي لتعويض النظام الشمسي في حالة غياب الإشعاع الشمسي.

المصادر والمراجع

قائمة المراجع

- المراجع باللغة العربية والأجنبية:

- [1] - www.worldwatch.org, (May 2016).
- [2]- محمد رأفت إسماعيل رمضان علي جمعات الشكيل، " الطاقات المتجددة " ط1، بيروت، كلية العلوم، دار الشروق، 1986، ص31.
- [3]- STEPHAN. K, KRAUSS.R, Regulated CFCs and their alternatives, In- Meunier F, editor. Proceedings-Solid Refrigeration Symposium. Ministe're de la Recherche et de L'Esace, Paris, (1992), 32-43.
- [4]- PRIDASAWAS, W. " Solar-Driven Refrigeration Systems with Focus on the Ejector Cycle ", Doctoral Thesis, Royal Institute of Technology, KTH, Denmark, 2006.
- [5]- LI. M, SUN, C.J., WANG, R.Z., CAI, W.D. " Development of no valve solar ice maker ", Thermal Engineering 24, China, 2004, 865-872.
- [6]- رامي جورج، " الطاقات المتجددة ومحطاتها "، 2017.
- [7]- Missoum Mohammed, " Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie", mémoire de Magistère en énergie renouvelables, Université de Chlef, 2011 .
- [8]- سوداني محمد البار، " تحقيق عملي لمركز شمسي أسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي " مذكرة لنيل درجة الدكتوراه في العلوم، جامعة قاصدي مرياح ورقلة، 2018.
- [9]- سعود يوسف عياش، " تكنولوجيا الطاقة البديلة "، المجلس الوطني للثقافة والعلوم، الكويت 1990.
- [10]- محمد مصطفى محمد الخياط، " الطاقة مصادرها- أنواعها- استخداماتها "، وزارة الكهرباء والطاقة، القاهرة- مصر، بريد الالكتروني: (ت 0020128090810)، 2006.
- [11]- الشريف عمر، " استخدامات الطاقات المتجددة ودورها في التنمية المحلية المستدامة- دراسة حالة الطاقة الشمسية في الجزائر- "، أطروحة دكتوراه، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، قسم العلوم الاقتصادية، جامعة الحاج لخضر باتنة، الجزائر، 2007.
- [12]- حمودي علي ناجي، "دراسة وتنفيذ وتحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية"، أطروحة لنيل درجة الماجستير في هندسة القوى الميكانيكية، جامعة تشرين، سوريا، 2009.

[13]- الصاوي حنان، " بوابة أخبار اليوم الإلكترونية "، <https://akhbarelyom.com>news>، أخذت 2018/02/3.

[14]- الشافعي حسان، " بحث عن الطاقة الشمسية 2017 "، قسم الأبحاث العلمية والثقافية، منتديات المصطبة. https://vb.almstba.com/t3524_54.html، أخذت بـ: 2019/01/29.

[15]- وكاع فرمان، " الطاقة الشمسية دعوة لاستغلالها قبل فوات الأوان"، مجلة فيلادلفيا الثقافية، جامعة فيلادلفيا، الأردن.

[16]- بوعشة أسهمان، " جدوى استغلال الطاقة الشمسية كطاقة متجددة وإمكانية استخدامها في التبادلات التجارية الخارجية- دراسة حالة الجزائر- " مذكرة لنيل شهادة الدكتوراه في العلوم التجارية، جامعة محمد خيضر بسكرة، 2019.

[17]- A.Fernandez-Garcia, E.Zarza, L.Valenzuela, M.Pérez, Parabolic-trough solar collectors and their applications, Renewable and Sustainable Energy, Reviews 14 (2010) 1695-1721.

[18]- العاتي مختار، " المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية "، مذكرة لنيل شهادة الماجستير في هندسة الطرائق، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، الجزائر، 2011.

[19]- جباري عبد الجليل، " أهمية تطوير الطاقة الشمسية في تحقيق التنمية المستدامة دراسة حالة- الجزائر ومصر- " ، أطروحة لنيل شهادة دكتوراه علوم في العلوم الاقتصادية، جامعة محمد خيضر بسكرة، 2018.

[20]- Ra Boe, selbst fotografiert DigiCam c2100UZ,2007.

[21]- سعود يوسف عياش، تكنولوجيا الطاقة البديلة، عالم المعرفة، الكويت، 1981.

[22]- الطاقة المتجددة، الوكالة الألمانية للطاقة، الوزارة الاتحادية للاقتصاد والتكنولوجيا، ص14.

