

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة ماستر أكاديمي

مجال : علوم المادة

قسم : الفيزياء

تخصص : فيزياء طاقوية و طاقات متجددة

مقدمة من طرف الطالبتين : خميس إكرام - غوقالي مبروكة

بـعنوان :

دمج مركز شمسي PTC مع مقطر شمسي بسيط في مدينة ورقلة

نوقشت يوم 2021/06/16 أمام لجنة المناقشة المكونة من :

رئيسا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ مساعد " أ "	الزين عبد الله
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر " أ "	بالحاج محمد مصطفى
مشرفا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر " أ "	سوداني محمد البار

الموسم الجامعي : 2021/2020

الإهداء

الحمد لله الذي وفقني لهذا، و لم أكن لأصل إليه لولا فضل الله بعد سنوات من الجهد و الاجتهاد أهدي
ثمرة جهدي :

إلى من بلغ الرسالة و أدى الأمانة .. و نصح الأمة .. إلى نبي الرحمة و نور العالمين ' سيدنا مُحَمَّد صلي
الله عليه و سلم'

إلى من علمني العطاء بدون انتظار .. إلى من احمل اسمه بكل افتخار .. إلى من كان له الفضل في
بلوغي التعليم العالي.. أرجو من الله أن يمد في عمره ' والدي العزيز '

إلى بسمة الحياة و سر الوجود .. إلى من كان دعاؤها سر نجاحي و حنانها بلسم جراحي .. أطال الله
في عمرها ' أمي الغالية '

إلى من كان لهم بالغ الأثر في اجتياز كثير من العقبات و الصعاب .. إلى من هم سندي و عضدي في
الحياة ' إخوتي الأعزاء : مُحَمَّد الشريف، نور الدين و زوجته، كوثر، إحسان و غفران ' حفظهم الله

إلى رفيقة الدرب زميلتي ' غوفالي مبروكة' وفقها الله في مسيرتها القادمة .

إلى أصدقائي و زملائي بالأخص رفقاء 4 صباحا و جميع من أحبهم و احترمتهم .

إلى أساتذتي الكرام ممن لم يتوانوا في مد يد العون لي .

و في الأخير إلى التي آمنت بي دوما.. إلى تلك التي دعمتني حتى أبقى قوية دائما و عزيزة أبدا و طموحة
في كل شيء إلى نفسي إلي أنا ... إكرام .

الطالبة : خميس إكرام



الإهداء

وصلت رحلتي الجامعية إلى نهايتها بعد تعب ومشقة...وها أنا ذا أتختم مشواري الجامعي بكل حب وإمتنان.

إلى من وضع المولى سبحانه وتعالى اللجنة تحت قدميها ووقرها في كتابه العزيز...

(أمي الغالية-دوغة عزيزة) حفظك الله ورعاك ومنحك الصحة وطول العمر.

إلى حبيبي الغالي... (والدي العزيز-غوقالي عبد الرزاق) شفاك الله من مرضك

وأطال في عمرك و أعاد لك صحتك وعافيتك و أن تبقى تاجا فوق رؤوسنا يارب.

إلى إخوتي وأجمل ما في حياتي (محمد السعيد-إيمان-شريف علي-شمس الدين) وفقكم الله

في حياتكم وفتح لكم أبواب الخير والرزق ومن قلبي أتمنى أن أراكم في أجمل المناصب يارب.

إلى جدتي الحبيبة (بن يوسف حدة) أطال الله في عمرك وأتم لك صحتك وعافيتك يارب.

إلى أعمامي الأحباء(عمي مبروك-عمي عثمان-عمي عبد السلام-عمي أحمد) شكرا لكل ماقمتم به من أجلي

من نصحي وإرشادي وتربيتي حفظ الله لكم زوجاتكم وأولادكم ومنحككم الصحة والعافية.

إلى أخوالي الغليين(خالي إبراهيم-خالي معيوف)وزوجاتكم وأولادهم حفصكم الله ورعاكم

إلى رفيقة الدرب والكفاح(إكرام خميس)من قلبي أتمنى لكي الأفضل في حياتك القادمة.

إلى رفيقاتي التي جمعني بهم أحلى أيامي الجامعية(زبيدة-جهاد-أمينة-فتيحة-ياسمين)

شكرا لكل معلومة إحتجتها ولم تبخلو بها علي شكرا لكل مساعدة قدمتموها لي.

أهدي لكم بحث تخرجي هذا داعيتا المولى عز وجل أنا يحفظكم ويطيل في أعماركم يارب.

الطالبة: غوقالي مبروكة

التشكرات

" كن عالما فإن لم تستطع فكن متعلما، فإن لم تستطع فأحب العلماء، فإن لم تستطع فلا تبغضهم "

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيدنا مُحَمَّد وعلى اله وصحبه أجمعين المبعوث رحمة للعالمين

فإننا نشكر الله وافر الشكر أن وفقنا وأعاننا على إتمام هذه الرسالة، ثم إلى أهلنا الذين كانوا سندنا لنا طيلة مشوارنا الدراسي

كما لا يسعنا إلا أن نخص بأسمى عبارات الشكر و التقدير للأستاذ المشرف "سوداني مُحَمَّد البار" على ما قدمه لنا من جهد ونصح ومعرفة طيلة إنجاز هذا البحث ، ونخص كذلك بالشكر الأستاذ "بالحاج مُحَمَّد مصطفى" على مساعدته لنا فجزاكم الله ألف خير.

كما نتقدم بالشكر الجزيل إلى المخيري "حوتي أحمد" على المساعدات القيمة التي قدمها لنا صغيرة كانت أو كبيرة نسأل الله العلي القدير أن يجازيه خير الجزاء و أن يكتب صنيعه في موازين حسناته.

ونخص كذلك في شكرنا إلى الأساتذة الكرام الذين قبلوا مناقشة مذكرتنا: "بالحاج مُحَمَّد مصطفى" و "الزين عبد الله" .

كما نتقدم بالشكر الجزيل لكل من كان له يد المساعدة من قريب أو بعيد على إتمام هذا العمل.

كل نشكر أيضا إلى كل من وقف إلى جانبنا و قدم لنا الدعم، إلى كل الزملاء و الأصدقاء طيلة سنوات الدراسة الجامعية .

و في الأخير إلى كل من زرعوا التفاؤل في دربنا وقدموا لنا المساعدات و التسهيلات و الأفكار و المعلومات جميع أساتذتنا الكرام لهم منا كل الشكر.

فهرس المحتويات

1	المقدمة العامة
الفصل الأول: الإشعاع الشمسي	
3	1-I) المقدمة
3	2-I) توافر الطاقة الشمسية على سطح الأرض
5	3-I) تعريف الإشعاع الشمسي
5	4-I) طيف الإشعاع الشمسي
6	5-I) الثابت الشمسي
8	6-I) الزوايا الشمسية
8	1-6-I) خط العرض φ
8	2-6-I) زاوية الارتفاع الشمسي h
9	3-6-I) زاوية الذروة Z
9	4-6-I) زاوية خط الطول λ
9	5-6-I) زاوية الانحراف الشمسي δ
10	6-6-I) زاوية ميل السطح المدرس (المنحدر) γ
10	7-6-I) زاوية السمات الشمسي الأفقية α
10	8-6-I) زاوية الورود (السقوط) الشمسي θ
10	9-6-I) الزاوية الساعية ω
11	7-I) معادلة التصحيح الزمني E_t
12	8-I) الكتلة الهوائية الضوئية AM
13	9-I) الإشعاع الشمسي على سطح الأرض
13	1-9-I) الإشعاع الشمسي المباشر
14	2-9-I) الإشعاع الشمسي المنتشر
14	3-9-I) الإشعاع الشمسي الكلي
17	الخاتمة
الفصل الثاني: المركز الشمسي الأسطواني ذو القطع مكافئ	
18	1-II) المقدمة
18	2-II) نظرة تاريخية حول استغلال الطاقة الشمسية
20	3-II) تكنولوجيا التركيز الشمسي

20	4-II) المركزات الشمسية
20	1-4-II) تعريف المركزات الشمسية
20	2-4-II) نسبة التركيز الشمسي
21	1-2-4-II) نسبة التركيز الخطي
21	1-1-2-4-II) المركز الشمسي الأسطواني القطع المكافئ PTC
22	2-1-2-4-II) عدسات عاكس فرينل الخطي (LFR)
22	2-2-4-II) نسبة التركيز النقطي
23	1-2-2-4-II) البرج المركزي الشمسي (المستقبل المركزي) (CRC)
23	2-2-2-4-II) المركز الشمسي الصحن القطع المكافئ (DP)
24	5-II) آلية عمل المركزات الشمسية
24	6-II) هندسة المركز الأسطواني القطع المكافئ PTC
25	1-6-II) زاوية الحافة ϕ_r
25	2-6-II) زاوية القبول
27	3-6-II) حساب نصف قطر العاكس
27	4-6-II) حساب نصف قطر الحافة
27	5-6-II) حساب عرض الفتحة
27	6-6-II) مساحة الفتحة A_{ap}
27	7-6-II) التركيز الهندسي
28	8-6-II) مساحة سطح العاكس A_{ref}
28	9-6-II) حساب طول المركز القطعي
28	7-II) التتبع الشمسي
29	1-7-II) التتبع الشمسي بمحورين دوران
29	2-7-II) التتبع الشمسي بمحور دوران واحد
30	3-7-II) حالة عدم التتبع (تثبيت المجمع الشمسي)
30	4-7-II) آليات التتبع للمجمعات الشمسية
31	8-II) مكونات PTC
31	1-8-II) العنصر الجامع للحرارة (أنبوب الاستقبال) (HCE)
31	2-8-II) العاكس
32	3-8-II) سائل حراري HTF
32	9-II) الموازنة الحرارية لنموذج PTC

33	(1-9-II) معادلة موازنة الطاقة للمائع (HTF)
34	(2-9-II) معادلة موازنة الطاقة للأنبوب الماص
37	(3-9-II) معادلة موازنة الطاقة للظرف الزجاجي
38	الخاتمة
الفصل الثالث: المقطرات الشمسية	
39	(1-III) المقدمة
39	(2-III) تعريف المقطر الشمسي
39	(3-III) لحة تاريخية عن التقطير الشمسي
40	(4-III) مبدأ عمل المقطر الشمسي
41	(5-III) مكونات المقطر الشمسي
41	(6-III) العوامل المؤثرة على المقطر الشمسي
42	(7-III) الانتقالات والتدفقات الحرارية على مستوى المقطر الشمسي
43	(1-7-III) الانتقالات على مستوى الغطاء الزجاجي
46	(2-7-III) الانتقالات على مستوى وسط الحوض
48	(3-7-III) الانتقالات على المستوى السفلي للمقطر
50	(4-7-III) الانتقالات على مستوى عوازل جانبي المقطر
51	(8-III) الموازنة الحرارية للمقطر الشمسي البسيط
52	(9-III) دراسة المردود الطاقوي
52	الخاتمة
الفصل الرابع: الدراسة التجريبية	
53	(1-IV) المقدمة
53	(2-IV) الأجهزة المستخدمة في التجارب
54	(3-IV) الأدوات المستخدمة في التجارب
55	(4-IV) سلسلة التجارب
61	الخاتمة
الفصل الخامس: تحليل النتائج	
62	(1-V) المقدمة
62	(2-V) التجربة الأولى: المقطر الشمسي البسيط بميل واحد
63	(1-2-V) وصف التجربة
63	(2-2-V) تحليل ومناقشة نتائج التجربة

67	3-V التجربة الثانية: المركز الشمسي الأسطواني القطع المكافئ
67	1-3-V وصف التجربة
67	2-3-V تحليل و نتائج التجربة
70	4-V التجربة الثالثة: دمج المركز الشمسي PTC مع المقطر الشمسي
70	1-4-V وصف التجربة
70	2-4-V تحليل و نتائج التجربة
75	5-V مناقشة النتائج
76	الخاتمة
77	الخاتمة العامة

فهرس الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	ترتيب الجدول
الفصل الأول		
14	قيم معامل الاضطراب و ارتفاع الماء المكثف	(1-I)
16	عاكسية " Reflectivity " Albedo لبعض السطوح	(2-I)
الفصل الثاني		
36	مختلف الأقطار الجزئية للغازات	(1-II)
الفصل الخامس		
76	الإنتاجية الكلية للماء المقطر.	(1-V)

فهرس الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
الفصل الأول		
3	الحركة السنوية للأرض حول الشمس	(1-I)
4	ميلان الأرض عن محورها	(2-I)
6	الطيف الكهرومغناطيسي العام وتقسيمات الأشعة الضوئية	(3-I)
6	مخطط توضيحي لطيف الإشعاع الشمسي على الأرض	(4-I)
7	الإشعاع الشمسي الخارجي بدلالة اليوم من السنة	(5-I)
8	زاوية الساعة الشمسية و دائرة العرض للمنطقة	(6-I)
9	زاوية الارتفاع الشمسي و الذروة و السمات الرأسية (معلم سطح أرضي)	(7-I)
10	زاوية ميل السطح المدرس (المنحدر) (γ) و زاوية السمات الشمسية الرأسية (Z)	(8-I)
12	بيان تغيرات التصحيح الزمني خلال أيام السنة	(9-I)
12	الكتلة الهوائية الضوئية	(10-I)
16	مخطط يوضح اتزان الإشعاع الشمسي والطاقة للأرض	(11-I)
الفصل الثاني		
19	مخطط يوضح استخدام الطاقة الشمسية	(1-II)
22	المركز الأسطواني القطع المكافئ	(2-II)
22	عاكس فريزل الخطي (LFR)	(3-II)
23	البرج المركزي الشمسي CRC	(4-II)
23	الصحن القطع مكافئ DP	(5-II)
25	مقطع عرضي للمجمع حوض المكافئ	(6-II)
26	العلاقة بين زاوية الحافة و نسبة البعد البؤري إلى عرض الفتحة $\left(\frac{F}{w_a}\right)$	(7-II)
26	زاوية الحافة ϕ_T كدالة لنسبة البعد البؤري إلى فتحة المجمع	(8-II)
29	أشكال التتبع الشمسي	(9-II)
31	مخطط للشكل العام ل (PTC).	(10-II)
33	مخطط التبادلات الحرارية للمركز الأسطواني القطع المكافئ	(11-II)
الفصل الثالث		
40	دورة المياه	(1-III)
40	مبدأ عمل المقطر الشمسي	(2-III)

43	أهم الانتقالات والتدفقات الحرارية في المقطر البسيط ذات الميل الواحد	(3-III)
43	رسم يوضح الانتقالات على مستوى الغطاء الزجاجي	(4-III)
46	رسم يوضح انتقالات على مستوى وسط الحوض	(5-III)
49	رسم يوضح انتقالات على مستوى السفلي للمقطر	(6-III)
الفصل الرابع		
54	الأجهزة المستخدمة في التجارب	(1-IV)
54	الأدوات المستخدمة في التجارب	(2-IV)
55	صورة توضح التركيب التجريبي للمقطر الشمسي البسيط (الشاهد)	(3-IV)
56	الخطوة الأولى	(4-IV)
56	الخطوة الثانية	(5-IV)
57	الخطوة الثالثة	(6-IV)
58	صورة توضح التركيب التجريبي للمركز الشمسي الأسطواني القطع المكافئ	(7-IV)
58	الخطوة الأولى	(8-IV)
59	الخطوة الثانية	(9-IV)
59	الخطوة الثالثة	(10-IV)
60	صورة توضح التركيب التجريبي لدمج المركز الشمسي PTC مع المقطر الشمسي	(11-IV)
60	الخطوة الأولى	(12-IV)
61	الخطوة الثانية	(13-IV)
الفصل الخامس		
62	صورة تجريبية للمقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد	(1-V)
63	تغيرات شدة تدفق الإشعاع الشمسي خلال اليوم في تجربة المقطر	(2-V)
64	تغيرات درجة حرارة الماء بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة المقطر	(3-V)
65	تغيرات درجة حرارة الزجاج من الخارج بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة المقطر	(4-V)
65	تغيرات درجة حرارة الجو بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة المقطر	(5-V)
66	منحنى تطور كمية الماء المقطر بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة المقطر	(6-V)
67	صورة تجريبية للمركز الشمسي PTC	(7-V)
68	تغيرات شدة الإشعاع الشمسي المباشر بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة المركز	(8-V)
68	منحنى تغيرات درجة حرارة الجو بدلالة الزمن	(9-V)
69	منحنى تغيرات درجة حرارة الماء الخارج من أنبوب المركز الشمسي بدلالة الزمن	(10-V)
70	صورة للتركيب التجريبي لدمج المركز الشمسي PTC مع المقطر الشمسي	(11-V)

71	منحنى تغيرات كمية الإشعاع الشمسي المباشر بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة الدمج	(12-V)
72	منحنى تغيرات درجة حرارة الماء المالح بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة الدمج	(13-V)
72	منحنى تغيرات درجة حرارة الزجاج الخارجي بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة الدمج	(14-V)
73	منحنى تغيرات درجة حرارة الجو بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة الدمج	(15-V)
74	منحنى تطور الماء المقطر بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة الدمج	(16-V)
75	منحني كمية الماء المقطر الناتج لكل المقطر الشاهد والمقطن المحسن معا	(17-V)

الوحدة	الاصطلاحات	الرموز
μm	الطول الموجي	λ
W/m^2	شدة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي	I
W/m^2	الثابت الشمسي و يساوي $1360 \text{ W}/\text{m}^2$.	I_0
اليوم	اليوم من السنة (1.....365)	N_j
الدرجة °	خط العرض	φ
الدرجة °	زاوية الارتفاع الشمسي	h
الدرجة °	زاوية الذروة	Z
الدرجة °	زاوية خط الطول	λ
الدرجة °	زاوية الانحراف الشمسي	δ
الدرجة °	زاوية ميل السطح المدروس (المنحدر)	γ
الدرجة °	زاوية سمت الشمسي الأفقية	α
الدرجة °	زاوية الورود (السقوط) الشمسي	θ
الدرجة °	الزاوية الساعية	ω
h	الوقت الشمسي الحقيقي	TSV
h	الوقت القانوني	TL
min	معادلة التصحيح الزمني	E_t
/	الكتلة الهوائية الضوئية	AM
w/m^2	الإشعاع الشمسي الكلي	G
m	ارتفاع الماء المكثف	W
m	البعد البؤري لقطع المكافئ	F
الدرجة °	زاوية الحافة	φ_r
m	القطر الأعظمي للعاكس	r_r
m	نصف قطر حافة العاكس	R
الدرجة °	نصف زاوية القبول	θ_m
m	قطر المجمع	D
الدرجة °	الزاوية بين محاور المجمع والشعاع المنعكس عند البؤرة	φ
m	عرض الفتحة	W_α

m	طول المجموع الشمسي	L
m ²	المساحة	A
/	التركيز الهندسي	C
m	طول المركز القطعي	S
/	معامل الانعكاس	ρ
/	معامل الامتصاص	α
/	معامل النفاذ	τ
	سرعة الرياح	V
/	معامل هندسي	A_F
الدرجة °	زاوية الورود	θ
الدرجة °	زاوية ميلان السطح	β
الدرجة °	زاوية السميت	A
W	التدفق الحراري	Q
W/(m ² .K)	معامل انتقال الحرارة بالحمل	h
/	رقم نيسالت	Nu
/	رقم رينولدز	Re
/	معامل الاحتكاك	C_f
K	درجة الحرارة المتوسطة	T_{film}
W/(m.K)	معامل انتقال الحرارة الفعال	λ
/	معامل الإنبعائية	ϵ
Kg/s	التدفق الكتلي	\dot{m}
الدرجة °	زاوية ورود الإشعاع الشمسي	i

الاختصار	المعنى بالعربية	المعنى بالانجليزية
UV	الفوق بنفسجي	Ultraviolet
IR	تحت الحمراء	Infrared
CSP	مركزات الطاقة الشمسية	Concentrating Solar Power
PV	الكهروضوئية	Photovoltaic
PTC	المجمع الأسطواني القطع مكافئ	Parabolic Trough Collector
SEGS	نظام توليد الكهرباء الشمسية	Solar Electric Generating System
HTF	المائع الناقل للحرارة	Heat Transfer Fluid
LFR	عاكس فرنيل الخطي	Linear Fresnel Reflector
DP	الصحن القطع مكافئ	Parabolic Dish
CRS	نظام المستقل المركزي	Central Receiver Systems
DSG	توليد البخار المباشر	Direct Steam Generation
HCE	العنصر الجامع للحرارة	Heat Collection Element

الرمز	المعنى
a	الهواء
ap	فتحة الجمع الشمسي
r	الأنبوب الماص
ref	العاكس
e	الظرف الزجاجي
rad	الإشعاع الحراري
eff	الفعال
f	المائع
g	الغاز
int	الداخلي
ext	الخارجي
conv	الحمل الحراري
cond	التوصيل الحراري
sky	السماء
th	الحراري

العلمة العالمة

المقدمة العامة

ما زالت الدراسات المعاصرة مستمرة في البحث عن مصادر دائمة للطاقة الحديثة، المتجددة، البديلة، الغير محدودة والأقل تلويثا من المصادر التقليدية وقد اتخذت الطاقة الشمسية الأولوية على المصادر الأخرى بسبب قدرتها على تحقيق إحتياجات الإنسان من الطاقة، علاوة على ذلك فإن لديها مساهمة كبيرة في أنشطة الطاقة الأخرى لأنها نظيفة و قادرة على التحول إلى أنواع أخرى من الطاقة مثل الكهربائية، الميكانيكية و الطاقة الحرارية ، في الآونة الأخيرة شهدت أبحاث الطاقة التوسع السريع في التطبيقات في معظم مناطق العالم بما في ذلك الدول العربية، مع التركيز على الطرق التي تؤدي إلى زيادة وتطوير كفاءتها ليس هناك شك في أن المناطق التي تتمتع بمناخ معتدل مناسب مع ارتفاع في درجة الحرارة كصحراء الجزائر مثلا قد حصلت على العديد من الفرص وقدره الحصول على أقصى قدر من الطاقة الشمسية بكفاءة عالية.

تواجه المنطقة العربية تحديات متنامية في قطاع المياه، فلا عجب أن يتم تصنيفها من أكثر المناطق ندرة و نتيجة لذلك إنتشار الأمراض و الوفيات للأشخاص الذين يستخدمون موارد مياه ملوثة، إن بناء محطات معالجة مياه الصرف الصحي والحد من الإفراط في المياه الجوفية هي الحلول لمشكلة المياه العالمية، إلا إن نظرة أعمق تكشف عن مزيد من القضايا الأساسية، حيث أن الإفراط في ضخ المياه الجوفية له آثار اقتصادية على المزارعين، علاوة على ذلك فإن هذه الإستراتيجية ستؤدي إلى تخفيض الإنتاج الزراعي وهو أمر لا يمكن للعالم تحمله نظرا لعدد السكان في الوقت الحاضر.

توجد ابتكارات تكنولوجية جديدة للحصول على الماء، حيث أن العديد من البلدان بدأت في بناء محطات لتحلية المياه باعتبارها عنصرا في معالجة أزمة المياه حيث تعتبر طريقة تحلية المياه الحل الأخير لأزمة المياه بالرغم من استخدام طاقات هائلة للتحلية لكن هذه التكاليف تستمر بالهبوط.

يتم الاهتمام في مراكز الأبحاث العالمية حول إيجاد بدائل للطرق الحالية لعملية التحلية، و إيجاد بدائل للمواد الكيميائية المضافة عن طريق استخدام الهندسة الوراثية لتسريع عملية تنقية المياه ومعالجتها، و إيجاد بدائل للطاقة المستخدمة لعملية التحلية عن طريق إستخدام الطاقات المتجددة كالتقوية الشمسية، ويعتبر المقطر الشمسي ذو الميل الواحد من أشهر المقطرات التي تستخدم الطاقة الشمسية للحصول على المياه العذبة وذلك لبساطته وسهولة تصنيعه.

أجريت الكثير من الأبحاث بهدف تحسين إنتاجية المقطر الشمسي فمنهم من درس تجريبيا ونظريا تأثير إضافة مرايا داخلية على إنتاجية المقطر الشمسي، أو إضافة طبقة من الرمل إلى قاعدة المقطر، أو إضافة قطع من الإسفنج أو المطاط والحصى من أجل تحسين امتصاص الإشعاع الشمسي وتخزين الحرارة وزيادة تبخر الماء، وكذلك عن طريق إضافة مبادل حراري أو مكثف خارجي أو مضخة حرارية لتحسين فعالية التقطير، و من بين هذه الوسائل دمج المركز الشمسي الأسطواني القطع المكافئ PTC مع المقطر الشمسي و هي محل دراستنا و ذلك بطريقتين: تجريبيا بواسطة القياسات، و نظريا باستعمال معادلات الموازنة الحرارية.

تعتمد آلية عمل PTC على تركيز الإشعاع الشمسي المباشر بواسطة العاكس القطع مكافئ نحو المحور البؤري ، حيث يتم امتصاص الإشعاع على شكل حرارة عبر سطح الأنبوب الماص الذي يكون من النحاس أو الفولاذ المقاوم للصدأ مطلي بالأسود ، و من ثم تنتقل الحرارة إلى المائع الناقل للحرارة (HTF) الذي يسري داخل الأنبوب الماص، اعتمادا على ما تقدم سابقا نطرح الإشكال التالي : ما مدى استعمال الطاقة الشمسية بواسطة المركز الشمسي PTC لصالح تسخين الماء الموجود بالمقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد لإنتاج كمية أكبر من الماء المقطر ؟

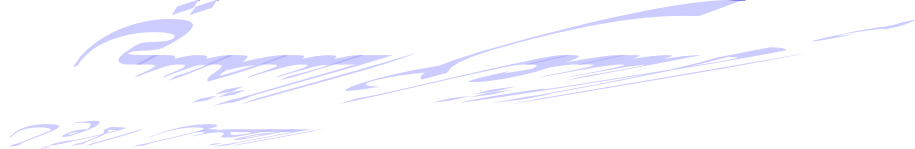
ومن اجل الوصول للأهداف المسطرة في هذا العمل ، قمنا بتقسيمه إلى خمسة فصول:

- ✓ الفصل الأول: والذي سيذكر فيه ملخص حول الشمس و الإشعاع الشمسي.
- ✓ الفصل الثاني: سيهتم فيه بدراسة عامة حول المركزات الشمسية بمختلف أنواعها ونقوم بدراسة المركز الشمسي ذو القطع المكافئ على حدا والانتقالات الحرارية الخاصة به.
- ✓ الفصل الثالث: تم فيه الدراسة حول المقطرات الشمسية و بالتحديد المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد ودراسة معادلات التوازن الحراري على مختلف أجزاء المقطر.
- ✓ الفصل الرابع: يحتوي على الدراسة التجريبية حول طريقة العمل وتوصيل مختلف الأجهزة.
- ✓ الفصل الخامس: سيخصص لتحليل ومناقشة منحنيات التجارب التي تمت على المقطر الشمسي لوحده و على المركز الشمسي ذو القطع المكافئ و على المقطر الشمسي المدمج مع المركز الشمسي PTC .

و في الأخير سنختم عملنا هذا بملخص عامة نبرز فيها أهم النتائج المتحصل عليها مع اقتراح حلول و توصيات بالإضافة إلى تطلعات مستقبلية حول موضوع الدراسة .

الفصل الأول

الإشعاع الشمسي



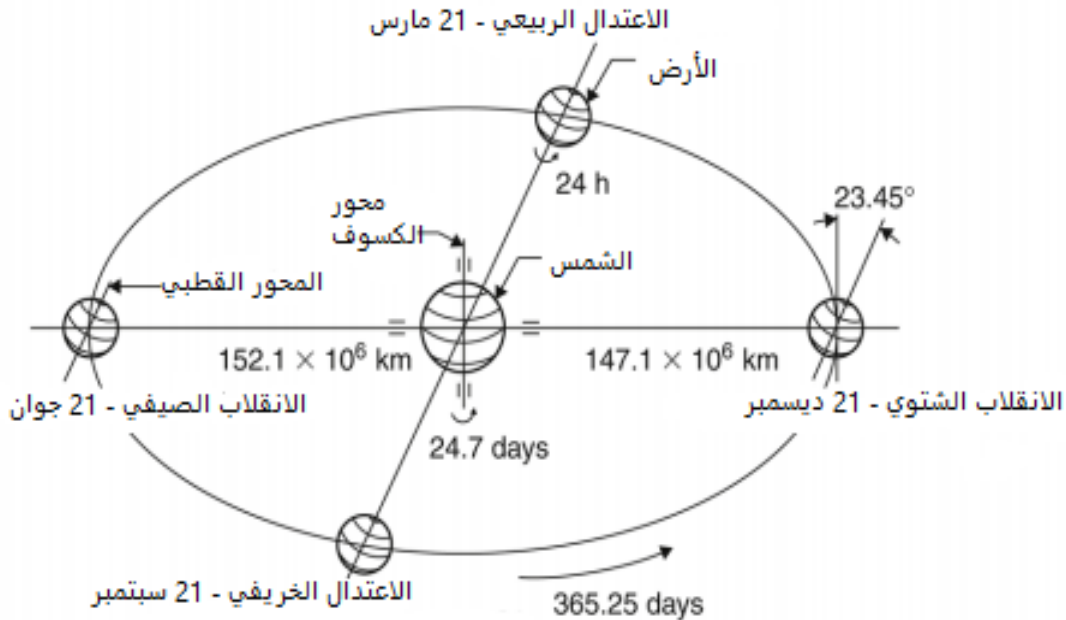
(1-I) المقدمة:

الإشعاع الشمسي بمعناه العام هو الطاقة الإشعاعية التي تطلقها الشمس في جميع الاتجاهات، والتي تستمد منها كل الكواكب السيارة التابعة لها وأقمارها كل حرارة أسطحها وأجوائها، وهي طاقة ضخمة جداً وعلى الرغم من ضآلة هذا القدر فإنه هو المسئول عن كل الطاقة الحرارية والضوئية لجو الأرض، كما أنه هو الذي يتحكم في مناخ العالم ، و لمعرفة كيفية وصول الإشعاع الشمسي للأرض سنتطرق في هذا الفصل إلى معرفة مختلف الزوايا الشمسية و عبارات تقدير شدة الإشعاع الشمسي وغيرها لاستعمالها والاستفادة منها خلال التحويلات لمختلف تطبيقات الطاقة الشمسية.

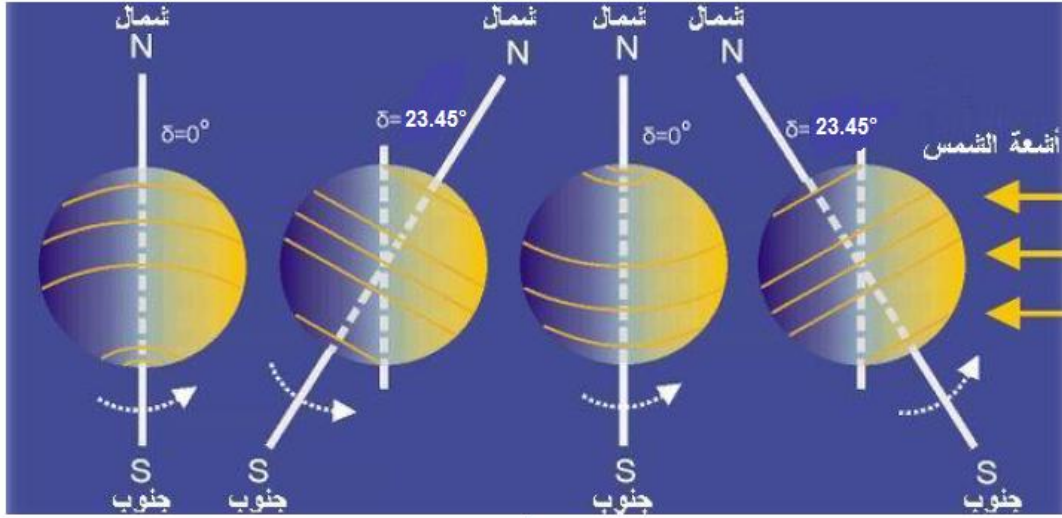
(2-I) توافر الطاقة الشمسية على سطح الأرض:

تدور الأرض حول نفسها دورة كل 24 ساعة و حول الشمس دورة كل 365.25 يوم في مدار اهليجي، و تبلغ اقرب مسافة بين الأرض والشمس 147.1 مليون كم عندما تكون الأرض في الحضيض (في 3 ديسمبر) وابتعد مسافة 152.1 مليون كم عندما تكون الأرض في الاوج في (الأول من شهر جويلية) فيكون معدل المسافة = $(152.1 + 147.1)/2$ = 149.5985 مليون كم [7].

تدور الأرض حول محور يميل عن مدار دوراتها حول الشمس وهذا الم يلان حول الشمس هام جدا لتوزيع الإشعاع الشمسي على سطح الأرض [7].



الشكل (1-I): الحركة السنوية للأرض حول الشمس [7].



الشكل (I-2): ميلان الأرض عن محورها [1].

تستقبل الأرض كمية من الطاقة على شكل إشعاع شمسي بمعدل $8 \times 10^{16} \text{w}$ وبما يزيد عن 10 آلاف ضعف من حاجة العالم الحالية من الطاقة، لذلك فإن الإشعاع الشمسي يعد مصدراً هاماً ورئيسي للطاقة المتجددة، إن منظومات تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية أو كهربائية تختلف عن باقي المنظومات الأخرى وذلك أن التحكم بكمية الطاقة المتوافرة أمر ليس بالسهل فهي متغيرة بصورة مستمرة وتحددها عدة عوامل وأهمها الآتي:

- ✓ المسافة بين الأرض والشمس: وهي متغيرة لان الأرض تدور حول الشمس على شكل اهليجي.
- ✓ انحراف محور دوران الأرض: ينحرف محور الأرض 23.45° عن مدارها حول الشمس والذي بدوره يعمل على توزيع الإشعاع الشمسي على سطح الأرض وبسببه يتغير طول الليل والنهار وتتغير فصول السنة الأربعة
- ✓ صفاء الجو: إن الغازات المحيطة بالأرض و ذرات الغبار والأبخرة المتعلقة بالجو تعمل على بعثرة الطاقة الشمسية أثناء مرورها عبر الغلاف الجوي، ويعتمد مقدار البعثرة على ظروف الجو .
- ✓ الموقع الجغرافي: بشكل عام يمكن القول بان المناطق الواقعة على خطوط عرض قريبة من خط الاستواء يتوافر فيها الإشعاع الشمسي أكثر من غيرها .
- ✓ موقع اللاقط: إن تواجد اللاقط الشمسي في مكان مزدحم بالعمران والأشجار قد يحول دون وصول الإشعاع المباشر له.
- ✓ توجيه اللاقط: اللواقط الملاحقة للشمس تستقبل إشعاع شمسي أكثر من غيرها، واللواقط المثبتة بميلان نحو الجنوب تستقبل إشعاع شمسي أكثر من اللواقط المثبتة أفقياً في مناطق نصف الكرة الأرضية الشمالي
- ✓ الوقت في النهار: بشكل عام يستقبل اللاقط وقت الظهيرة أكبر ما يمكن من الإشعاع الشمسي عن باقي الأوقات
- ✓ الوقت في السنة: يتوافر الإشعاع الشمسي في فصل الصيف أكثر من غيره من الفصول لطول نهاره وقصر ليله.

✓ الظروف المناخية: إن أهم العوامل الجوية المؤثرة على الإشعاع الشمسي هي السحب والتي قد تحجب ما يزيد عن 50% من الإشعاع الكلي (المباشر + المنتشر) وهناك عوامل جوية أخرى تؤثر على الإشعاع مثل ذرات الغبار وبخار الماء والملوثات العالقة بالجو.

✓ نوع اللاقط: إن اللاقط إما أن يكون مستو أو مركز [1].

I-3) تعريف الإشعاع الشمسي :

إن النظرية السائدة حول نشوء الشمس هي أنها تشكلت من سحابة غازية من الهيدروجين، المرحلة الأولى من تطور الشمس كان التقلص التجاذبي لجزيئات الهيدروجين، وهذا التقلص سبب تصادمات عنيفة بين جزيئات الهيدروجين نتج عنها حرارة هائلة أدت إلى صهر نوى ذرات الهيدروجين، ونتج عن ذلك تولد الطاقة وتشكل الهليوم من اتحاد نوى ذرات الهيدروجين الكتلة الذرية للهليوم الناتج أقل من الكتلة الذرية للهيدروجين الأصلي، وذلك بسبب تحول الكتلة إلى طاقة في عملية الانصهار، إن تفاعل الانصهار الأول في السحابة الهيدروجينية نتج عنه ولادة الشمس [2].

تؤدي الانصهارات النووية الحاصلة في مركز الشمس لإصدار الطاقة بشكل إشعاع كهرومغناطيسي عالي التردد ذي أطوال موجية تتراوح بين $(0.3 - 3) \mu\text{m}$ ، يصدر هذا الإشعاع بجميع أطوال الموجة ابتداء من الموجات الراديوية ذات طول الموجة الطويلة إلى أشعة ذات الموجة القصيرة جدا وأشعة غاما، حيث :

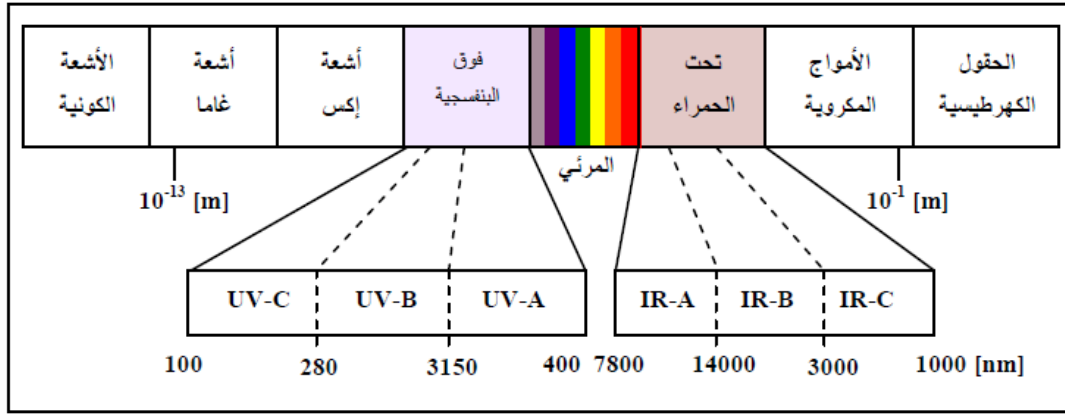
- ❖ $\lambda \in [0.25, 0.4]$ المجال فوق بنفسجي (UV) يمثل 7% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس.
- ❖ $\lambda \in [0.4, 0.8]$ المجال المرئي (LV) يمثل 47% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس .
- ❖ $\lambda \in [0.4, 8]$ المجال تحت الأحمر (IR) يمثل 45.5% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس .

وجميع هذه الإشعاعات الكهرومغناطيسية تنتقل عبر الفضاء بمعدل ثابت [2].

I-4) طيف الإشعاع الشمسي:

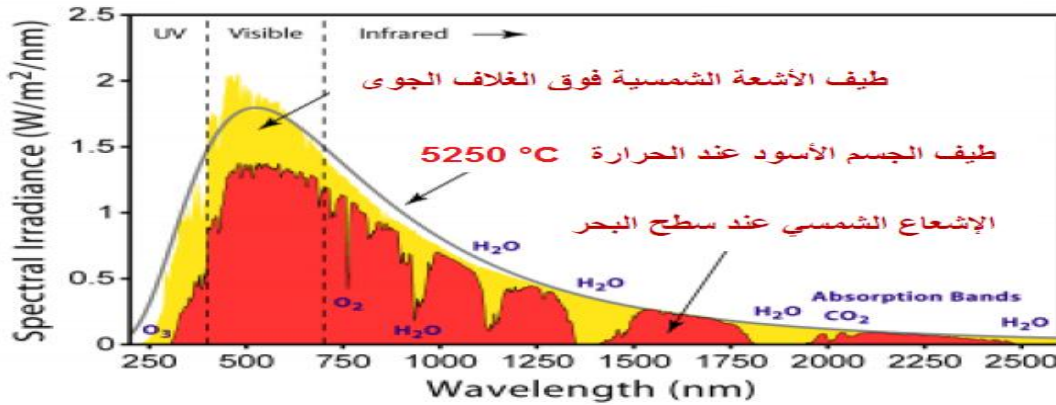
يعتبر الطيف الشمسي جزءاً من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يمثل جميع الموجات التي تتضمن المجالات الكهرومغناطيسية، يتوافق طيف الإشعاع الشمسي مع درجة حرارة سطح الشمس التي تتراوح بين (5700-5900) درجة مئوية (أي أن الطيف الشمسي المنبعث المرئي في الفضاء يعادل طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من إشعاع الجسم الأسود الذي يتم الحفاظ عليه عند درجة الحرارة هذه)، كما هو الحال على الأرض فقد تحول قليلاً من طيف إشعاع الجسم الأسود [3].

تتضمن الأشعة الضوئية كل من الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء حيث يبين الشكل رقم (I-3) المناطق الطيفية للأمواج الكهرومغناطيسية وتقسيمات الأشعة الضوئية في مختلف مجالاتها وذلك بحسب المرجعية العلمية المعتمدة عالمي [5].



الشكل (3-I) : الطيف الكهرومغناطيسي العام وتقسيمات الأشعة الضوئية [5].

يحدث امتصاص الإشعاع الشمسي في نطاق الأشعة فوق البنفسجية بسبب الأوزون و في نطاق الأشعة تحت الحمراء بسبب الماء و ثاني أكسيد الكربون في عملية الامتصاص، يتم تحويل الإشعاع الشمسي إلى حرارة تنبعث من الجسيمات كإشعاع طويل الموجة تأثير نثر رايلي كبير جدًا ويعتمد على الطول الموجي، كما يتضح من الشكل (4-I) [4].



الشكل (4-I): مخطط توضيحي لطيف الإشعاع الشمسي على الأرض [5].

ملاحظة:

يرجع الانخفاض في شدة الذروة عند 500 نانومتر تقريبًا إلى تشتت رايلي، والانخفاضات الأخرى ناتجة عن امتصاص الأوكسجين (O₂) والأوزون (O₃) والماء (H₂O) وثاني أكسيد الكربون (CO₂) [4].

5-I) الثابت الشمسي :

تستقبل الأرض تقريبًا كل طاقتها من الشمس في شكل إشعاع كهرومغناطيسي، لا يتغير محتواه الحراري الإجمالي بشكل كبير مرور الوقت، مما يشير عمومًا إلى توازن بين الإشعاع الشمسي الممتص وتدفق الإشعاع المنتشر المنبعث من الكوكب خارج الغلاف

الجوي للأرض، لا يوجد عنصر منتشر للإشعاع الشمسي ولكن فقط المكون المباشر لمسافة متوسطة بين الأرض والشمس، ينتج عن الإشعاع المنبعث من الشمس إلى الأرض كثافة ثابتة تقريباً تُعرف بالثابت الشمسي وهي 1360 W/m^2 Monteith 1962 [6].

الثابت الشمسي هو الطاقة الشمسية المستلمة لكل وحدة زمنية ولكل وحدة مساحة في منطقة متعامدة مع اتجاه انتشار الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي ، أعطت القياسات التي تم إجراؤها باستخدام مجموعة متنوعة من الأدوات المقدر بـ 1353 W/m^2 مع خطأ $\pm 1.5\%$ ، اعتمدت لجنة أدوات وطرق الرصد (CIMO) التابعة للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) في أكتوبر 1981 القيمة 1367 W/m^2 مع عدم التيقن 0.1% في الوقت الحالي، أفضل قيمة متاحة للثابت الشمسي هي 1360 W/m^2 Frochlich 1981 و Werhli 1981 [6].