[23]- سوداني عبد البار، " الدراسة النظرية للمركز الشمسي الأسطواني المقعر (CCP) "، مذكرة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2009.

[24]- ALIANE Abd-Ennour, Utilisation de l'énergie solaire thermique pour la production du froid, Thèse de doctorat Université Aboubakr Belkaïd , Tlemcen (2019).

[25]- سليمان كعوان، جابة أحمد، " تجربة الجزائر في استغلال الطاقة الشمسية وطاقة الرياح "، (مجلة العلوم الاقتصادية والتسيير والعلوم التجارية، العدد 14، جامعة المسيلة، 2015.

[26]-Mohamed Ridha Yaiche, Abdallâh Bouhanik, "Atlas Solaire Algérien", Centre de Développement des Energies Renouvelables, Algérie, 2002, p16.

[27]- دام، جوزيف (1986)، "العلم والحضارة"، المجلد 4، الفيزياء والتكنولوجيا المادية، الجزء 2، الهندسة الميكانيكية، تاييه- كهوف الكتب، ص 233،151،99.

[28]- مصطفى محمد السيد، " كتاب هندسة تكييف الهواء"، المملكة العربية السعودية مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، 2007.

[29]- رمضان أحمد محمود، " أنظمة التبريد"، منشأة المعارف، الإسكندرية، ص 9-17.

[30]- المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، " أساسيات تقنية التبريد والتكييف- عملي-pdf"، الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج، المملكة العربية السعودية، ص 20-66.

[31]- HADJ AMMAR Mohammed Ali, "Étude et dimensionnement d'un réfrigérateur solaire à adsorption dans la région saharienne d'Algérie", thèse de doctorat En physique Énergétique, université Kasdi Merbah, Ouargla (2020).

[32]- Le Pierres. N, "Procédé solaire de production de froid basse température (-28 °C) par sorption solide – gaz," Thèse de Doctorat énergétique et génie de procédés, Université de Perpignan, pp.1-208, (2005).

[33]- Mohamed H.B. Abdul Jalil, "Simulation of Performance of Air Conditioning System", Faculty of Mechanical Engineering University Malaysia Pahang, 2012.

[34]- Otanicar T, Taylor R.A, Phelan P.E, " Prospects for solar cooling-an economic and environmental assessment ", Solar Energy 86 (2012) 1287-1299.

[35]- Ullah K. R, Saidur R, Ping H. W, Akikur R. K, N. H. Shuvo, A review of solar thermal refrigeration and cooling methods. Renewable and Sustainable Energy Reviews 24 (2013) 499-513.

[36]- Guillaume ANIES, Modélisation, simulation dynamique, validation expérimentale et optimisation énergétique d'une unité de rafraîchissement solaire par absorption, Thèse de doctorat, Ecole Doctorale des Sciences Exactes et leurs Applications, Université de Pau et des Pays de l'Adour (2011).

[37]- أيوب عيسى حسن، معد إسماعيل عثمان، "تصميم ونمذجة دائرة تبريد ادمصاصية عاملة بالطاقة الشمسية"، مجلة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، المجلد (35)، العدد (3)، سوريا، 2013.

[38]- U. Borel, D. Favrat, thermodynamique et énergétique, 1 De l'énergie à l'exergie, Presses Polytechnique et universitaires romandes, 2005.

[39]- L. Wang, R. Wang, R. Oliveira, A review on adsorption working pairs for refrigeration. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 518-34.

[40]- C. Wassila, Étude et analyse d'une machine frigorifique solaire à adsorption, thèse de doctorat, Constantine, 2008.

[41]- R. E. Critoph, Performance limitations of adsorption cycles for solar cooling, Solar energy, 41 (1988) 21-31.

[42]- Hassan H, Mohamad A. A, A review on solar cold production through absorption technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 5331-5348.

[43]- W. Chekirou, "Etude et Analyse d'une machine frigorifique solaire à adsorption", Thèse de doctorat, Université Mentouri, pp 14, (2008).

[44]- D. Zejli, R. Benchrifa, A. Bennouna, O. K.Bouhelal, "Analyse énergétique et entropique de la régénération de chaleur dans d'une machine frigorifique à adsorption", Revue de mécanique appliquée et théorique, Vol. 1, 4, pp 253- 268, (2003).

[45]- A. El Almers, " étude du transfert de chaleur et de masse dans un lit fixe de charbon actif réagissant par adsorption avec l'ammoniac – application à la modélisation d'une machine frigorifique solaire", Thèse de Doctorat, Tetouan, (2002).