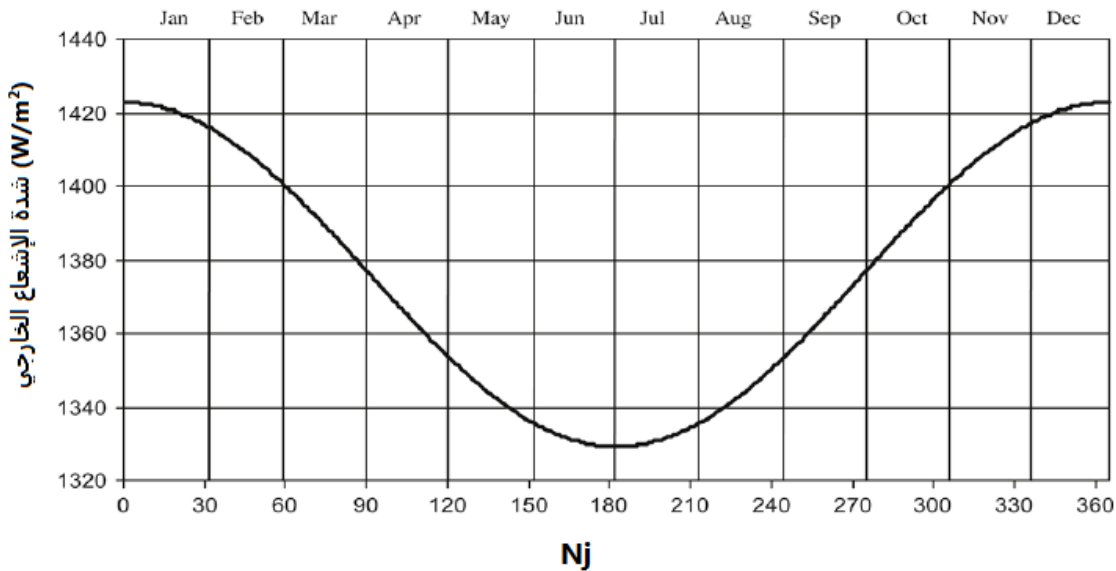
$$I = I_0 \left(1 + 0.033 \times \cos\left(\frac{360N_j}{365}\right) \right) \quad (1-1)$$

حيث:

I : شدة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي .

I_0 : الثابت الشمسي و يساوي 1360 W/m^2 .

N_j : اليوم من السنة (1.....365).



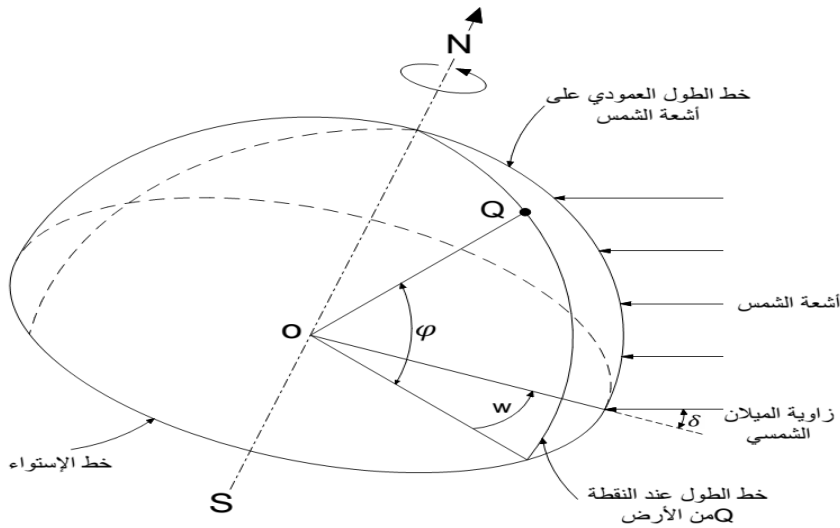
الشكل (1-5) : شدة الإشعاع الشمسي الخارجي بدلالة اليوم من السنة [7].

6-I) الزوايا الشمسية :

بما أن شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض تابع لموقع سطح الأرض بالنسبة للشمس فإنه من الضروري تحديد بعض الزوايا الهندسية الموضحة للعلاقة بين سطح الأرض والشمس و الشكل (6-I) يبين نقطة على سطح الأرض مواجهة لأشعة الشمس [2].

1-6-I) خط العرض (φ):

خط العرض لنقطة ماهو الموقع الزاوي للنقطة المدروسة بالنسبة إلى مستوي خط الاستواء، و يفرض خط العرض موجب شمال خط الاستواء، وحسب الشكل(6-I) هو الزاوية بين الخط OQ ومسقطه على مستوي خط الاستواء ، وقيمتها تتراوح في المجال $[8](-90^\circ) \leq \varphi \leq (+90^\circ)$.



الشكل(6-I):زاوية الساعة الشمسية و دائرة العرض للمنطقة [10].

2-6-I) زاوية الارتفاع الشمسي (h):

هي الزاوية بين أشعة الشمس والمستوي الأفقي، وهكذا نجد أن العلاقة بين هذه الزوايا معطاة كما يلي [2]:

$$\sin h = \sin \varphi . \sin \delta + \cos \varphi . \cos \delta . \cos \omega \quad (1-2)$$

3-6-I) زاوية الذروة (Z):

هي الزاوية بين الشعاع الشمسي و الناظم على سطح الأرض و ترتبط بزاوية الارتفاع الشمسي (h) بالعلاقة التالية [8]:

$$Z = 90 - h \quad (1-3)$$

I-6-4) زاوية خط الطول (λ):

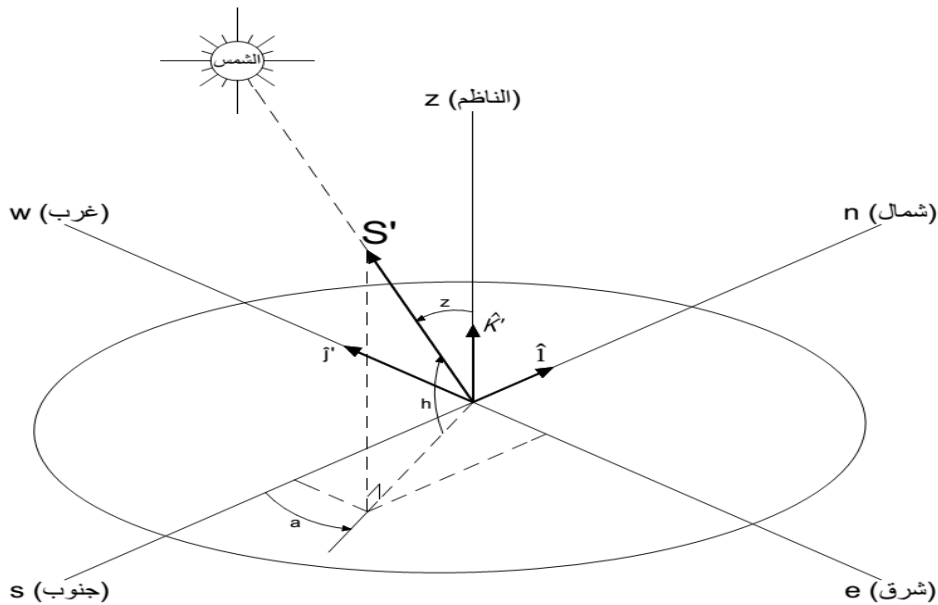
وهي الموضع الزاوي للمنطقة المدروسة بالنسبة إلى مستوي خط الطول الرئيسي غرينتش و قيمتها تتراوح في المجال $(-180^\circ) \leq \lambda \leq (+180^\circ)$ [8].

I-6-5) زاوية الانحراف الشمسي (δ):

تعرف بأنها المسافة الزاوية لأشعة الشمس بالنسبة لمستوي خط الاستواء وحسب الشكل (I-6) هي الزاوية بين الخط الواصل بين مركزي الأرض والشمس ومسقط هذا الخط على مستوي خط الاستواء و نتيجة للطبيعة الإهليلجية لمسار الأرض حول الشمس فإن قيم زاوية الانحراف تتغير بين $(+23.45^\circ)$ في الانقلاب الصيفي (-23.45°) في الانقلاب الشتوي، نتيجة لذلك فإن قيمة زاوية الانحراف (بالدرجات) لأي يوم بالسنة يمكن اعتبارها ثابتة وتحسب من العلاقة التجريبية التالية [2]:

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(\frac{360}{365} (284 + N_j)\right) \quad (1-4)$$

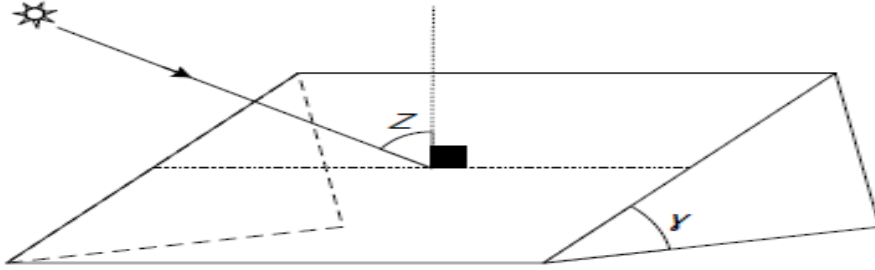
N_j : اليوم من السنة (1.....365).



الشكل (I-7): زاوية الارتفاع الشمسي و الذروة و السميت الرأسى (معلم سطح أرضي) [10].

I-6-6) زاوية ميل السطح المدروس (المنحدر) (γ):

وهي الزاوية بين السطح الذي يتلقى الإشعاع و مستوى الأرض الشكل (8-I) و قيمتها تتراوح في المجال $(0^\circ) \leq \gamma \leq (180^\circ)$ [8].



الشكل (8-I): زاوية ميل السطح المدروس (المنحدر) (γ) و زاوية السميت الشمسي الرأسية (Z) [8].

(7-6-I) زاوية السميت الشمسي الأفقية (α) :

وهي الزاوية المقاسة في المستوى الأفقي بين الجنوب و مسقط أشعة الشمس و قيمتها تتراوح في المجال $(-180^\circ) \leq \alpha \leq (+180^\circ)$ [8].

و تعطى بالعلاقة التالية [2]:

$$\cos a = \frac{\sin h * \sin \varphi - \sin \delta}{\cos h * \cos \varphi} \quad (1-5)$$

(8-6-I) زاوية الورود (السقوط) الشمسي (θ) :

هي الزاوية بين الشعاع الشمسي الوارد على السطح المدروس و الناظم المقام على هذا السطح يكون $(Z = \theta)$ ، و تتراوح في المجال $(0^\circ) \leq \theta \leq (180^\circ)$ و تعطى بالعلاقة [8]:

$$\cos(\theta) = \cos(h) \cos(\alpha) \sin(\gamma) + \sin(h) \cos(\gamma) \quad (1-6)$$

(9-6-I) الزاوية الساعية (ω) :

الزاوية الساعية لنقطة ما على سطح الأرض هي الزاوية الواجب أن تدورها الأرض لتضع خط طول هذه النقطة تحت الشمس مباشرة وحسب الشكل هي الزاوية المقاسة على مستوي خط الاستواء بين مسقط خط الطول ومسقط الخط الواصل بين مركزي الأرض والشمس [2].

الزاوية الساعية عند الظهيرة تساوي الصفر وتفرض موجبة بعد الظهر حيث إن تحرك الأرض على خط الطول يستغرق ساعة واحدة لذلك يمكن كتابة الزاوية الساعية بالدرجات كما يلي [9]:

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (1-7)$$

TSV : الوقت الشمسي الحقيقي .

الوقت الشمسي الحقيقي يساوي الوقت القانوني المصحح بواسطة الإزاحة بسبب الاختلاف بين خط الطول و للمكان و خط الطول المرجعي.

$$TSV = TL - DE + \left(\frac{E_t + 4\lambda}{60}\right) \quad (1-8)$$

TL : الوقت القانوني (تعطى بالساعة).

DE: فرق التوقيت عن خط الزوال غرينتش (يساوي 1 في الجزائر).

E_t : تصحيح معادلة الزمن .

λ : خط طول المكان .

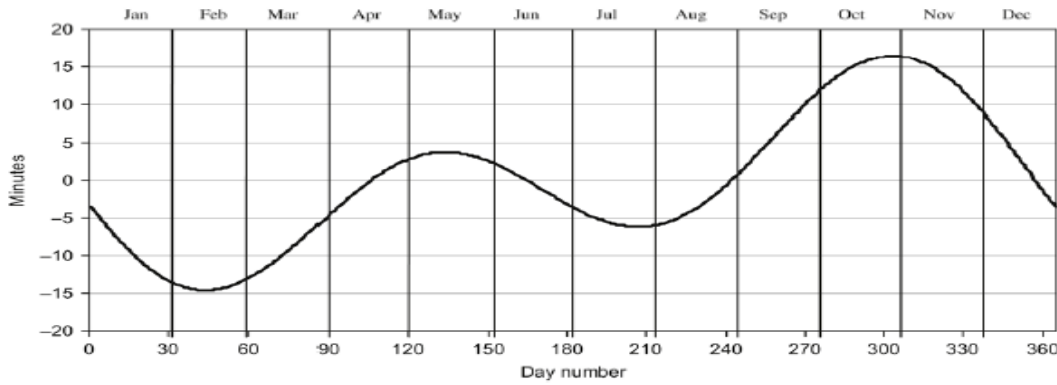
7-I معادلة التصحيح الزمني E_t :

تختلف السرعة المدارية للأرض على مدار العام، لذا فإن الوقت الشمسي الظاهر يختلف قليلاً عن متوسط الوقت الذي تحتفظ به ساعة تعمل بمعدل موحد، يسمى الاختلاف معادلة الوقت (E_t) حيث يمكن الحصول على قيم معادلة الوقت كدالة ليوم السنة (N) تقريباً من المعادلة التالية [7][13]:

$$E_t = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5N' \quad (1-9)$$

$$N' = \frac{360}{365}(N_j - 81) \quad (1-10)$$

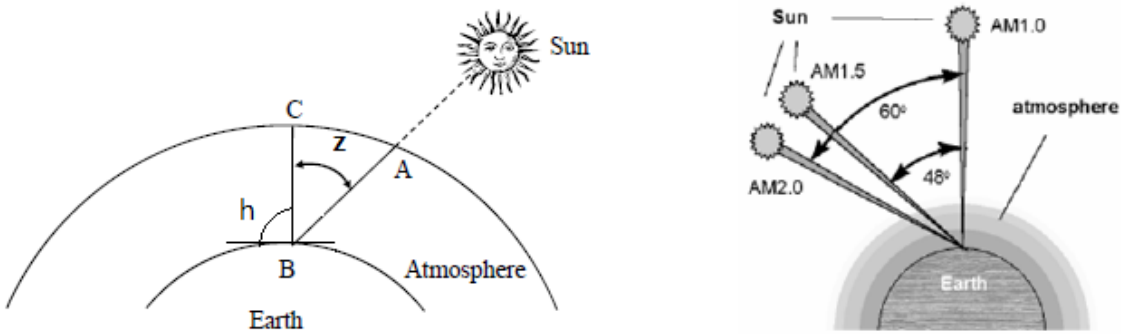
يظهر تمثيل رسومي للمعادلة أعلاه في الشكل (9-I) الذي يمكن من خلاله الحصول على معادلة الوقت مباشرة.



الشكل (I-9) : بيان تغيرات التصحيح الزمني خلال أيام السنة [7].

(8-I) الكتلة الهوائية الضوئية AM :

- الأرض محاطة بجو يحتوي على مكونات غازية مختلفة، غبار معلق، مواد دقيقة صلبة وسائلة وغيوم من أنواع مختلفة.
- لذلك ينقص الإشعاع الشمسي أثناء مروره عبر الغلاف الجوي قبل وصوله إلى سطح الأرض.
- يُفترض عمومًا أن تقليل الشدة مع زيادة زاوية ذروة الشمس يتناسب طرديًا مع الزيادة في كتلة الهواء، وهو افتراض يعتبر الغلاف الجوي غير منظم فيما يتعلق بامتصاص الشوائب أو نثرها.
- درجة التوهين من الإشعاع الشمسي الذي ينتقل عبر الغلاف الجوي للأرض يعتمد على طول المسار وخصائص الوسط الذي يتم اجتيازه.
- في حسابات الإشعاع الشمسي، تُعرّف كتلة هوائية معيارية واحدة على أنها طول المسار الذي يتم اجتيازه للوصول إلى مستوى سطح البحر عندما تكون الشمس في أوجها (العمودية عند نقطة المراقبة) [7].



الشكل (I-10): الكتلة الهوائية الضوئية [7].

ترتبط الكتلة الهوائية بزاوية الذروة Z ، دون النظر إلى انحناء الأرض بالمعادلة :

$$AM = \frac{AB}{BC} = \frac{1}{\sin h} \quad (1-11)$$

من أجل أشعة الشمس ناظمية ($h=90^\circ$) فإن الكتلة الهوائية = 1

يعبر عن كتلة الهواء في منطقة من سطح الأرض بالعلاقة التالية [7] :

$$m = \frac{P_m}{P_a} \frac{(0.88)}{\sin(h)}$$

I-9) الإشعاع الشمسي على سطح الأرض:

الإشعاع الشمسي الذي يستقبله سطح الأرض من بين الإشعاع المنبعث من الشمس، يخترق الغلاف الجوي للأرض و ينعكس جزء منه إلى الفضاء الخارجي و ينفذ الباقي إلى الغلاف الجوي، حيث يتم امتصاص جزء منه من طرف مكونات الغلاف الجوي و يتشتت جزء بفعل الانعكاسات على السحب و العوالق الصلبة (الغبار)، بينما يصل الباقي إلى سطح الأرض بشكل مباشر [10].

ينقسم الإشعاع الشمسي في العادة إلى ثلاثة أقسام:

I-9-1) الإشعاع الشمسي المباشر Beam Radiation :

هو الإشعاع الساقط من الشمس على شكل حزمي بدون أي انتشار أو تبعثر خلال الغلاف الجوي لذلك يكون اتجاهه ثابتا لا يتغير أثناء مروره بالغلاف الجوي [11].

تعطى عبارة الإشعاع الشمسي المباشر الوارد من الشمس إلى سطح الأرض ناظميا بعد اختراقه للغلاف الجوي بالعلاقة [10]:

$$I_b = I[a_0 + a_1 e^{-K \cdot AM}] \quad (1-13)$$

a_0 , a_1 و K ثوابت تجريبية تعطى من طرف Duffie و Beckman بالعلاقات التالية [10] :

$$a_0 = 0.94[0.4237 - 0.00821(6 - Z)^2] \quad (1-14)$$

$$a_1 = 0.98[0.5055 - 0.00595(6.5 - Z)^2] \quad (1-15)$$

$$K = 1.02[0.2711 - 0.01858(2.5 - Z)^2] \quad (1-16)$$

حيث: Z ارتفاع المنطقة فوق سطح البحر معبرا عنها بالكيلومتر (Km)، و AM الكتلة الهوائية الضوئية و I الثابت الشمسي، أما في حالة الإشعاع الشمسي المباشر الذي يرد بزاوية i على سطح مائل تعطى عبارته بالعلاقة [10]:

$$I_{bt} = I_b \cos i \quad (1-17)$$

I-9-2: الإشعاع الشمسي المنتشر Diffuse Radiation :

هو الإشعاع الشمسي الساقط من الشمس و الذي ينتشر و يتبعثر و يتغير اتجاهه أثناء مروره بالغلاف الجوي ينقسم الإشعاع المنتشر إلى جزئين، الأول هو الشعاع المنتشر في السماء و الثاني هو الشعاع المنعكس من محيط السطح (الأرض مثلاً) [11].

يشتمل الإشعاع الشمسي بفعل مكونات الغلاف الجوي وتعطى عبارته في حالة سطح أفقي بالعلاقة [10]:

$$I_d = I \sin h [0.2710 - 0.2939(a_0 + a_1 e^{-K \cdot AM})] \quad (1-18)$$

I-9-3: Global Solar Radiation الإشعاع الشمسي الكلي :

هو مجموع الإشعاع الشمسي المباشر و المنتشر [11].

$$G = I_b + I_d \quad (1-19)$$

و يحسب في حالة الإشعاع ناظمي $i=0$ بالعلاقة [10]:

$$G = (1270 - 56T_L)(\sin h)^{\frac{T_L+36}{33}} \quad (1-20)$$

حيث T_L معامل الاضطراب للغلاف الجوي و تعطى صيغته [10]:

$$T_L = 2.5 + 16\beta_A + 0.5 \ln w \quad (1-21)$$

حيث β_A معامل أنغيشتروم و w ارتفاع الماء المكثف و قيمهما تتغير حسب الحالة الجوية كما هو موضح بالجدول [10]:

الجدول (I-1): قيم معامل الاضطراب و ارتفاع الماء المكثف.

سماء صافية	سماء متوسطة	سماء مضطربة	
0.05	0.1	0.2	β_A
1cm	2cm	5cm	w

يتكون الجو شكلياً من أربع طبقات، الطبقة الجوية السفلية التي تمتد من سطح الأرض إلى ارتفاع يتراوح بين [10-15km] وتليها طبقة السكاك وهي تمتد إلى 100 كم ويوجد بعدها الجو المؤين ثم الجو الخارجي الأقصى الذي يفتح على الفضاء [1].

• استنزاف الإشعاع الشمسي في حالة صفاء الجو:

عندما يكون الجو صافياً، يستنزف الإشعاع الشمسي بالظروف التالية :

أولاً: امتصاصه من طرف بخار الماء وجزيئات الأكسجين وغاز الأوزون وثاني أكسيد الكربون حسب أطوال أمواج معينة.

ثانياً: التشتيت "Scattering" يتكون الجو من العديد من الهباءات (جزيئات بعض الغازات، غبار، قطرات من الماء) وهكذا ولكن حجم الفراغ الكائن بين الهباءات أكبر بكثير من حجم الهباءات نفسها كل هباءة تعمل كعائق أمام سير الإشعاع الذي يجوب الجو، تماماً كالحجارة أمام أمواج الماء تعيقها من الاستمرار في التقدم، تتغير الأمواج وتبدو كأنها منطلقة من العوائق نفسها وكذلك فان الهباءات في الجو تعيق تقدم أمواج الإشعاع وتغير اتجاهها إلى كل ناحية، وهذا ما يسمى بالتشتيت، وهما نوعان

(1) تشتيت رالي : **Scattering Rayleigh** ويكون بواسطة جزيئات الهواء أو الغازات التي أحجامها صغيرة

جداً مقارنة مع أطوال أمواج الإشعاع.

(2) تشتيت ماي : **Scattering Mie** ويكون بواسطة جزيئات أكبر من طول موجة الإشعاع مثل جزيئات

الغبار التي هي أكبر من جزيئات الهواء ويختلف تركيزها من مكان إلى آخر وحسب ارتفاعها ومن وقت لآخر

ولذلك فانه من الصعب حساب مقدار التشتت الماي رياضياً [1].

• استنزاف الإشعاع الشمسي في الجو الغائم :

ويواجه الإشعاع عائقاً آخر في طريقه إلى سطح الأرض، ألا وهو السحاب ويكون الاستنزاف للإشعاع الشمسي والجو

غائم أكبر ما يمكن، حيث أن معظم الإشعاع ينعكس للخارج نحو الفضاء وجزء منه تمتصه السحب وينبعث الجزء المتبقي

للأسفل نحو الأرض على شكل إشعاع منتشر حيث إن معظم أنواع السحاب ذات انعكاسية جيدة وامتصاصية قليلة للطاقة

المشعة وان قدرة السحاب على عكس الإشعاع تعتمد على كثافة السحب وعلى حجم جزيئات السحب، هل هي قطرات

ماء أم ثلج وعلى أحجام هذه الجزيئات وان انعكاسية السحب قد تقل عن 50% وقد تزيد لتصل إلى 80% ولا يزيد ما

تمتصه السحب من الإشعاع الواصل إليها عن 10% وان معظم ما لا تعكسه الغيوم يخرقها [1].

• الانعكاس وعاكسية الأرض (الببدو **albedo**) ρ_{ground} :

عندما يصل الإشعاع إلى الأرض يتأثر بها أيضاً، و سطح الأرض عاكس رديء وتعتمد عاكسية الأرض على نوع التربة

حيث ويستقبل اللاقط الشمسي الإشعاع الشمسي الكلي **global** من السماء وكذلك يستقبل الإشعاع الشمسي المنعكس

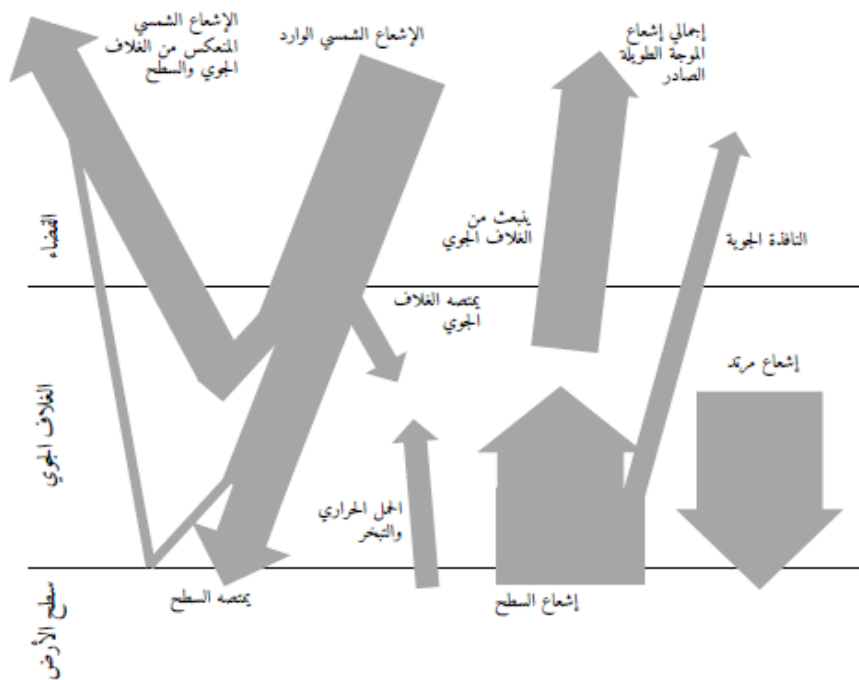
من الأرض، إن مقدار الإشعاع المنعكس من الأرض يعتمد على معامل الانعكاس للأرض والذي يعرف بالببدو

ρ_{ground} و تتراوح قيمته بين 0.2 للحالة العادية و 0.7 عند تواجد الثلوج و الجدول التالي يبين بعض المواد التي توجد

على الأرض و قدرتها على عكس الإشعاع [1].

الجدول (I-2): عاكسية "Reflectivity" Albedo لبعض السطوح [1].

العاكسية	
50 % إلى 55 %	معدل جميع أنواع الغيوم
17 % إلى 27 %	الخراسانة
5 % إلى 15 %	المزروعات الخضراء
5 % إلى 10 %	الغابات
10 % إلى 20 %	المراعي الخضراء
14 % إلى 17 %	حقل محروث رطب
5 % إلى 10 %	طريق اسفلت اسود
34 % إلى 40 %	رمل ابيض
75 % إلى 90 %	ثلج حديث
45 % إلى 70 %	ثلج قديم
5 % إلى 15 %	تربة داكنة
25 % إلى 30 %	تربة كالصحراء
8 %	الماء ويعتمد على اتجاه الشمس



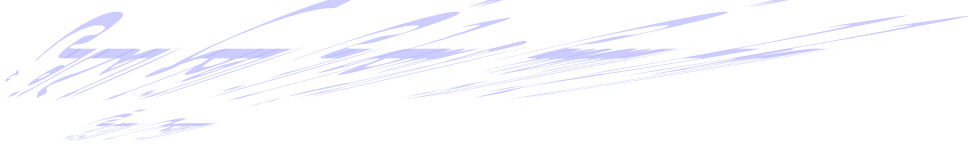
الشكل (I-11): مخطط يوضح اتزان الإشعاع الشمسي والطاقة للأرض [12].

الخاتمة:

قمنا في هذا الفصل بالتعرف على الإشعاع الشمسي الذي هو مصدر الطاقة الرئيسي بالنسبة للأرض حيث يمكننا مضاعفته بواسطة المركبات الشمسية ثم تحويله حراريا بواسطة المجمعات الشمسية من خلال امتصاص الحرارة و تحويلها إلى المائع الناقل للحرارة لاستغلالها في مجالات مختلفة و هذا ما سنتعرف عليه في الفصل الموالي .

الفصل الثاني

المركز الشمسي الأسطواني القطع المكافئ



(1-II) المقدمة :

تركيز الطاقة الشمسية (CSP) هو عملية إنتاج الطاقة الكهربائية عن طريق تحويل طاقة الشمس إلى حرارة شديدة باستخدام تكوينات مرايا مختلفة، تقوم بإنتاج البخار المضغوط الذي يؤدي إلى تدوير محرك حراري (عادة توربين بخاري) متصل بمولد طاقة كهربائية أو تقوم بتنشيط تفاعل كيميائي حراري، وتتنوع أشكال هذه المرايا وطرق تتبعها للشمس فنجد القطع الأسطواني المكافئ (PTC) والذي سنتطرق إليه في هذا الفصل وكذلك نعرف هندسته وتركيبه و طريقة عمله.

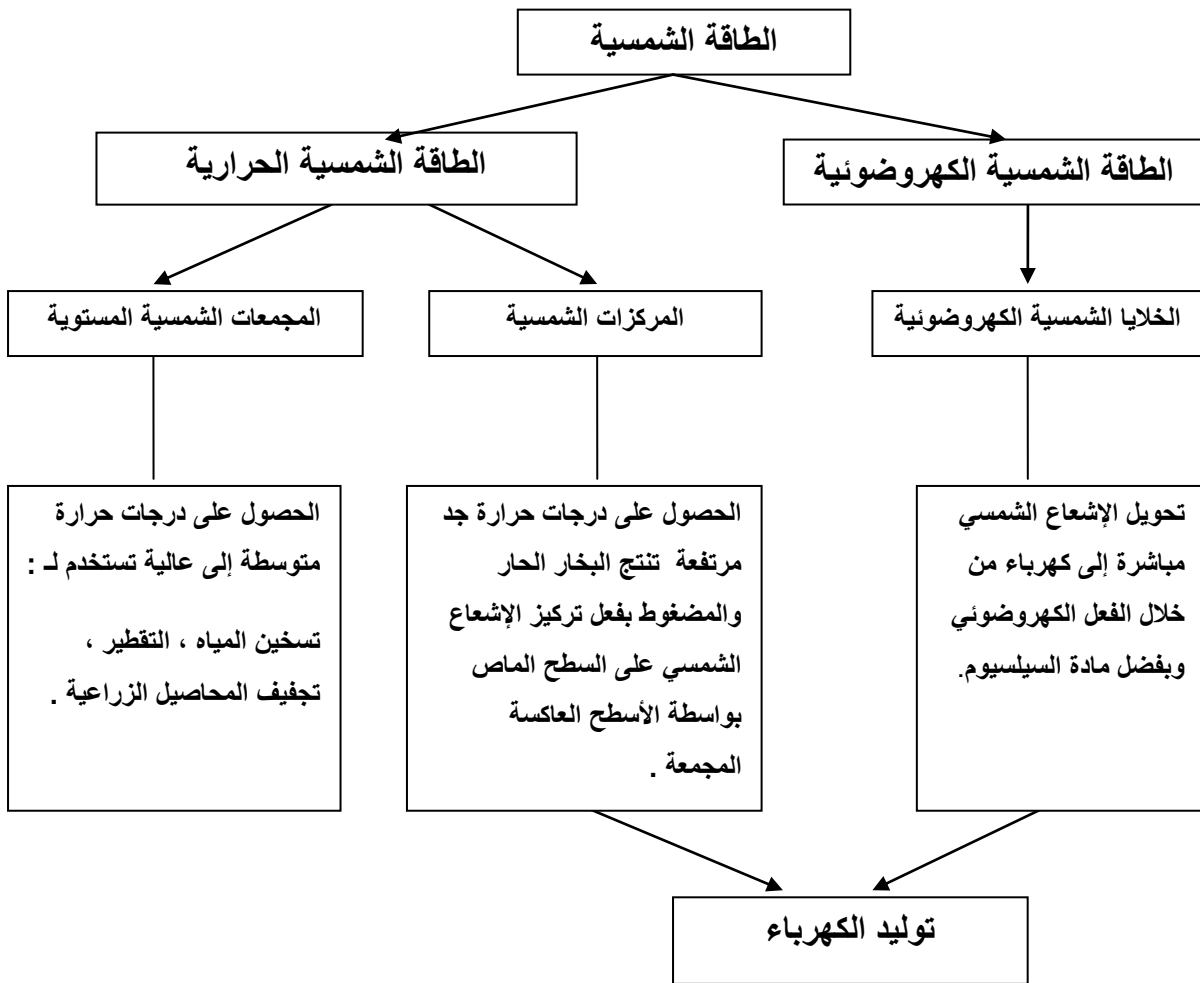
(2-II) نظرة تاريخية حول استغلال الطاقة الشمسية:

الشمس هي مصدر واضح للطاقة التي طالما جذبت الاهتمام كمصدر أساسي للحرارة، فنجد أن ألمانيا وإسبانيا هما الدولتان الوحيدتان اللتان تمثل فيهما الطاقة الشمسية أكثر من 1 في المائة من الكهرباء المولدة، على الرغم من أن الشمس كانت تسطع في كل مكان على هذا الكوكب، إلا أن التوزيع المكاني لقدرة الطاقة الشمسية كان غير منتظم، ولم يكن مرتبطاً بشكل جيد بالموارد، ألمانيا الملبدة بالغيوم لديها قدرة كهروضوئية مركبة أكثر من بقية العالم مجتمعة، بعد أن تركزت في المقام الأول في الولايات المتحدة لعقود من الزمان، فإن ثلثي الإنتاج الآن في آسيا [13].

ظهرت التجارب الأولى في مجال الطاقة الشمسية المركزة في نهاية القرن التاسع عشر (المعرض العالمي لعام 1878، في القرن العشرين تم تصميم أولى أنظمة القطع المكافئ المنتجة للبخار، و في نهاية السبعينيات تم تطوير مشاريع تجريبية لمحطات الطاقة الشمسية المركزة في الولايات المتحدة، روسيا، اليابان وأوروبا، وشهدت الثمانينيات بداية البناء الشامل لهذه المحطات في صحراء كاليفورنيا اليوم، تطورت تكنولوجيا الطاقة الشمسية الديناميكية الحرارية بشكل كبير والعديد من المشاريع حيث أن الطاقة الشمسية الديناميكية الحرارية هي أحد تقييمات الإشعاع الشمسي المباشر و تتكون هذه التقنية من تركيز الإشعاع الشمسي لتسخين سائل إلى درجة حرارة عالية وبالتالي إنتاج الكهرباء أو توفير الطاقة للعمليات الصناعية [14].

إستخدام أرخميدس ألواح معدنية مصقولة عاكسة لتركيز ضوء الشمس على الأسطول الروماني الغازي وصددهم من سيراكيوز في عام 1973، استخدم أگست موتشوت حوضاً مكافئاً لإنتاج البخار لأول محرك بخار شمسي تم الحصول على أول براءة إختراع لتجميع الطاقة الشمسية من قبل اليساندرو باتاليا الإيطالي في إيطاليا عام 1886، على مدار السنوات التالية قام المستثمرون مثل جون إركسن و فرانك شومان بتطوير أجهزة تعمل بالطاقة الشمسية المركزة من أجل الري، التبريد والتحرك و في عام 1913 أنهى شومان محطة بشكل قطع مكافئ (الطاقة الشمسية الحرارية) ذات 55 حصان في المعادي للري في مصر حيث تم بناء أول نظام للطاقة الشمسية باستخدام طبق مرآة من قبل دكتور R.H. جودارد، الذي كان معروفاً بالفعل بأبحاثه حول الصواريخ التي تعمل بالوقود السائل وكتب مقالاً في عام 1929 أكد فيه أن جميع العقبات السابقة قد تمت معالجتها [15] قام الأستاذ جيوفاني فرانسيا (1911-1980) بتصميم وبناء أول محطة للطاقة الشمسية المركزة والتي دخلت حيز التنفيذ في سانت إلاريو بالقرب من جنوب إيطاليا في عام 1968، وكان لهذا المصنع تصميم معماري لمحطات برج الطاقة اليوم مع مستقبل للطاقة

الشمسية في مركز حقل لتجميع الطاقة الشمسية حيث كان المصنع قادرًا على إنتاج 1 MW مع بخار ساخن عند 100 بار و 500°C، ثم تم تطوير برج الطاقة في جنوب كاليفورنيا، كانت تقنية الحوض المكافئ القريبة من أنظمة توليد الطاقة الشمسية (SEGS) التي بدأت في عام 1984 أكثر قابلية للتطبيق حيث كانت SEGS التي تبلغ طاقتها 354 MW أكبر محطة للطاقة الشمسية في العالم، حتى عام 2014، لم يتم إنشاء أي من الطاقة الشمسية المركزة تجاريًا منذ عام 1990 عندما تم الانتهاء من SEGS حتى عام 2006 حيث تم بناء نظام عاكس فرينيل الخطي المضغوط في محطة كهرباء ليدل في أستراليا و تم بناء عدد قليل من المصانع الأخرى مع هذا التصميم حيث تم افتتاح مصنع كيمبرلينا للطاقة الشمسية الحرارية 5 MW في عام 2009 و تصميم حوض و أول مصنع كبير منذ إنشاء SEGS بين عامي 2009 و 2013، حيث بنت إسبانيا أكثر من 40 نظام حوض مكافئ موحد من كتل 50 MW [15].



الشكل (II-1): مخطط يوضح استخدام الطاقة الشمسية.

II-3) تكنولوجيا التركيز الشمسي:

الطاقة الشمسية المركزة (CSP) هي على نطاق واسع الطريقة التجارية لتوليد الكهرباء من خلال الطاقة الشمسية حيث تتألف أنظمة الطاقة الشمسية المركزة من أسطح عاكسة ذات محرق خطي أو نقطي لتركز الإشعاع الشمسي المباشر على سطح امتصاص يسري به مائع حراري ومن ثم توليد البخار الحار والمضغوط، هذه التقنيات مناسبة للمناطق التي يوجد فيها إشعاع شمسي مباشر كما أن عدد الأيام المشمسة الصافية في السنة مرتفع.

تنتج أنظمة الطاقة الشمسية المركزة الحرارة أو الكهرباء باستخدام المئات من المرايا / العاكسات لتركيز الإشعاع الشمسي إلى درجة حرارة تتراوح عادة بين 400 درجة مئوية و 1000 درجة مئوية، تؤدي هذه الطاقة الحرارية إلى تشغيل دورات رانكين أو برايتون أو ستيرلنج وأخيراً يتم تحويل الطاقة الميكانيكية إلى الكهرباء من خلال مولد كهربائي، وبذلك تحقيق نظام التحويل الطاقوي، نظام التخزين الحراري (اختياري) ونظام هجين (اختياري).

المكثف هو العنصر الذي يركز (نسبة التركيز 20-2000 مرة) ويسقط الإشعاع الشمسي المباشر الممتص على مساحة صغيرة، يقاس أداءه بالكفاءة الضوئية التي تعتمد على الإرسال والاعتراض والامتصاص والتظليل في مسار الإشعاع الشمسي المباشر حيث يولد المستقبل أو أنبوب الامتصاص الطاقة الحرارية من الإشعاع الشمسي المباشر الذي يتم تجميعه بواسطة المكثفات حيث يتدفق مائع نقل الحرارة (HTF) عبر مستقبلات الطاقة الشمسية التي قد تكون الماء، الأملاح المنصهرة، الزيت الاصطناعي، الهواء، الهيليوم والنيروجين وما إلى ذلك و هناك عائلات رئيسية لتكنولوجيا الطاقة الشمسية المركزة والتي يمكن تصنيفها من خلال طريقة تركيزها لأشعة الشمس والتقنية المستخدمة لتلقي طاقة الشمس [16].

II-4) المركبات الشمسية :

II-4-1) تعريف المركبات الشمسية:

هي عبارة عن أجهزة تجمع الإشعاع الشمسي من خلال وتركيزه في نقطة محورية واحدة، وتتكون هذه الأجهزة بشكل أساسي من مجموعة سلاسل من العدسات أو المرايا، مستقبل للحرارة ونظام تتبع حيث يعتمد أداء المركز على شدة الإشعاع الشمسي، زاوية سقوط الإشعاع، الموقع النسبي للشمس و المفاعل المراد تسخينه، والتنوع في هذه المركبات يوفر لنا العمل في نطاقات درجات حرارة مختلفة [17].

II-4-2) نسبة التركيز الشمسي:

تختلف التقنية الكامنة وراء الطاقة الشمسية المركزة عن الأنظمة الكهروضوئية (PV) حيث الفرق الرئيسي هو أن أنظمة الطاقة الشمسية المركزة تستخدم الشمس كمصدر للطاقة الحرارية بدلاً من طاقة الفوتون لتوليد الكهرباء على الفور و كما ذكرنا سابقاً،

تستخدم تقنية (CSP) مرايا أو عدسات لتركيز مساحة كبيرة من ضوء الشمس على جهاز الاستقبال، بعد وصول ضوء الشمس إلى جهاز الاستقبال، سيتم توجيهه إما مباشرة إلى وحدة الطاقة (توربينات البخار) أو البقاء في صهاريج التخزين حيث يمكن تخزين الحرارة واستخدامها عند الحاجة، يمكن بعد ذلك استخدام الحرارة المجمعة في المستقبل كطاقة حرارية أو لتوليد الكهرباء، عادةً من خلال دورة توربينات بخارية متصلة بمولد طاقة كهربائية، بحيث يتركز إشعاع الشمس على نقطة أو على خط يتم فيه نقل الطاقة الحرارية إلى سائل نقل الحرارة (HTF).

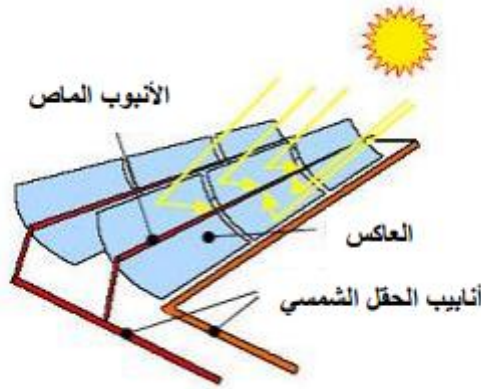
يوجد حاليًا فئتان أساسيتان لتركيز تقنيات الطاقة الشمسية هما [18]: نسبة التركيز الخطي ونسبة التركيز النقطي.

II-4-2-1) نسبة التركيز الخطي:

تحتوي المراكز الشمسية ذات التركيز الخطي على عاكسات تركز الإشعاع الشمسي على جهاز استقبال خطي [19]، وتحقق نسبة تركيز بين 30 و80 [18]، تقنيتا التركيز السائدتان هما الأسطواني القطع مكافئ (PTC) و عاكس فرينل الخطي (LFR)، يقترب مكثف فرينل الخطي من حوض مكافئ من خلال وجود عاكسات مستقلة بدلاً من سطح عاكس في حين قد يكون هناك فقدان للكفاءة الضوئية من وجود عاكسات مستقلة [19].