[46]- A.ELFADAR, A. MIMET; PE 'REZ-DARCI', M. Modeling and performance study of a continuous adsorption refrigeration system driven by parabolic trough solar collector, Solar Energy 83, Spain, (2009), 850-861 .

[47]- Naef A.A. Qasem, Maged A.I. El-Shaarawi, Thermal analysis and modeling study of an activated carbon solar adsorption icemaker: Dhahran case study Energy Conversion and Management 100 (2015) 310-323.

[48]- Le goff P, Energétique industrielle, Technique et documentation, 1, Paris (1979).

[49]- Kang Y. T, Akisawa A, Kashiwagi T, Experimental correlation of combined heat and mass transfer for NH₃-H₂O falling film absorption, Int. Journal of Refrigeration, 22 (1999) 250-262.

[50]- جابر ديبية، "دراسة تجريبية لآلة تبريد امتصاصية شمسية صغيرة الاستطاعة"، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية المجلد (32)، العدد (5)، 2010.

[51]- علي كرنو وآخرون، "نمذجة وموازنة أداء دارة التبريد الامتصاصية ثنائية المرحلة مع الدارة أحادية المرحلة"، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33)، العدد (7)، 2011.

[52]- كتاب التبريد وتكييف الهواء، "نظم ومعدات التبريد"، قسم الهندسة الميكانيكية، طبعة 1429هـ، تاريخ الإنشاء 26 سبتمبر 2008.

[53]- رنا فرج إحسان، "نمذجة ومحاكاة دارة تبريد امتصاصية ثنائية المرحلة مشغلة بالطاقة الشمسية"، مذكرة لنيل شهادة الماجستير في هندسة القوى الميكانيكية (طاقة شمسية)، جامعة تشرين سوريا، 2012.

[54]- Rasoul Nikbakhti, Xiaolin Wang...ect, Absorption cooling systems- review of various techniques for energy performance enhancement in Australia, Alexandria Engineering Journal 59 (2020) 707-738.

[55]- Sarbu I, Sebarchievici. C, Review of solar refrigeration and cooling systems. Energy Building 67 (2013) 286-97.

[56]- A. Brigitte, M. Nouadje, combinaison du solaire et de modules Peltier pour production de froid au SAHEL, Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l' Environnement, pp 18, (2011).

[57]- Medini N, Marmottant B, Golli ES, Grenier P, Study of a solar icemaker machine. IJ Refrigerate 14 (1991) 363-7.

- [58]- Boubakri A, Arsalane M, Yous B, Ali-Moussa L, Pons M, Experimental study of adsorptive solar-powered icemakers in Agadir (Morocco)-1. Performance in actual site, *Renewable Energy*, 2 (1992) 7-13.
- [59]- Anyanwu E. E. and Ezekwe C.I., Design, construction and test run of a solid adsorption solar refrigerator using activated carbon/methanol, as adsorbent - adsorbate pair, *ECM 44* (2003) 2879-2892.
- [60]- Li M, Wang R. Z, Heat and mass transfer in a flat plate solar solid adsorption refrigeration ice maker. *Renewable Energy* 28 (2003) 613-622.
- [61]- El Fadar A, Mimet A, Pérez-Garcia M, Modeling and performance study of a continuous adsorption refrigeration system driven by parabolic trough solar collector. *Solar Energy* 83 (2009) 850-61.
- [62]- Li C, Wang R. Z, Wang L.W, Li T.X, Chen Y, Experimental study on an adsorption icemaker driven by parabolic trough solar collector, *Renewable Energy* 57 (2013) 223-233.
- [63]- E. Dahomé, F. Meunier, Reversible and irreversible cycles of a chemical heat pump; application to the zeolite 13X/water system, *Rev. Gén. Therm.* 246 (1982) 483-500.
- [64]- Grenier Ph, Guilleminot J. J, Meunier F, Pons M, Solar powered solid adsorption cold store. *Journal of Solar Energy Engineering*, 110 (1988) 192-197.
- [65]- Bouzeffour F, Khelidj B, Tahar abbes M. Experimental investigation of a solar adsorption refrigeration system working with silicagel/water pair: A case study for Bou-Ismaïl solar data. *Solar Energy* 131 (2016) 165-175.
- [66]- Z. F. Li, K. Sumathy, Experimental studies on a solar-powered air conditioning system with partitioned hot water storage tank, *Solar Energy* 71 (5) (2001) 285–297.
- [67]- M. Mazloumi, M. Naghashzadegan, K. J. E. C. Javaherdeh, Simulation of solar lithium bromide - water absorption cooling system with parabolic trough collector, *Energy Conversion and Management* 49 (10) (2008) 2820–2832.