II-4-2-1-1) المركز الشمسي الأسطواني القطع المكافئ PTC :

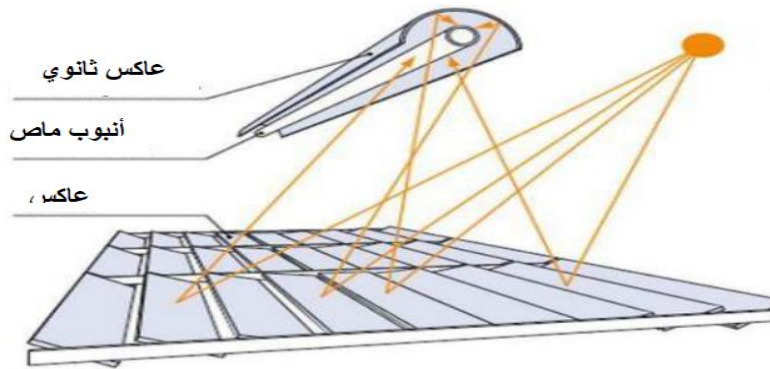
يتكون نظام (PTC) من سطح عاكس اسطواني قطع مكافئ، تعمل أنابيب الفولاذ المقاوم للصدأ (أنابيب الامتصاص) ذات الطلاء الانتقائي كمجمعات الحرارة حيث تم تصميم الطلاء للسماح للأنابيب بامتصاص مستويات عالية من الإشعاع الشمسي بينما تصدر القليل جداً من الأشعة تحت الحمراء، محاط بأنبوب زجاجي مفرغ من الهواء، تتحرك العواكس وأنابيب الامتصاص جنباً إلى جنب مع الشمس أثناء عبورها السماء لذلك تعتمد جميع محطات القطع المكافئ حالياً في العمليات التجارية على الزيت الاصطناعي كالمسائل الذي ينقل الحرارة (HTF) من أنابيب التجميع إلى المبادلات الحرارية، ويمكن استخدام الزيت المعدني أو الماء أو الملح المصهور على شكل HTF، يعمل البخار المحمص على تشغيل التوربينات، والتي تعمل على تشغيل مولد لإنتاج الكهرباء بعد تبريده وتكثيفه حيث يعود الماء إلى المبادلات الحرارية، تعد PTC أكثر تقنيات الطاقة الشمسية المركزة نضجاً وتشكل الجزء الأكبر من المصانع التجارية الحالية حيث تضم PTC حوالي 94% من السعة المنفذة بحوالي 1.18 جيجا وات في جميع أنحاء العالم علاوة على ذلك أكثر من 90% من المشاريع [16].



الشكل (2-II): المركز الأسطواني القطع المكافئ [16].

II-4-2-1-2) عدسات عاكس فريزل الخطي (LFR) :

عاكس فريزل الخطي (LFR) هو في الأساس صفوف من العاكسات شبه المسطحة التي تركز الإشعاع الشمسي على مستقبلات خطية مقلوبة مرتفعة وهي تقنية تتبع أحادية المحور، يتدفق الماء عبر أجهزة الاستقبال ويتحول إلى بخار [16].



الشكل (3-II): عاكس فريزل الخطي (LFR) [16].

II-4-2-4-2) نسبة التركيز النقطة :

تحتوي أنظمة التركيز النقطة على عاكسات تركز الإشعاع الشمسي على جهاز استقبال مركزي يمثل بشكل فعال نقطة مقارنة بالعاكس، التقنيتان المستخدمتان هما أنظمة الصحن القطع مكافئ (DP) [19] الذي تصل نسبة التركيز فيها إلى 800 [18] وأنظمة الاستقبال المركزية (CRS) المعروفة باسم الأبراج الشمسية [19] الذي تصل نسبة التركيز فيها إلى 2000 [18]، حيث يحتوي البرج الشمسي على جوانب عاكسة مستقلة، تُعرف باسم المرايا العاكسة (الهليوستات).

II-4-2-2-1) البرج المركزي الشمسي (المستقبل المركزي) (CRC):

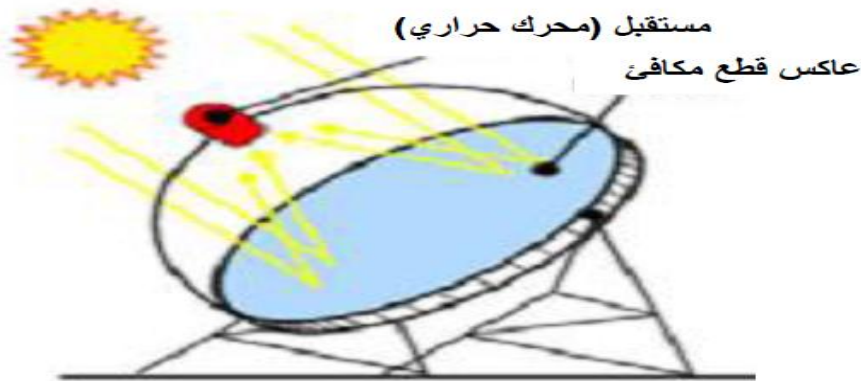
تستخدم الأبراج الشمسية المعروفة أيضاً باسم أنظمة الاستقبال المركزية (CRS)، مئات أو آلاف العواكس الصغيرة (تسمى الهليوستات) لتركيز أشعة الشمس على مستقبل مركزي يوضع فوق برج ثابت، يستخدم البعض الأملاح المنصهرة كسائل نقل الحرارة ووسيط التخزين، يمتص وسيط (HTF) في هذا المستقبل المركزي الإشعاع عالي التركيز الذي تعكسه المظلات الشمسية ويحوّله إلى طاقة حرارية تُستخدم لتوليد بخار شديد السخونة للتوربين، تشتمل وسائط نقل الحرارة الموضحة على الماء / البخار والأملاح المنصهرة والهواء [16].



الشكل (II-4): البرج المركزي الشمسي CRC [16].

II-4-2-2-2) المركز الشمسي الصحن القطع المكافئ (DP):

تركز أطباق القطع المكافئ أشعة الشمس في نقطة محورية فوق مركز الطبق، يتتبع الجهاز بأكمله أشعة الشمس، تحتوي معظم الأطباق على محرك / مولد مستقل يشتغل بالغاز (مثل آلة ستيرلينغ أو توربين صغير) في نقطة التركيز، يلغي هذا التصميم الحاجة إلى سائل نقل الحرارة وإلى مياه التبريد [16].



الشكل (II-5): الصحن القطع المكافئ DP [16].

II-5) آلية عمل المراكز الشمسية:

تقوم المراكز الشمسية باستقبال الإشعاع الشمسي المباشر الوارد على أسطح العاكس ليتم تركيزه في البؤرة النقطية أو الخطية ثم يستقبل الإشعاع الشمسي المركز على سطح الماص لينتقل إلى المائع الناقل للحرارة الذي ترتفع درجة حرارته ويتحول إلى بخار تحت ضغط مرتفع وفي النهاية يستغل في توليد الكهرباء من خلال التربين، وتكون فعالية المراكز الشمسية جد عالية في الزوال (11^h 15^h) والتي توافق شدة تدفق إشعاع شمسي كبيرة حيث يعتمد مبدأ التشغيل على الخطوات التقنية التالية:

- ✓ تركيز الإشعاع الشمسي على سطح المستقبل (الماص) المثبت في البؤرة.
- ✓ امتصاص الإشعاع الشمسي من طرف المستقبل وتحويل الطاقة إلى حرارة.
- ✓ نقل هذه الحرارة إلى المائع وسيط التسخين ثم تخزينها عند الحاجة.
- ✓ تحقيق دورة ترموديناميكية ترتبط بمنوب لتوليد الكهرباء.

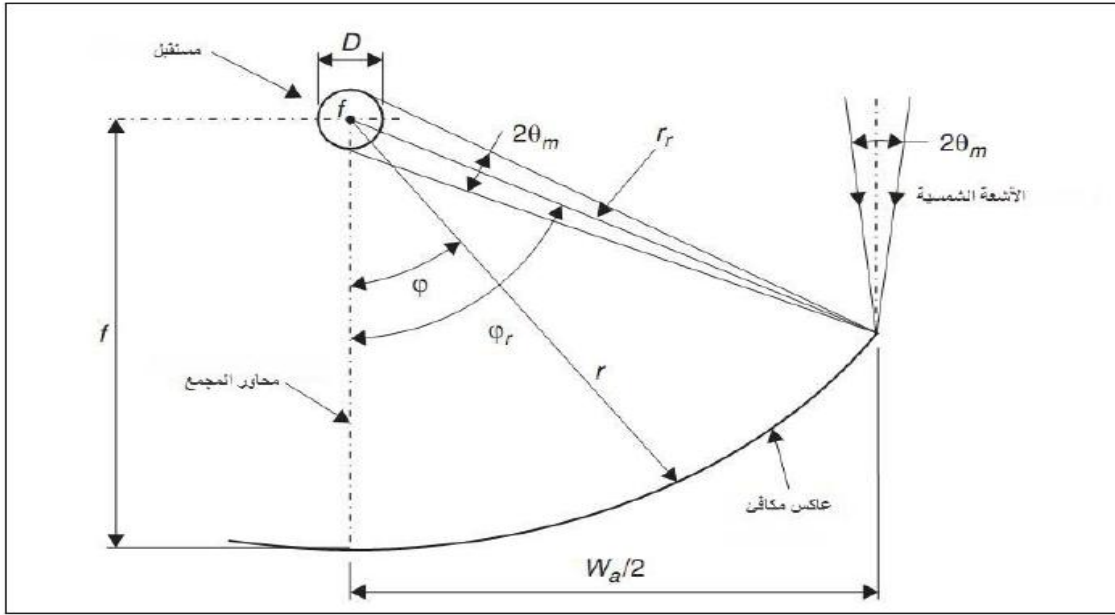
II-6) هندسة المركز الأسطواني القطع المكافئ PTC :

يبين الشكل مقطع عرضي في مجمع الحوض المكافئ، حيث يسقط الإشعاع الوارد على جهاز إستقبال متمركز على طول الخط البؤري للعاكس، أنظر الشكل (II-6):

تعطى معادلة قطع المكافئ في نظام الإحداثيات بالمعادلة التالية [20]:

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

حيث F هو البعد البؤري لقطع المكافئ (m).



الشكل (6-II): مقطع عرضي للمجمع حوض المكافئ [21].

II-6-1) زاوية الحافة ϕ_r :

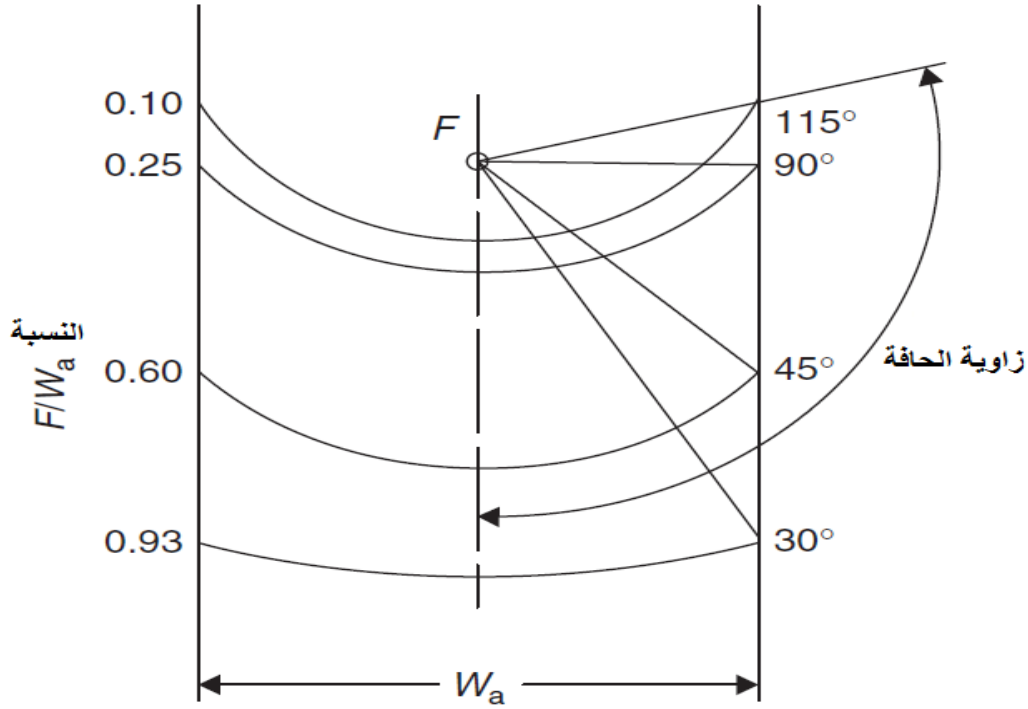
هي الزاوية المحصورة بين القطر الأعظمي للعاكس r_r و الخط المركزي للمجمع المركز، كما هو مبين في الشكل (2-9) ، وتعطى بالعلاقة التالية [22] :

$$\phi_r = \tan^{-1} \left[\frac{8 \left(\frac{F}{w_a} \right)}{16 \left(\frac{F}{w_a} \right)^2 - 1} \right] = \sin^{-1} \left(\frac{a}{2r} \right) \quad (2-2)$$

حيث r نصف قطر حافة العاكس .

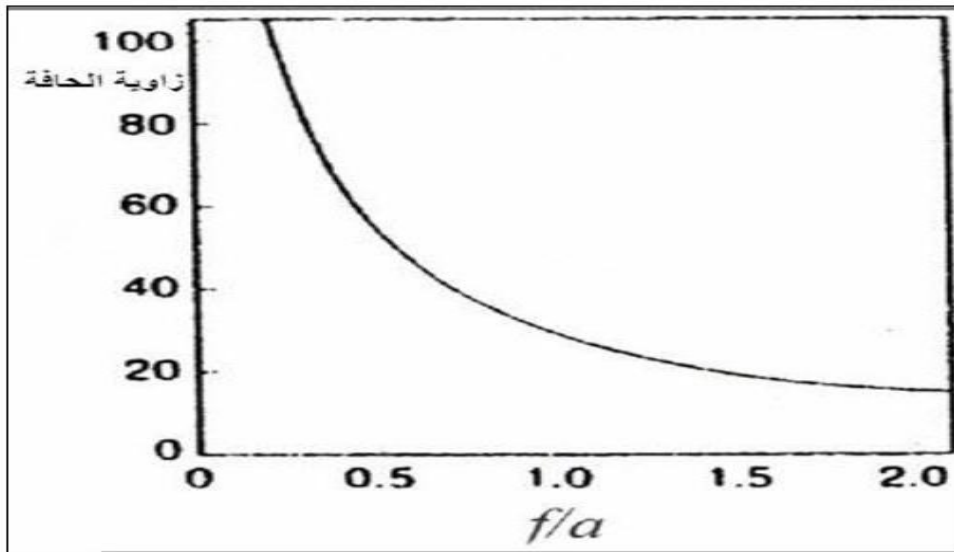
II-6-2) زاوية القبول :

هي الزاوية بين مركز الإشعاع المنعكس من حافة العاكس إلى المحرق ومحور المركز وتكون أكبر قيمة لانحراف الشعاع المنعكس [23] ، حيث تقل مساحة سطح المجمع مع تناقص زاوية الحافة، وبالتالي هناك دافع لاستخدام زوايا حواف أصغر لأن نسبة الكفاءة الضوئية صغيرة، لكن التوفير في تكلفة المواد العاكسة كبير [15].



ت
:

الشكل (7-II): العلاقة بين زاوية الحافة و نسبة البعد البؤري إلى عرض الفتحة $\left(\frac{F}{W_a}\right)$ [15].



الشكل (8-II): زاوية الحافة φ_1 كدالة لنسبة البعد البؤري إلى فتحة المجمع [24].

II-6-3) حساب نصف قطر العاكس :

من أجل عاكس مكافئ نصف قطره r تعطى العلاقة التالية [21]:

$$r = \frac{2F}{1+\cos \varphi} \quad (2-3)$$

φ : هي زاوية بين محاور المجموع والشعاع المنعكس عند البؤرة وهي تتغير من 0 إلى φ_r ، ونصف القطر يزداد من 0 إلى r_r .

II-6-4) حساب نصف قطر الحافة :

عند زاوية الحافة φ_r يصبح r [15]:

$$r_r = \frac{2F}{1+\cos \varphi_r} \quad (2-4)$$

II-6-5) حساب عرض الفتحة :

يعطى عرض الفتحة بالعلاقة التالية [15]:

$$W_a = 2r_r \sin(\varphi_r) \quad (2-5)$$

بتعويض العلاقة (2-5) في العلاقة (2-6) نجد :

$$W_a = \frac{4f \sin(\varphi_r)}{1+\cos(\varphi_r)} \quad (2-6)$$

بالتبسيط تصبح معادلة عرض المركز :

$$W_a = 4f \tan\left(\frac{\varphi_r}{2}\right) \quad (2-7)$$

II-6-6) مساحة الفتحة A_{ap} :

وهي المساحة التي تستقبل الإشعاع الشمسي المباشر، وتعطى بالعلاقة [25]:

$$A_{ap} = W_a L \quad (2-8)$$

L : طول المجموع الشمسي .

W_a : عرض الفتحة .

II-6-7) التركيز الهندسي :

بالنسبة للمستقبل الأنبوبي، يتم إعطاء نسبة التركيز و التي هي نسبة مساحة فتحة العاكس إلى مساحة المستقبل (الأنبوب الماص) بالعلاقة التالية [26]:

$$C = \frac{A_{ap}}{A_r} = \frac{(W_a - D)L}{\pi DL} = \frac{(W_a - D)}{\pi D} \quad (2-9)$$

A_r : مساحة المستقبل (الأنبوب الماص).

II-6-8) مساحة سطح العاكس A_{ref} :

$$A_{ref} = L.S \quad (2-10)$$

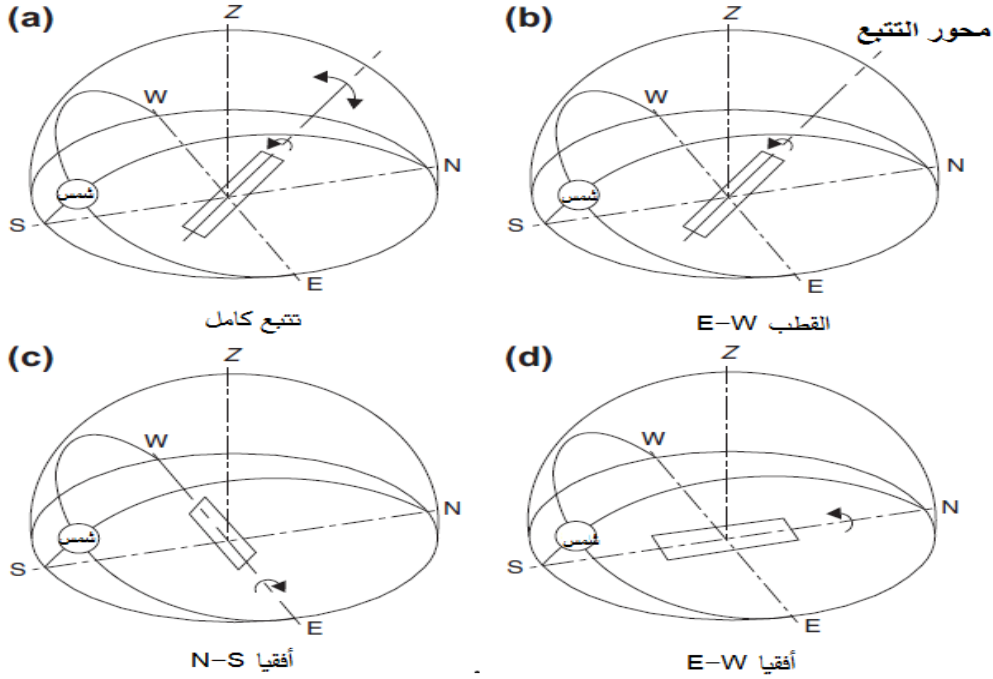
II-6-9) حساب طول المركز القطعي [22] :

$$S = \frac{H_p}{2} \left[\sec\left(\frac{\varphi_r}{2}\right) \tan\left(\frac{\varphi_r}{2}\right) + \ln\left(\sec\left(\frac{\varphi_r}{2}\right) + \tan\left(\frac{\varphi_r}{2}\right)\right) \right] \quad (2-11)$$

II-7) التتبع الشمسي :

بالنسبة لحالة المجمعات التي تركز على الطاقة الشمسية، عادة ما يتم استخدام آلية التتبع لتمكين المجمع من متابعة الشمس خلال أوقات شروقها وغروبها وكذلك خلال أيام السنة و يتم ذلك بدرجات متفاوتة من الدقة، وأنماط التتبع كما هو موضح في الشكل (II-11)، حيث يمكن تصنيف أنظمة التتبع حسب طريقة حركتها في تتبع الشمس يمكن أن يكون هذا حول محور واحد أو حول محورين (الشكل (II-11) (a)) في حالة الوضع أحادي المحور، يمكن أن تكون الحركة بعدة طرق :

موازية لمحور الأرض (الشكل (II-11) (b))، أو بين الشمال والجنوب (الشكل (II-11) (c))، أو من الشرق إلى الغرب (الشكل (II-11) (d)).



الشكل (9-II): أشكال التتبع الشمسي [15].

II-7-1) التتبع الشمسي بمحورين دوران :

بالنسبة لآلية تتبع ذات محورين، فإن إبقاء السطح المعني موجهاً بشكل مستمر لمواجهة الشمس (انظر الشكل (11-II)) في جميع الأوقات له زاوية θ [15]، حيث زاوية السقوط الزاوية بين الإشعاع المباشر الساقط والعادي لسطح فتحة المكثف، لأي مستوى ثابت، يتم تحديد جيب التمام لزاوية السقوط في حالة التتبع الكامل بالعلاقة التالية [27]:

$$\cos(\theta) = 1 \quad (2-12)$$

II-7-2) التتبع الشمسي بمحور دوران واحد :

في حالة التتبع الشمسي على طول محور الأرض بميل يساوي خط عرض الموقع (قطبي شرق-غرب) (انظر الشكل (11-II)) (b) [27]:

$$\cos \theta = \cos \delta \quad (2-13)$$

في حالة التعقب الشمسي على طول المحور الأفقي بين الشرق والغرب، يكون أنبوب المستقبل للمكثف موازاً لمحور الشمال والجنوب (انظر الشكل (11-II)) (c) [27]:

$$\cos \theta = \sqrt{(\cos(\delta) \sin(\varphi) \cos(w) - \cos(\delta) \cos(w))^2} \quad (2-14)$$

في حالة التعقب الشمسي على طول المحور الأفقي الشمالي الجنوبي، يكون أنبوب الاستقبال للمكثف موازٍ لمحور الشرق والغرب (انظر الشكل (II-11) (d)) [27]:

$$\cos \theta = \sqrt{1 - \cos^2(\delta) \sin^2(w)} \text{ ou } \cos \theta = \sqrt{\sin^2(\delta) + \cos^2(\delta) \cos^2(w)} \quad (2-15)$$

II-7-3) حالة عدم التتبع (تثبيت المجموع الشمسي) :

زاوية سقوط الشمس θ ، هي الزاوية بين الإشعاع الشمسي والعادي على سطح ما بالنسبة للمستوى الأفقي، فإن زاوية السقوط θ وزاوية السمات a بالتعبير العام التالي لزاوية السقوط [15]:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin(\varphi) \sin(\delta) \cos(\beta) - \cos(\varphi) \sin(\delta) \sin(\beta) \cos(a) \\ & + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(w) \cos(\beta) \\ & + \sin(\varphi) \cos(\delta) \cos(w) \sin(\beta) \cos(a) \\ & + \cos(\delta) \sin(w) \sin(\beta) \sin(a) \end{aligned} \quad (2-16)$$

β = زاوية ميلان السطح .

a : زاوية السمات .

في حالة الأسطح الأفقية $\beta = 0^\circ$ تعطى زاوية الورود بالعلاقة [15]:

$$\cos \theta = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(w) \quad (2-17)$$

من أجل سطح مائل موجه للجنوب $a=0^\circ$ [15]:

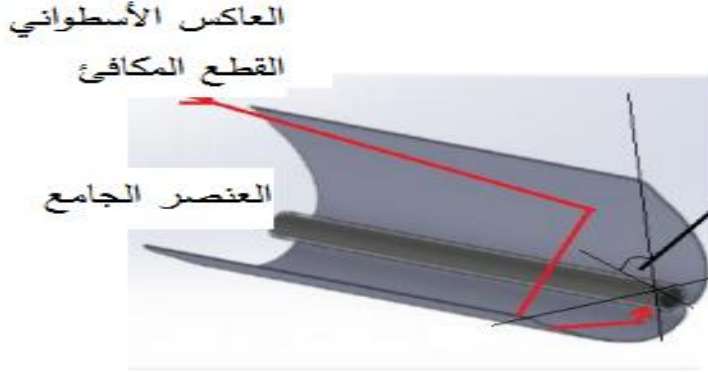
$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin(\varphi) \sin(\delta) \cos(\beta) - \cos(\varphi) \sin(\delta) \sin(\beta) \\ & + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(w) \cos(\beta) \\ & + \sin(\varphi) \cos(\delta) \cos(w) \sin(\beta) \end{aligned} \quad (2-18)$$

II-7-4) آليات التتبع للمجموعات الشمسية :

تطورت أنظمة التتبع من النظم اليدوية إلى أخرى آلية إما تعمل اعتمادا على توجيه حساس (Sensor) نحو قرص الشمس، يرسل إشارة إلى وحدة التحكم لتوجيه فتحة العاكس دائما باتجاه الشمس، أو اعتمادا على الساعة بمعنى تغيير زاوية توجيه فتحة العاكس كل عدة دقائق بقيمة محددة [28].

II-8) مكونات PTC :

يتكون نظام PTC من سطح عاكس أسطواني قطع مكافئ يركز الإشعاع الشمسي نحو العنصر الجامع للحرارة (HCE) المثبت بالمحور البؤري، ويسري داخل هذا الأخير مائع ناقل للحرارة (HTF) يكتسب الحرارة المفيدة لينقلها إلى وسيط التخزين.



الشكل (II-10) : مخطط للشكل العام ل (PTC).

II-8-1) العنصر الجامع للحرارة (أنبوب الاستقبال) (HCE):

أنبوب المستقبل أو عنصر مجّع الحرارة هو المكون الرئيسي لتكنولوجيا الطاقة الشمسية في الحوض المكافئ ، يتكون من أنبوب فولاذي داخلي بطبقة انتقائية محاطة بأنبوب زجاجي مفرغ مضاد للانعكاس، يدمج HCE موانع التسرب التقليدية من الزجاج إلى المعدن ومنفاخ معدني لضمان الفراغ في المنطقة الحلقية واستيعاب فرق التمدد الحراري بين الأنابيب الفولاذية والزجاجية، عادةً ما يتم الحفاظ على الفراغ في HCE عند حوالي 0.013 باسكال لتقليل خسائر الحمل الحراري داخل الحلقة [29].

II-8-2) العاكس :

تتميز عاكسات PTC بانعكاس مرآوي عالٍ (أكبر من 88٪) لتعكس أكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي، عادة ما تصنع العاكسات من زجاج عائم منخفض الحديد (حوالي 4 مم) مع نفاذية عالية للشمس، حيث تكون المرايا فضية على الظهر ومغطاة بالعديد من الطلاءات الانتقائية لأن متانتها وانعكاسها الشمسي أفضل من الألمنيوم المصقول والأكريليك المعدني المتوفر أيضاً في السوق و يبلغ الانعكاس الشمسي حوالي 0.93 للمرايا الزجاجية المطلية بالفضة و 0.87 للألمنيوم المصقول [29].

يجب أن يفى الهيكل الداعم بالمتطلبات الهيكلية التالية:

- **الصلابة:** يجب أن يكون الهيكل قويًا، مع إطار صلب، وقادر على الحفاظ على الهندسة الدقيقة (الدقة البصرية) في جميع الأوقات: يجب أن يتحمل التشوهات من خلال وزن المجمع، وعبر الرياح ومن خلال الاختلافات في درجات الحرارة في البيئة المحيطة و المتلقي.
- **الوزن:** الوزن الخفيف يقلل من تكلفة المواد والنقل .
- **الحركة:** التسامح الزاوي العالي ضروري لتمكين متطلبات التتبع أحادي المحور ، يجب أن يكون التتبع دقيقًا وقويًا بما يكفي ليكون قادرًا على العمل حتى في ظل الظروف الجوية القاسية.

II-8-3) سائل حراري HTF:

تستخدم المجمعات الشمسية ذات الأحواض المكافئة سائل نقل الحرارة (HTF) الذي يتدفق عبر جهاز الاستقبال الذي يجمع وينقل الطاقة الحرارية الشمسية إلى كتلة الطاقة، يمكن أن يؤثر اختيار المائع الحراري أو مائع نقل الحرارة HTF على نوع تقنيات التخزين التي يمكن استخدامها في المصنع، يمكن استخدام العديد من خيارات HTF في محطات الطاقة الشمسية PTC، يرتبط اختيار HTF بدرجة الحرارة المطلوبة وخيارات أخرى مثل التخزين، تستخدم الزيوت الحرارية بشكل شائع كسائل عامل في محطات PTC لدرجات حرارة أعلى من 200 درجة مئوية لأن استخدام الماء يمكن أن يرفع السعر من محطة الطاقة الشمسية لأنها ستنتج ضغوطاً عالية داخل أنبوب وأنبوب المستقبل، يستخدم أكسيد ثنائي الفينيل ثنائي الفينيل، المعروف بالأسماء التجارية Therminol VP-1 و Dowtherm A، على نطاق واسع وأظهر ثباتاً ممتازاً [29].

II-9) الموازنة الحرارية لنموذج PTC :

يستقبل سطح الأنبوب الماص إشعاع شمسي مركز بعد حدوث سلسلة من العمليات الضوئية (النفوذ، الامتصاص و الانعكاس) على الظرف الزجاجي و السطح الماص ، حيث يعتمد نموذج نقل الحرارة على توازن الطاقة بين مائع نقل الحرارة وما يحيط به، يتم امتصاص الإشعاع الشمسي الذي تعكسه المرايا بواسطة الظرف الزجاجي $Q_{abs \rightarrow e}$ وينفذ الباقي إلى الأنبوب الماص (سطح الامتصاص) $Q_{abs \rightarrow r}$ فينفذ جزء من الحرارة الممتصة من سطح الامتصاص إلى HTF عن طريق الحمل الحراري القسري على شكل حرارة مفيدة $Q_{net \rightarrow f}$ ، بينما يتم تحويل الحرارة المتبقية مرة أخرى إلى الظرف الزجاجي عن طريق الإشعاع (rad) والحمل الحراري الطبيعي ، ثم بعد ذلك تنتقل هذه الحرارة من الظرف الزجاجي إلى الهواء بالحمل الحراري الطبيعي وإلى السماء بالإشعاع، و من عليه يمكننا كتابة الموازنة الحرارية لجميع مكونات PTC بالاعتماد على القانون الأول لترموديناميك: مجموع التدفقات الحرارية (الداخلة والخارجة) يساوي الحرارة المخزنة.

$$h_{con(r \rightarrow f)} = \frac{Nu_{rf} \lambda_f}{D_{r_{int}}} \quad (2-22)$$

تصبح العلاقة:

$$\rho_f \pi \left(\frac{D_{int}}{2} \right)^2 C_{p_{rf}} \frac{\partial T_f}{\partial t} = \frac{Nu_{rf} \lambda_f}{D_{r_{int}}} (T_f - T_r) \pi D_{r_{int}} \quad (2-23)$$

• في حالة السريان المضطرب [30]:

$$0.5 \leq Pr \leq 2000 \quad 2300 \leq Re_D \leq 5 * 10^6$$

تعطى عبارة رقم نيسالت بالعلاقة التي قدمها Gnielinski [31]:

$$Nu_f = \frac{\left(\frac{C_f}{2} \right) (Re_D - 1000) Pr}{1 + 12.7 (C_f/2)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)} \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0.11} \quad (2-24)$$

يعطى رقم رينولدز عند قطر الأنبوب الماص [32]:

$$Re_D = \frac{\rho_f V_f D_{r_{int}}}{\mu_f} \quad (2-25)$$

يُحسب معامل الاحتكاك بالعلاقة التي قدمها Filonenko [31]:

$$C_f = (1.58 \ln Re_D - 3.28)^{-2} \quad (2-26)$$

تُحسب المقادير السابقة عند درجة الحرارة المتوسطة T_{film} أما Pr_w فتُحسب عند درجة حرارة الأنبوب الماص.

• في حالة السريان الرقائقي:

$$Re_D \leq 2300$$

تعطى عبارة رقم نوسالت بالعلاقة التالية [30]:

$$Nu_f = 4.36$$

(2-9-II) معادلة موازنة الطاقة للأنبوب الماص :

يستقبل الأنبوب الماص الإشعاع المنعكس من المرايا فيخزنه على شكل حرارة محسوسة، ثم تنتقل هذه الحرارة إلى المائع (HTF) بالحمل الحراري القسري و إلى الظرف الزجاجي بالإشعاع والحمل الحراري الطبيعي، تعطى معادلة الموازنة بالعلاقة التالية:

$$\rho_r A_r C_{pr} \frac{\partial T_r}{\partial t} = IC_g \tau_e \alpha_r \rho \pi D_{r_{ext}} + (h_{conv(r \rightarrow e)} + h_{rad(r \rightarrow e)})(T_e - T_r) \pi D_{r_{ext}} + h_{conv(r \rightarrow f)}(T_f - T_r) \pi D_{r_{int}} \quad (2-27)$$

مساحة مقطع جدار الأنبوب الماص:

$$A_r = \frac{\pi}{4} (D_{r_{ext}}^2 - D_{r_{int}}^2) \quad (2-28)$$

• يعتمد انتقال الحرارة بالحمل بين الظرف الزجاجي والأنبوب الماص على الضغط داخل الظرف الزجاجي حيث عند ضغط $(P < 1mm Hg)$ [31] في حالة تفريغ الظرف، يكون التوصيل بالحمل الحراري الجزئي الحر هو آلية نقل الحرارة، يعطى معامل انتقال الحرارة في هذه الحالة بالعلاقة التالية [30]:

$$h_{conv(e \rightarrow r)} = \frac{\lambda_g}{\frac{D_{r_{ext}}}{2 \ln \left(\frac{D_{r_{int}}}{D_{r_{ext}}} \right)} + bk \left(\frac{D_{r_{int}}}{D_{r_{ext}}} + 1 \right)} \quad (2-29)$$

تعطى b بالعلاقة التالية [33]:

$$b = \frac{(2-\alpha) [9\gamma-5]}{2\alpha [(\gamma+1)]} \quad (2-30)$$

تعطى k بالعلاقة التالية [33]:

$$k = \frac{2.331.10^{-20} \left[\frac{(T_r - T_e)}{2} + 273.15 \right]}{p \delta^2} \quad (2-31)$$

λ_g : متوسط معامل انتقال الحرارة للغاز داخل الظرف الزجاجي في الظروف القياسية عند متوسط درجة الحرارة بين الأنبوب الماص والظرف الزجاجي $(W/m.K)$.

K: متوسط المسار الحر لجزيئات الغاز داخل الظرف الزجاجي (m) .

b: معامل التأثير المتبادل لجزيئات الغاز.

α : معامل الموضع الحرارى للجزيئات الغاز وتتراوح قيمته من 0.01 إلى 1، تعتمد هذه القيمة على ترتيب سطح الغاز أو مستوى طبقات الغاز، بالنسبة لمعظم التفاعلات بين الغاز والصلب، يمكن افتراض قيمة $\alpha = 1$ [33].

γ : نسبة الحرارة النوعية للغاز داخل الظرف .

P: الضغط داخل الظرف الزجاجى ب (mm Hg) .

δ : هو القطر الجزيئى للغاز داخل الظرف الزجاجى (cm) .

في الجدول التالى نجد مختلف الأقطار الجزيئية للغازات [33]:

الجدول (II-1): مختلف الأقطار الجزيئية للغازات [31].

Gas ⁽¹⁾	$\delta \times 10^8$ (cm)
Air	3.66 ⁽²⁾
Hydrogen	2.97 ⁽³⁾
Argon	3.42 ⁽³⁾

- عند ضغط ($P > 1mm Hg$) [31] في حالة عدم تفريغ الظرف، يكون التوصيل بالحمل الحرارى الطبيعى هو آلية نقل الحرارة، يعطى معامل انتقال الحرارة في هذه الحالة بالعلاقة التالية [30]:

$$h_{conv(e \rightarrow r)} = \frac{2\pi\lambda_{eff}L}{\ln\left(\frac{D_{r_{int}}}{D_{r_{ext}}}\right)} \quad (2-32)$$

حيث:

$$\lambda_{eff} = 0.386\lambda_a \left(\frac{Pr_a}{8.61+Pr_a}\right)^{\frac{1}{4}} (F_{cil} Ra_a)^{\frac{1}{4}} \quad (2-33)$$

$$F_{cil} = \frac{\left(\ln\left(\frac{D_{e_{int}}}{D_{r_{ext}}}\right)\right)^4}{\left(\frac{D_{r_{int}} - D_{r_{ext}}}{2}\right)^3 (D_{e_{int}}^{-3/5} + D_{r_{ext}}^{-3/5})^5} \quad (2-34)$$

λ_{eff} : معامل إنتقال الحرارة الفعال ($W/m.K$).

L: طول الأنبوب الماص (m).

λ_a : معامل الانتقال بالحمل الحراري للهواء عند متوسط درجة الحرارة بين الظرف الزجاجي و الأنبوب الماص ($W/m.K$).

F_{cil} : معامل الشكل الهندسي لأسطوانتين متمحورتين.

Ra_a و Pr_a : رقمي برانتل ورايلي من أجل متوسط درجة الحرارة بين الظرف والانبوب الماص وعند البعد المتوسط $\frac{D_{e_{int}} + D_{e_{ext}}}{2}$.

مع ضرورة أخذ $\lambda_{eff} = \lambda_a$ في حالة ما إذا كانت $\lambda_{eff} < \lambda_a$.

أما معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الأنبوب الماص والظرف الزجاجي يعطى بالعلاقة [34]:

$$h_{rad(e \rightarrow r)} = \frac{\sigma(T_r + T_e)(T_r^2 + T_e^2)}{\frac{1}{\epsilon_r} + \frac{1 - \epsilon_e}{\epsilon_e} \left(\frac{D_{e_{ext}}}{D_{e_{int}}} \right)} \quad (2-35)$$

II-9-3) معادلة موازنة الطاقة للظرف الزجاجي:

يستقبل الظرف الزجاجي الإشعاع المنعكس من المرايا العاكسة، فينفذ جزء منه ليحدث تبادل حراري بالحمل والإشعاع بين الظرف الزجاجي والانبوب الماص، بينما ينعكس جزء منه ليحدث تبادل حراري بالحمل بين الظرف الزجاجي والهواء الجوي وبالإشعاع بين الظرف الزجاجي والسماء (sky).

تعطى معادلة الموازنة التالية :

$$\rho_e A_e C_{pe} \frac{\partial T_e}{\partial t} = IC_g \rho \pi D_{e_{ext}} + (h_{conv(e \rightarrow r)} + h_{rad(e \rightarrow r)})(T_r - T_e) \pi D_{e_{int}} + h_{conv(e \rightarrow a)}(T_a - T_e) \pi D_{e_{ext}} + h_{rad(e \rightarrow sky)}(T_{sky} - T_e) \pi D_{e_{ext}} \quad (2-36)$$

مساحة مقطع جدار الظرف الزجاجي:

$$A_e = \frac{\pi}{4} (D_{e_{ext}}^2 - D_{e_{int}}^2) \quad (2-37)$$

يعطى معامل انتقال الحرارة بالحمل بين الظرف الزجاجي والهواء والذي يتعلق بسرعة الرياح V وعرض فتحة الجمع W وكذلك زاوية ورود الإشعاع الشمسي i بالعلاقة [34]:

$$h_{conv(e \rightarrow a)} = 5.7 + 3.8V + 1.42 \left(\frac{(T_e - T_a) \sin i}{W} \right)^{0.25} \quad (2-38)$$

$$h_{rad(e \rightarrow sky)} = \varepsilon_e \sigma (T_e + T_{sky}) (T_e^2 + T_{sky}^2) \frac{T_e - T_{sky}}{T_e - T_a} \quad (2-39)$$

تم اقتراح العديد من العلاقات لربط T_{sky} ، للسماء الصافية، بمتغيرات الأرصاد الجوية المقاسة الأخرى، في حالة عدم وجود بيانات الأرصاد الجوية مثل: الرطوبة النسبية ودرجة حرارة نقطة الندى، يمكن استخدام علاقة بسيطة قدمها Swinbank [31]:

$$T_{sky} = 0.0553(T_a)^{1.5} \quad (2-40)$$

حساب درجة حرارة الجو تعطى بالعلاقة التالية [34]:

$$T_a = \left[\frac{T_{a_{max}} - T_{a_{min}}}{2} \right] \sin \left[\frac{(t-8)\pi}{12} \right] + \left[\frac{T_{a_{max}} + T_{a_{min}}}{2} \right] \quad (2-41)$$

$T_{a_{max}}$ و $T_{a_{min}}$: درجتي حرارة الجو المحيط القصى والدنيا في الشهر محل الدراسة.

t: التوقيت المحلي (h).

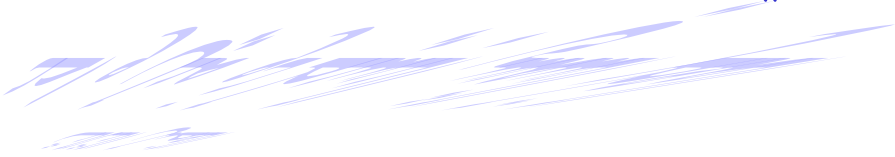
الخاتمة:

تستخدم أحواض القطع المكافئ في محطات توليد الطاقة الشمسية، وتعتبر من أهم بدائل إنتاج الطاقة الكهربائية، وذلك لكثرة الطلب على الطاقة بشكل متزايد وارتفاع أسعار الوقود.

فاستخدام الطاقة الشمسية يحافظ على النظام البيئي فيقلل استخدام الطاقات الأحفورية، لذلك اهتمت الدراسات بتحسين هذا النظام من خلال الزيادة في الكفاءة والمردودية والتقليل من الضياعات الحرارية والضوئية وذلك من خلال إنشاء شكل هندسي و تصميم مناسب، وهذا ما ركزنا عليه في هذا الفصل.

الفصل الثالث

المقعر الشمسي البسيط ذو ميل واحد



III-1) المقدمة :

الشمس هي من مصادر الطاقة المتجددة التي عرفها الإنسان منذ القدم، فهي ليست مصدر للضوء والحرارة فقط بل من أهم مصادر الطاقة التي نحتاجها في حياتنا اليومية، ومما لا شك فيه أن تحلية المياه بالطاقة الشمسية من أقدم الطرق للحصول على المياه العذبة ولقد زادت أهمية هذه الطريقة حالياً نتيجة لتزايد تكلفة الطاقة، وخاصة بالنسبة للمناطق التي تتمتع بتوافر الطاقة الشمسية على مدار العام وتعاني في نفس الوقت من ندرة المياه العذبة، ووجود تجمعات سكانية صغيرة و بعيدة عن مصادر المياه العذبة وقريبة من مصادر المياه المالحة كالمناطق الصحراوية، ومن بين العناصر التي ستناولها في هذا الفصل هي مفهوم المقطرات الشمسية ومبدأ عملها وغيرها ؟

III-2) تعريف المقطر الشمسي البسيط:

هو عبارة عن جهاز يستقبل ماء مالح و ينتج ماء نقي، حيث أن المقطر يتكون من حوض معزول حرارياً ومغلق الأطراف وله غطاء زجاجي شفاف، ويكون الغطاء الزجاجي في العادة مائل لكي يسمح للبخار بالتكثف عليه، و الذي يكون على شكل قطرات حيث تنحدر ثم تسقط في القناة الخاصة بتجميع الماء المقطر، ومن الضروري عزل قعر الحوض وجوانبه بالعوازل الحرارية لتقليل انتقال الحرارة من ماء الحوض إلى الخارج وذلك لرفع كفاءة المقطر، ومن الضروري أن يطل قعر الحوض بطلاء أسود غير براق لامتصاص الحرارة، وكذلك إحكام غلق جوانب الحوض لتقليل تسرب الهواء المشبع بالبخار من الداخل إلى الخارج ولتقليل انتقال الحرارة عبر فتحات تسرب الهواء.