- [68]- O. Marc, F. Sinama, J. P. Praene, F. Lucas, J. Castaing-Lasvignottes, Dynamic modeling and experimental validation elements of a 30 kW LiBr/H₂O single-effect absorption chiller for solar application, *Applied Thermal Engineering* 90 (2015) 980–993.
- [69]- M. Izquierdo, R. Lizarte, J.D. Marcos, G. Gutierrez, Air conditioning using an air-cooled single effect lithium bromide absorption chiller: Results of a trial conducted in Madrid in August 2005, *Applied Thermal Engineering* 28 (2008) 1074-1081.
- [70]- Dong-Seon KIM, Solar Absorption Cooling, Master of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul geboren te Yesan, Zuid Korea (2007).
- [71]- Mohsen Jahandardoost, Simulation of an Air Cooled Single-Effect Solar Absorption Cooling System with Evacuated Tube Collectors, A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the Master of Science in Engineering – Mechanical Engineering, University of Nevada, Las Vegas (2014).
- [72]- A. Al Mers, A. Mimet, étude de la conception optimale d'un réacteur cylindrique d'une machine frigorifique à adsorption, *FIER' 2002*, Tétouan-Maroc. (2002) 185-190.
- [73]- Liu, Y. L., R. Z. Wang, Z. Z. Xia, "Experimental study on a continuous adsorption water chiller with novel design", *International Journal of Refrigeration* 28, 218-230 (2005).
- [74]- Zanife. T. "Etude d'une Pompe à chaleur de 230 kW et d'une machine frigorifique à adsorption solide", Thèse de l'université de Paris VI (1991).
- [75]- Teng Y, Wang R. Z, Wu J. Y, Study of the fundamentals of adsorption systems. *Applied Thermal Eng*, 17 (1997) 327-338.
- [76]- Ogueke N. V, Anyanwu E.E, Design improvements for a collector/generator /adsorber of a solid adsorption solar refrigerator *Renewable Energy* 33 (2008) 2428-2440.

- [77]- KHERRIS Sahraoui, Simulation des cycles de machines frigorifiques à absorption, these de magister Génie Mécanique de Conversion d'Énergie, Université Ibn Khaldoun - Tiaret (2007).
- [78]- DJEGHDJEGH Brahim, Etude des pompe à chaleur à absorption cycle G.A.X (échangeur générateur Absorbeur), thèse de master Energétique Mécanique, université de Mohamed Khider de Biskra (2019).
- [79]- Michel WAKIM, Etude des machines à absorption pour la valorisation de la chaleur fatale basse température, Thèse de doctorat Energétique et Procédés, de l'Université de recherche Paris Sciences et Lettres PSL Research University (2017).
- [80]- Sozen A, Arcaklio E. " Exergy analysis of an ejector-absorption heat transformer using artificial neural network approach ". Applied Thermal Engineering 27 (2007) 481-491.
- [81]- Sozen A, Serdar Yücesu H. " Performance improvement of absorption heat transformer ". Renewable Energy 32 (2007) 267-284.
- [82]- Sozen A, Arcaklioglu E., Özalp M., Yücesu S. " Performance parameters of an ejector-absorption heat transformer ", Applied Energy 3, n° 273-89 (2005) 80.
- [83]- Salhi Khelifa, Khaled Ramadan...ect, Performance evaluation of an absorption refrigeration system using R1234yf–organic absorbents working fluids, Science and Technology for the Built Environment (2021) 1-18.
- [84]- S.U. Choi, J. Eastman, Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, Argonne National Lab, IL (United States), 1995.
- [85]- O. Mahian, A. Kianifar, A.Z. Sahin, S. Wongwises, Entropy generation during Al₂O₃/water nanofluid flow in a solar collector: Effects of tube roughness, nanoparticle size, and different thermophysical models, International Journal of Heat and Mass Transfer 2014;78:64-75.

[86]- Oussama REJEB, Chaouki GHENAI, Maamar BETTAYEB, Modeling and Simulation Analysis of Solar Absorption Chiller Driven by Nanofluid-based Parabolic Trough Collectors (PTC) under Hot Climatic Conditions, Journal Pre-Proof, (2020).

[87]- Laleh Hosseini, Design and Analysis of a Solar Assisted Absorption Cooling System Integrated with Latent Heat Storage, Thèse de Master Sustainable Process and Energy Technology Delft University of Technology, (2011).

[88]- Rasoul Nikbakhti¹, Aghil Iranmanesh, Potential application of a novel integrated Adsorption - Absorption refrigeration system powered with solar energy in Australia, Applied Thermal Engineering (2021), (Article in press).