III-3) لمحة تاريخية عن التقطير الشمسي:

منذ القدم عرف الإنسان أن للشمس طاقة هائلة، وحاول إيجاد أساليب لاستغلال هذه الطاقة بالشكل الذي يجعلها مفيدة له، فمن أولى الاكتشافات لما وضع العالم Archimède أول نقطة في مجال الطاقة الشمسية باختراعه مادة الزجاج لما لديها من خواص، بحيث من الممكن تصنيع عدسات ومرآيات تساهم في استغلال هذه الأشعة وفي القرن 18 اخترع الفيزيائي Saussure اللواقط الشمسية بغرض أهداف علمية، وفي نفس العصر قام العالم الكيميائي والفيزيائي الفرنسي Lavoisier بصنع موقد شمسي لإذابة الذهب البيض، وهذا الموقد يسخن حتى $1755^{\circ}C$ وفي سنة 1839 اكتشف العالم الفيزيائي الفرنسي Edmond Becquerel التأثير الحراري-الكهربائي (l'effet photovoltaïque)، و أول استخدام لطاقة الشمس في التقطير كان من طرف الإنجليزي Harding سنة 1872 ف شمال الشيلي (Chili) في صحراء (Lassalinas)، وكان على شكل أحواض سوداء مغطاة بالزجاج فالقاعدة السوداء تستعمل كماص (Absorbant) لأشعة الشمس، ويوضع في هذا الحوض الساخن ماء على سمك رقيق، فيعمل السطح الأسود عمل المبخر، ويستقبل البخار التصاعد من طرف السطح الداخلي للزجاج المائل بزاوية 20° ، ذي درجة الحرارة الأقل من الصفيحة الماصة السوداء نسبياً، ما يؤدي إلى تكاثفه مباشرة، ويتجمع في قناة خاصة بالماء المقطر، وينتج هذا المقطر أكثر من $20m^3$ من الماء الصالح للشرب في اليوم، أما في سنة 1878 فقد أنشأ

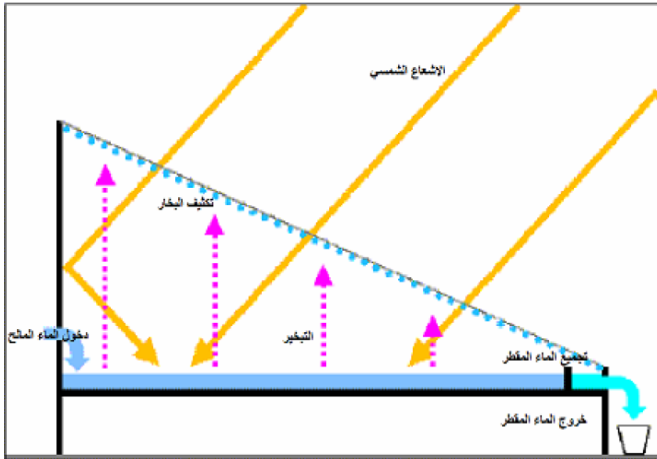
الفرنسي Auguste Mouchot آلة ذات بخار شمسي قابلة لقيادة آلة الطبع، وطور أول نظام لإنتاج الماء الساخن بكاليفورنيا سنة 1891، وفي سنة 1912 استعملت الطاقة الشمسية من أجل قيادة السيارات وفي سنة 1953 ركب Mont-Louise موقدا شمسيا ب 75kW وشيد في 1970 موقد d'odeillo يسمح بالوصول إل درجة حرارة 3500°C وفي سنة 1976 خلال أزمة البترول بفرنسا تم تحقيق أول مركز شمسي [35].

III-4) مبدأ عمل المقطر الشمسي:

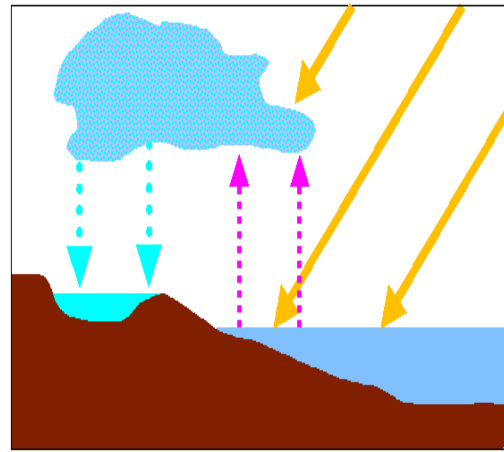
التقطير الشمسي هو ظاهرة طبيعية له نفس مبدأ الظاهرة الحقيقية التي تحدث في الطبيعة ، فعندما تنبعث الأشعة الشمسية على ماء البحر (أو المحيط، البحيرة، النهر) فإنها تسخن هذا الماء وهذا الأخير يتبخر ويرتفع إلى الأعلى ، ثم ينتقل هذا البخار عن طريق الرياح حتى يصل إلى مكان أكثر برودة فيتكثف وتتشكل الغيوم ثم بعد ذلك يمكن أن يكون المطر أو الثلج انظر الشكل (III-1) [36].

مبدأ تشغيل المقطر الشمسي هو كما يلي الشكل (III-2) :

- الإشعاع الشمسي يسخن الماء المالح الذي يوجد في المقطر.
- يتبخر الماء المالح.
- يتم نقل هذا البخار عن طريق الحمل الحراري الطبيعي إلى سقف المقطر (زجاج).
- يتكثف البخار على سطح الزجاج ويسري على شكل غشاء رقيق.



الشكل (III-2): مبدأ عمل المقطر الشمسي [36].



الشكل (III-1): دورة المياه [36].

III-5) مكونات المقطر الشمسي :

تتضمن تقنية تحلية مياه البحر التي تعمل بالطاقة الشمسية باستخدام جهاز التقطير البسيط، والذي يعتمد بشكل عام على مبدأ تأثير الاحتباس الحراري، تركيبًا يتكون من [37]:

- غطاء شفاف من الزجاج أو من البلاستيك المائل أحيانًا، يُصح باستخدام الزجاج للتطبيقات طويلة الأمد، لكنه مكلف بشكل عام وهش وثقيل الوزن يمكن اختيار البلاستيك (مثل البولي إيثيلين) للاستخدام على المدى القصير، نظرًا لمقاومته الضعيفة للحرارة.
- حوض مغطى بطبقة سوداء ماصة عادة ما تكون لوحة الامتصاص مصنوعة من المعدن، والأكثر شيوعًا من النحاس أو الفولاذ المقاوم للصدأ أو الألمونيوم.
- للعزل، يتم وضع طبقة أو أكثر من طبقات العزل مثل الصوف الزجاجي والبوليستيرين ورغوة البولي يوريثان وما إلى ذلك.

ومع ذلك، هناك نوعان من تصنيع اللقطات، يمكن بناؤها إما:

- ❖ في شكل منتج معياري، تكون عمومًا عبارة عن حاوية (بلاستيك، صفائح معدنية، خشب، إلخ) معزولة أدناه ومغطاة بالزجاج حيث يستخدم هذا النموذج فقط للساعات الصغيرة جدًا، عدة عشرات من اللترات في اليوم.
- ❖ عندما تكون الاحتياجات أكبر، عدة مئات من اللترات في اليوم، يتم بناء اللقطات في البناء (الخرسانة) تحت أحواض زجاجية كبيرة.

III-6) العوامل المؤثرة على المقطر الشمسي :

1) تأثير شدة الإشعاع الشمسي:

تعد شدة الإشعاع الشمسي من أهم العوامل التي تؤثر على المقطرات الشمسية، حيث تقل إنتاجية المقطر الشمسي بقلّة شدة الإشعاع الشمسي والعكس [38].

2) تأثير درجة الحرارة المحيطة :

تساعد الزيادة في درجة الحرارة المحيطة على تحسين إنتاج المقطر ويعتبر هذا التحسين ملموسًا في حالة المقطرات الرديئة العزل، ويكون مهملاً للمقطرات مهمة العزل [38].

3) تأثير سرعة الرياح :

لا تؤثر التغيرات في سرعة الرياح على إنتاجية المقطر الشمسي بطريقة محسوسة إلا إذا كان التغير في السرعة بمقدار كبير، فتقل الإنتاجية بزيادة سرعة الرياح [38].

4) تأثير قيمة معامل انتقال الحرارة من جسم المقطر إلى الجو المحيط :

تعتمد إنتاجية المقطرات الشمسية على مدى إحكام العزل الحراري لها، ويجب الموازنة بين تكلفة العزل إنتاجية المقطر، وقيمة معامل انتقال الحرارة التي يتم الحصول عليها من الموازنة تكون في العادة في حدود (0.9 w/m^2) [38].

5) تأثير عمق الماء المالح :

لقد وجد أن معدل التبخير يزداد مع درجة حرارة الماء، مع تجنب تكون بؤرات جافة على سطح البطانة في القاعدة، وقد دلت التجارب التي أجريت على عدد كبير من المقطرات أن عمق الماء في القاعدة يجب أن يكون بحدود 5cm للحصول على أفضل إنتاجية للمقطر [38].

6) تأثير إحكام سد البخار:

يعد إحكام سد البخار عاملاً هاماً لتحقيق أكبر قدر من الإنتاجية، ومن أجود المواد المتوفرة للمواد المانعة للتسرب مادة مطاط السيلكون التي ينصح باستخدامها لإحكام حبس البخار، ويجب أن تكون هناك صيانة دائمة للكشف عن تسرب البخار للحفاظ على أكبر قدر من الإنتاجية [38].

7) تأثير تسرب الماء الناتج :

تقل إنتاجية المقطر بدرجة كبيرة بزيادة كمية تسرب الماء الناتج .

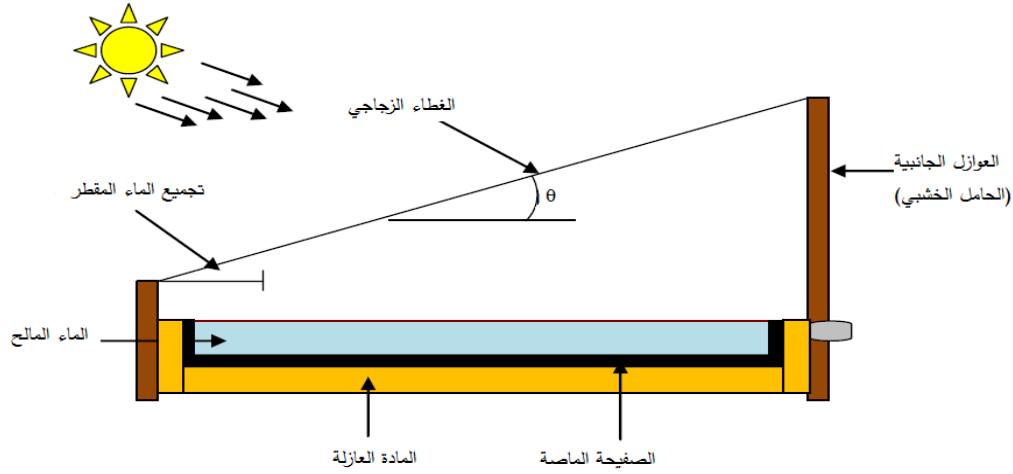
8) تأثير المحدار الغطاء :

عند الانحدار الأمثل للغطاء تصل إنتاجية المقطرات الشمسية إلى أقصى قيمة لها ، ويعتمد الانحدار الأمثل للغطاء على الزمن خلال السنة والموقع الجغرافي للمقطر، وعلى الظروف المحيطة، ولقد أثبتت التجارب والدراسات أن تصميم الغطاء بانحدار قدره 20-25 درجة من الوضع الأفقي يعطي نتائج جيدة لعدد كبير من المقطرات الشمسية [38].

III-7) الانتقالات والتدفقات الحرارية على مستوى المقطر الشمسي:

يسقط الإشعاع الشمسي المباشر G على الغطاء الزجاجي فينعكس جزء من هذه الأشعة Q_r بينما يمتص جزء من هذه الأشعة Q_a ليخزن على شكل حرارة أما الجزء الباقي فينفذ عبر الغطاء الزجاجي Q_t إلى الحوض ويمثل الجزء الأكبر من الإشعاع الوارد، حيث يعتبر انتقال الحرارة المتولد داخل اللوح الشمسي بمثابة نقل داخلي للحرارة

المسئولة عن عملية التبخر لإنتاج بخار الماء من المياه المالحة، مما ينتج عنه مياه عذبة.

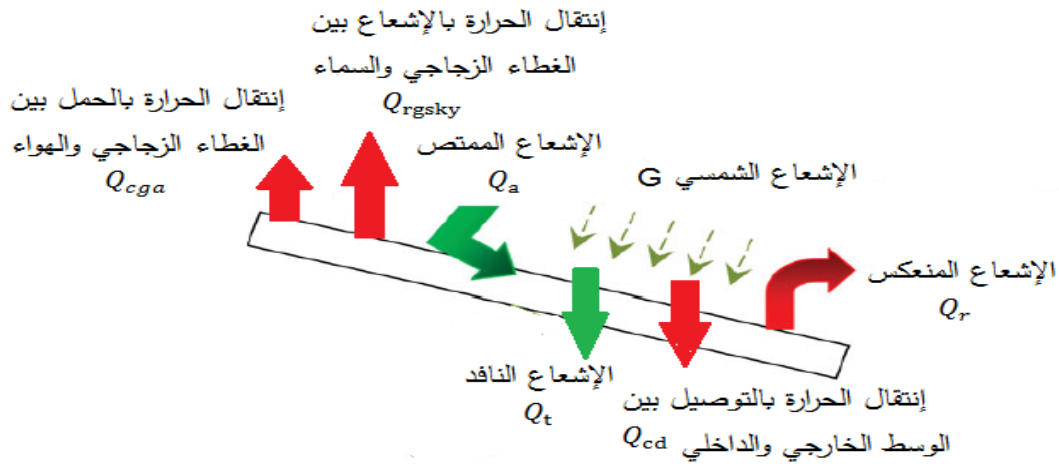


الشكل (III-3) : أهم الانتقالات والتدفقات الحرارية في المقطر البسيط ذات الميل الواحد [39].

مختلف التدفقات و الانتقالات على مستوى المقطر الشمسي:

III-7-1) الانتقالات على مستوى الغطاء الزجاجي:

كما هو موضح في الشكل (III-4) نذكر الانتقالات التي تحدث عبر الغطاء الزجاجي كالتالي:



الشكل (III-4) : رسم يوضح الانتقالات على مستوى الغطاء الزجاجي [40].

1) الإشعاع الشمسي الوارد إلى الزجاج:

هو مقدار الإشعاع الشمسي الحراري الساقط على الغطاء الزجاجي المائل بزاوية ميل θ ، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$G = \int q_s(t)dt \quad (\beta-1)$$

$q_s(t)$: كمية الإشعاع المتجمع على السطح الأفقي عند ساعات إضاءة الشمس.

(2) الإشعاع المنعكس على مستوى الزجاج:

الإشعاع الشمسي الوارد على سطح الزجاج لا يمتصها كلها وإنما جزء منها ينعكس والذي يعطي بالعلاقة التالية:

$$Q_r = \rho_g G \quad (3-2)$$

ρ_g : معامل الانعكاس للزجاج .

(3) الإشعاع الممتص من طرف الزجاج:

جزء من الإشعاع الشمسي الوارد إلى السطح يمتصه الغطاء الزجاجي فتتغير درجة حرارته، وتعطى علاقته بالعلاقة التالية:

$$Q_a = \alpha_g G \quad (3-3)$$

α_g : معامل الامتصاص للغطاء الزجاجي .

(4) الإشعاع النافذ عبر الغطاء الزجاجي :

الزجاج شفاف لذلك يسمح بمرور الإشعاع الشمسي الوارد للحوض ويمثل الجزء الأكبر من هذا الإشعاع، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$Q_t = \tau_g G \quad (3-4)$$

τ_g : معامل النفاذ للغطاء الزجاجي .

(5) انتقال الحرارة بالحمل بين الغطاء الزجاجي والوسط الخارجي (هواء) :

تؤثر حركة الهواء الخارجي على التدفق الحراري بالحمل المتبادل بين الغطاء الخارجي للزجاج والوسط الخارجي:

$$Q_{cga} = h_{cga} (T_{g_{ext}} - T_a) \quad \frac{w}{m^2} \quad (3-5)$$

يعطى معامل الحمل الحراري بين الغطاء والهواء المحيط بالعلاقة التالية [51] [42][44]:

$$h_{cga} = 2.8 + 3.0V \quad V \leq 5 \text{ m/s} \quad \text{عندما} \quad (3 - 6)$$

$$h_{cga} = 6.15 \times (V)^{0.8} \quad V > 5 \text{ m/s} \quad \text{عندما}$$

V : سرعة الرياح (m/s) .

T_{gext} : درجة حرارة السطح الخارجي للغطاء الزجاجي (K).

T_a : درجة حرارة الوسط الخارجي (الهواء) (k) .

(6) انتقال الحرارة بالإشعاع بين الغطاء الزجاجي والوسط الخارجي (السماء) :

للوسط الخارجي تأثير في الإشعاع المتبادل بين السطح الخارجي للغطاء الزجاجي والوسط الخارجي [42][50]:

$$Q_{rgsky} = \varepsilon_g \sigma (T_{gext}^4 - T_{sky}^4) \quad (W/m^2 \cdot C^\circ) \quad (3 - 7)$$

ε_g : معامل الانبعاثية للغطاء الزجاجي .

T_{gext} : درجة حرارة الغطاء الزجاجي .

T_{sky} : درجة حرارة القبة السماوية و تعطى بالعلاقة التالية [41] :

$$T_{sky} = T_a - 6 \quad (k) \quad (3 - 8)$$

بصفة عامة نستعمل العلاقة التالي [51]:

$$T_{sky} = 0.0552T_a^{1.5} \quad (3 - 9)$$

h_{rgsky} : معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الغطاء الزجاجي و السماء، يعطى بالعلاقة التالية [41]:

$$h_{rga} = \varepsilon_g \sigma \left[\frac{(T_{gext}^4 - T_{sky}^4)}{(T_{gext} - T_a)} \right] \quad (3 - 10)$$

حيث :

$$Q_{rga} = h_{cga} (T_{g_{ext}} - T_a) \quad \frac{W}{m^2} \quad (3 - 11)$$

(7) انتقال الحراري بالتوصيل بين الوسط الخارجي والوسط الداخلي:

الحرارة التي يتعرض لها الحوض من الداخل يمكن أن تعبر هذا الزجاج بالتوصيل عبر السطح الزجاجي يعبر بالعلاقة التالية

$$Q_{cd} = \frac{\lambda_g}{E_g} (T_{g_{int}} - T_{g_{ext}}) \quad (W/m^2) \quad (3 - 12)$$

E_g : سمك الزجاج .

λ_g : التوصيلة الحرارية للزجاج .

$T_{g_{ext}}$: درجة حرارة السطح الخارجي للزجاج .

$T_{g_{int}}$: درجة حرارة السطح الداخلي للزجاج .

III-7-2) الانتقالات على مستوى وسط الحوض:

تحدث في هذا المستوى على عمليتي التكثيف والتبخير للماء المالح لظاهرة التبخير ويحدث على مستواها غليان وتبخير الماء المالح، أما ظاهرة التكثيف فيحدث بها عملية إمالة الماء المالح المتبخر ثم يقطر.



الشكل (III-5): رسم يوضح انتقالات على مستوى وسط الحوض [40].

(1) انتقال الحرارة بالإشعاع بين الماء المالح والغطاء الزجاجي:

الانتقال الحراري بالإشعاع المتبادل بين طبقة الماء المالح والغطاء الزجاجي ويكتب بالعلاقة التالية [43]:

$$Q_{rwg} = F_{wg} \sigma (T_w^4 - T_{gint}^4) \left(\frac{w}{m^2} \right) \quad (3 - 13)$$

F_{wg} : معامل الشكل بين طبقة الماء المالح والغطاء الزجاجي ، وعادة ما تأخذ:

$$\varepsilon_w = 0.9 \quad \text{الإنبعائية بالنسبة لسطح الماء:}$$

$$\varepsilon_g = 0.85 \quad \text{الإنبعائية بالنسبة لسطح الزجاج الداخلي:}$$

T_w : درجة حرارة الماء المالح .

(2) انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي داخل المقطر (ماء مالح والغطاء الزجاجي):

التدفق الحراري بالحمل يتزامن مع التدفق بالتبخير، وهذا يعود إلى ارتفاع في درجة حرارة الماء المالح داخل المقطر ويعطى بالعلاقة التالية [43]:

$$Q_{cwg} = h_{cwg} (T_w - T_{gint}) \quad (w/m^2) \quad (3 - 14)$$

h_{cwg} : معامل الحمل الطبيعي وتعطى عبارته بالعلاقة التالية [43]:

$$h_{cwg} = 0.884 \left[(T_w - T_{gint}) \frac{(P_w - P_{gint})(T_w + 273.15)}{(268900 - P_w)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3 - 15)$$

P_w : ضغط الماء و يعطى بالعلاقة [43]:

$$P_w = \exp\left(25.317 - \frac{5144}{T_w + 273.15}\right) \quad (3 - 16)$$

P_{gint} : ضغط الماء و يعطى بالعلاقة [43]:

$$P_{gint} = \exp\left(25.317 - \frac{5144}{T_{gint} + 273.15}\right) \quad (3 - 17)$$

T_{gint} : درجة حرارة الغطاء الزجاجي الداخلي .

(3) التدفق الحراري بفعل التبخير:

التدفق الحراري بفعل التبخير ينتج من حركة البخار المتصاعد من حوض الماء المالح والذي يتكثف على السطح الداخلي للغطاء الزجاجي ويعطى كما يلي [47]:

$$Q_{ewg} = h_{ewg} (T_w - T_{gint}) \quad (w/m^2) \quad (3 - 18)$$

h_{ewg} : معامل إنتقال الحرارة بالتبخير و يعطى حسب العلاقة التالية [47]:

$$h_{ewg} = 0.016273 h_{cwg} \frac{(P_w - P_{gint})}{(T_w - P_{gint})} \quad (3 - 19)$$

(4) الإشعاع المنعكس على مستوى الماء المالح:

الإشعاع الذي يعبر الغطاء الزجاجي نحو الماء المالح داخل المقتر فينعكس مقدار منه ويعطى بالعلاقة التالية:

$$Q_{\rho w} = \rho_w \tau_g G \quad \left(\frac{w}{m^2}\right) \quad (3 - 20)$$

ρ_w : معامل انعكاس الماء .

(5) الطاقة الممتصة من طرف الماء المالح :

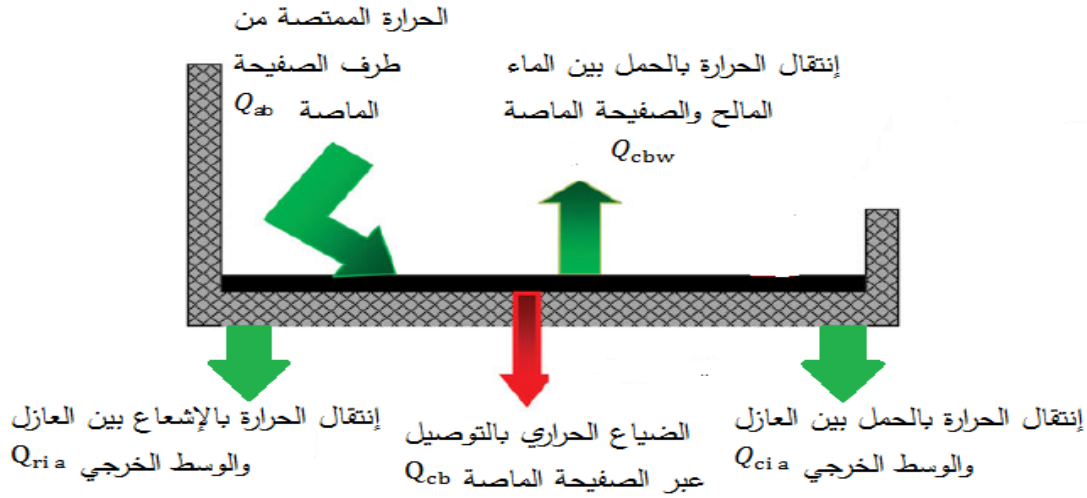
الإشعاعات الشمسية التي تعبر الغطاء الزجاجي نحو الماء المالح في الحوض، جزء منه يمتصه الماء المالح والجزء الآخر تمتصه الصفيحة الماصة ويعطى كما يلي:

$$Q_{aw} = \alpha_w \tau_g G \quad (w/m^2) \quad (3 - 21)$$

α_w : معامل امتصاص الماء.

III-7-3 الانتقالات على المستوى السفلي للمقتر:

كما هو موضح في الشكل (III-6) نذكر الانتقالات الحادثة على المستوى السفلي للمقتر كما يلي:



الشكل (III-6): رسم يوضح انتقالات على مستوى السفلي للمقطر [40].

(1) الضياح الحراري عبر الصفيحة الماصة :

هناك كمية من الحرارة تضيع عبر الصفيحة الماصة تنتقل عبر التوصيل وتعطى بالعلاقة التالية:

$$Q_{cb} = \frac{\lambda_b}{e_b} (T_b - T_i) \quad (w/m^2) \quad (3 - 22)$$

T_b : درجة حرارة السطح الماص (K) .

T_i : درجة حرارة العازل الداخلية (K) .

(2) الحرارة الممتصة من طرف الصفيحة الماصة :

عند مرور الحرارة عبر الغطاء الزجاجي نحو الماء في الحوض فالصفيحة الماصة تمتص كمية قليلة من هذه الحرارة وتعطى عبارة هذه الحرارة كما يلي:

$$Q_{ab} = \alpha_b \tau_w \tau_g G \quad (w/m^2) \quad (3 - 23)$$

α_b : معامل امتصاص الصفيحة الماصة .

(3) انتقال الحرارة بالحمل بين الماء المالح والصفيحة الماصة :

انتقال الحرارة بالحمل بين الماء والصفیحة الماصة ناتج من الاختلاف في درجة الحرارة بينهما وعبارة كمية الحرارة المنتقلة تعطى كالتالي [48]:

$$Q_{cbw} = h_{cbw} (T_b - T_w) \left(\frac{w}{m^2} \right) \quad (3 - 24)$$

h_{cbw} : معامل الحمل الحراري بين الماء والصفیحة الماصة ويعطى بالعلاقة التالية [48]:

$$h_{cbw} = 0.54 \frac{k_w R_a^{1/3}}{L} \quad 10^4 \leq R_a \leq 10^7 \quad \text{عندما} \quad (3 - 25)$$

$$h_{cbw} = 0.54 \frac{k_w R_a^{1/3}}{L} \quad 10^7 \leq R_a \leq 10^{11} \quad \text{عندما}$$

(4) انتقال الحرارة بالحمل بين العازل والوسط الخارجي (المحيط):

الوسط الخارجي أسفل المقطر يساهم في التبادل الحراري بالحمل بين العازل والوسط الخارجي ويكتب كما يلي [44]:

$$Q_{ci a} = h_{ci a} (T_{i_{ext}} - T_a) \left(\frac{w}{m^2} \right) \quad (3 - 26)$$

(5) انتقال الحرارة بالإشعاع بين العازل والوسط الخارجي (المحيط):

كمية الحرارة المنتقلة بالإشعاع بين العازل والمحيط الخارجي أسفل المقطر وتكتب كما يلي:

$$Q_{ri a} = \varepsilon_i \sigma (T_{i_{ext}}^4 - T_a^4) \quad (w/m^2) \quad (3 - 27)$$

III-7-4 الانتقالات على مستوى عوازل جانبي المقطر:

من بين الانتقالات التي يتعرض لها عوازل جانبي المقطر كما يلي:

(1) الضياع الحراري مع الماء المقطر الناتج:

يحمل الماء المقطر جزء من الحرارة، ويخرج من قناة التقطير ونكتب كما يلي [53]:

$$Q_{out} = m_w c_{pw} (T_{dist} - T_a) \quad (w/m^2) \quad (3 - 28)$$

(2) الضياع الحراري مع ماء التغذية:

النسبة التي تتبخر من ماء الحوض، تعوضها كمية من ماء التغذية حتى تكتسب كمية الحرارة المناسبة للتبخر، من حرارة الماء الساخن في الحوض وهذا ما يسمى بالضياع الحراري ونكتب كما يلي [52]:

$$Q_{in} = m_w c_{pw} (T_w - T_{fw}) \quad \left(\frac{w}{m^2}\right) \quad (3-29)$$

(III-8) الموازنة الحرارية للمقطر الشمسي البسيط:

المعادلات الحرارية التي يتعرض لها المقطر الشمسي تبرهن وفق الصيغ التالية:

$$C_{pi} \frac{m_i dT_i}{S_i dt} = \sum_{i=1}^N Q_{ij} \quad (w/m^2) \quad (3-30)$$

• على مستوى الوجه الخارجي للغطاء الزجاج:

$$C_{pg} \frac{m_g dT_{ge}}{S_g dt} = \tau_g G + \rho_g G + \alpha_g G - Q_{rga} - Q_{cga} + Q_{cd} \quad \left(\frac{w}{m^2}\right) \quad (3-31)$$

• على مستوى الوجه الداخلي للغطاء الزجاجي:

$$C_{pg} \frac{m_g dT_{gi}}{S_g dt} = Q_{ewg} + Q_{cwg} + Q_{rwg} - Q_{cd} \quad \left(\frac{w}{m^2}\right) \quad (3-32)$$

• على مستوى سطح الماء:

$$C_{pw} \frac{m_w dT_w}{S_w dt} = \alpha_w \tau_g G + Q_{cwb} - Q_{ewg} - Q_{cwg} - Q_{rwg} - Q_{in} - Q_{out} \quad \left(\frac{w}{m^2}\right) \quad (3-33)$$

• على مستوى السطح الماص (الصفیحة الماصة):

$$C_{pd} \frac{m_b dT_b}{S_b dt} = \alpha_b \tau_w \tau_g G - Q_{cb} - Q_{cwb} \quad (w/m^2) \quad (3-34)$$

• على مستوى العازل:

$$C_{pi} \frac{m_i dT_i}{S_i dt} = G \alpha_i \tau_b \tau_w \tau_g + Q_{cd} - Q_{ria} - Q_{cia} \quad (w/m^2) \quad (3-35)$$

III-9) دراسة المردود الطاقوي :

يعتبر المردود الطاقوي مقدار فيزيائي لا بعدي (بدون وحدة) يعطي للدارس فكرة على كفاءة أي جهاز يعمل بالطاقة، حيث هو عبارة عن حاصل قسمة الطاقة المنتجة على الطاقة المستهلكة من طرف الجهاز، ولدينا المقطر الشمسي يستهلك طاقة إشعاعية من الشمس متمثلة في الإشعاع الشمسي الكلي G الوارد للجهاز في كل لحظة ، وينتج طاقة حرارية على شكل تبخير Q_{ev} لها علاقة بكمية البخار المنتج التي بدورها تساوي كمية الماء المقطر عند المكثف ، ومنه المردود الطاقوي يعطى بالعلاقة التالية [46] [39] [49]:

$$\eta_{th} = \frac{Q_{ev}}{G} = \frac{\dot{m} \cdot H_w}{G} = \frac{\frac{m}{3600} \cdot H_w}{G} \quad (3 - 36)$$

\dot{m} : التدفق الكتلي للماء المقطر يعطى بالعلاقة:

$$\dot{m} = \frac{Q_{ev}}{H_w} \quad (3 - 37)$$

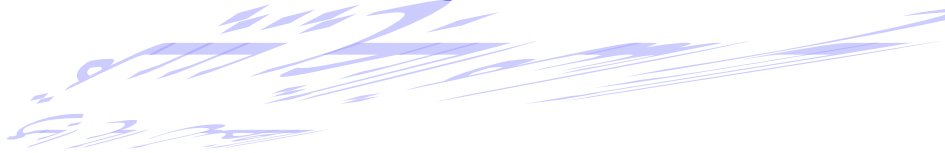
H_w : الحرارة الكامنة الخاصة بالتبخير.

الخاتمة :

يحتوي هذا الفصل على عدة أبحاث و نتائج التي توصل إليها الباحثون في مجال المقطرات و التقطير الشمسي و هي عبارة عن دراسة ببيوغرافية تمكننا من معرفة مدى تقدم البحث العلمي في هذا المجال ولقد تعرفنا على العوامل المؤثرة في المقطر الشمسي و وكذا الانتقالات و التدفقات الحرارية على مستوى المقطر الشمسي و لقد تم اختيار المقطر الشمسي ذو الميل الواحد (البسيط) كنموذج للدراسة و ذلك لسهولة صنعه و توفر المواد الأولية في الأسواق المحلية ، بالإضافة إلى ذلك فهو غير مكلف و سهل الصيانة و ذو عمر طويل .

الفصل الرابع

الدراسة التجريبية



IV-1) المقدمة:

يضم هذا الفصل الدراسة التجريبية التي أنجزت على المقطرين الشمسيين، والهدف من هذه الدراسة هو تحسين إنتاج الماء المقطر بواسطة المقطر الشمسي المدمج مع مركز شمسي أسطواني القطع مكافئ ، وتمت هذه الدراسة بمخبر الطاقات الجديدة والمتجددة للمناطق الجافة و الصحراوية (LENREZA) ، قسم الفيزياء بكلية الرياضيات وعلوم المادة - بجامعة قاصدي مرباح بورقلة.

IV-2) الأجهزة المستخدمة في التجارب:

تم ربط مجموعة من الأجهزة الخاصة لقياس ورصد الظروف الجوية المحيطة بالتجربة على مدار اليوم من الساعة 9:00 صباحا إلى الساعة 17:00 مساءا وهي كالتالي:

- جهاز قياس الإشعاع الشمسي (Solarimètre): يتركب من جزء يوضع على الغطاء الزجاجي، و جهاز إلكتروني يحول الإشعاع إلى قراءة مباشرة على شاشة صغيرة رقمية، تعطي القيمة الحقيقية الساقطة على الغطاء الزجاجي ب W/m^2 .
- جهاز قياس درجات الحرارة (المزدوجات الحرارية Thermocouples): وهي عبارة عن زوج من المعدن على شكل سلكين ملتحمين التحاماً ذاتياً، تربط كل مزدوجة حرارية بجهاز ميلي فولتметр خاص به شاشة رقمية، يحول هذا الجهاز درجة الحرارة إلى تيار كهربائي يقرأ على إثره قيمة درجة الحرارة في المكان الموضوع فيه.
- جهاز قياس درجة حرارة الجو (الحرار Thermomètre): يوضع مقياس درجة حرارة الجو على ارتفاع واحد متر من سطح التربة في مكان به ظل، والجهاز متصل بالكمبيوتر.
- جهاز قياس الضغط الجوي (البارومتر Baromètre): لقياس الضغط الجوي نستخدم البارومتر وهو يقيس الضغط المطلق في المنطقة التي تمت فيها التجربة وهو متصل بالكمبيوتر.
- جهاز قياس سرعة حركة الهواء الدوار (Anémomètre): وهو مزود بمروحة تقيس السرعة حسب عدد دورات المروحة وهو متصل بالكمبيوتر.
- جهاز قياس الرطوبة الجوية (Hygromètre): لقياس الرطوبة النسبية للجو، والتي هي حاصل قسمة الضغط الجزئي لبخار الماء على الضغط الجزئي في حالة التشبع وفي نفس درجة الحرارة نستعمل جهاز به مسبار (sonde)، وهو متصل بجهاز الكمبيوتر.

لدينا صور لبعض الأجهزة المستخدمة في هذه التجارب:



جهاز متعدد القياسات



الأجهزة الخاصة بقياس شدة الإشعاع الشمسي المباشر



جهاز قياس سرعة الرياح



جهاز قياس درجات الحرارة



حاسوب عرض القياسات

الشكل (1-IV): الأجهزة المستخدمة في التجارب.

3-IV) الأدوات المستخدمة في التجارب:

- الأنابيب المدرجة (tubes graduées): تستعمل لقياس الماء كل مدة زمنية قدرها (30 دقيقة) وبذلك نحسب التدفق الكتلي أو الحجمي للماء وكذلك كمية الماء المجموع.
- حوض التغذية بالماء (Basin d'alimentation d'eau): وهو مزود بتركيبية تحافظ على مستوى الماء ثابتا، ويستعمل هذا التجهيز في جميع أنواع المقطرات.
- أنابيب بلاستيكية (tubes plastiques): وهي أنابيب ذات قطر 5 مم إلى 10 مم للتوصيل بين مختلف أجزاء المقطر ونقل الماء مهما كانت نوعيته (نقي، ملح، محلول ملحي).



أنابيب بلاستيكية



حوض التغذية بالماء



الأنابيب المدرجة

الشكل (2-IV): الأدوات المستخدمة في التجارب .

IV-4) سلسلة التجارب:

التجربة الأولى: المقطر الشمسي البسيط.

تمت التجربة بتاريخ 5 أبريل 2021 على المركز الشمسي البسيط ذو ميل واحد ، ويمتاز بعدة إيجابيات أهمها: أنه سهل التركيب، وكذا سهل الصيانة، يحتوي على حوض لونه أسود غير براق وعلى الأبعاد التالية:

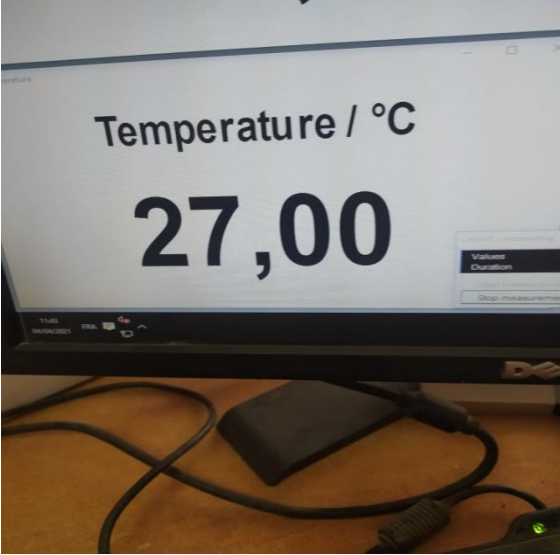
- ❖ سمك الزجاج: (5mm).
- ❖ أبعاد الغطاء الزجاجي: (1m×1m).
- ❖ أبعاد الحوض (الطول×العرض) : (1.2m×1.6m).
- ❖ ارتفاع الغطاء الزجاجي(الارتفاع الكبير36cm ، الارتفاع الصغير10cm).



الشكل (IV-3): صورة توضح التركيب التجريبي للمقطر الشمسي البسيط(الشاهد).

طريقة العمل:

- توصيل المزدوجات الحرارية لقياس درجات الحرارة لكل من الماء والزجاج أما درجة حرارة الهواء فتأخذ من جهاز الكمبيوتر.



الشكل (IV-4): الخطوة الأولى.

- ملاً حوض المقطر بالماء المالح.



الشكل (IV-5): الخطوة الثانية.

- توصيل الأنبوب الخاص بتجميع الماء المقطر.



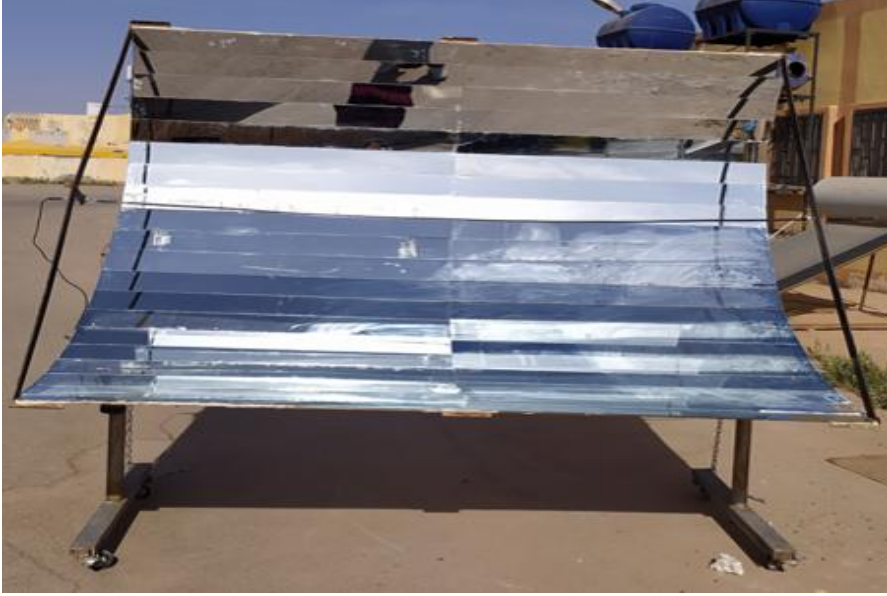
الشكل (IV-6): الخطوة الثالثة.

- الشروع في التجربة مع أخذ القيم والقياسات كل نصف ساعة.

التجربة الثانية: المركز الشمسي الأسطواني القطع مكافئ.

أجريت هذه التجربة يوم 7 أبريل 2021 على مركز شمسي PTC ذو مرايا زجاجية كانت أبعاده كالتالي:

- ❖ قطر الأنبوب الماص (10m).
- ❖ الطول (1.80m).
- ❖ عرض الفتحة (1.60m)
- ❖ البعد البؤري (0.20m)
- ❖ الارتفاع (0.80m).
- ❖ زاوية الحافة (126.8°).



الشكل (IV-7): صورة توضح التركيب التجريبي للمركز الشمسي الأسطواني القطع المكافئ.

طريقة العمل:

- توصيل السلاسل الداعمة وتثبيت الجهاز.



الشكل (IV-8): الخطوة الأولى.

- توصيل جهاز قياس درجة الحرارة لقياس درجة حرارة الماء في مخرج الأنبوب الماص.



الشكل (IV-9): الخطوة الثانية.

- تحديد زاوية الإرتفاع والتتبع الشمسي وتثبيت المركز الشمسي PTC.



الشكل (IV-10): الخطوة الثالثة.

- الشروع في العمل مع أخذ القياسات كل نصف ساعة.

التجربة الثالثة: دمج المقطر الشمسي البسيط مع المركز الشمسي PTC.

أجريت التجربة يوم 9 أبريل 2021 حيث تمت التجربة في أجواء مشمسة عموماً.



الشكل (IV-11): صورة توضح التركيب التجريبي لدمج المركز الشمسي PTC مع المقطر الشمسي.

طريقة العمل:

- توصيل خزان التغذية بالماء المالح مع مدخل ماء للأنبوب الخاص بالمركز الشمسي PTC.



الشكل (IV-12): الخطوة الأولى.

- توصيل مخرج المركز الشمسي بمدخل الماء المالح للمقطر الشمسي بواسطة أنبوب توصيل.



الشكل (IV-13): الخطوة الثانية.

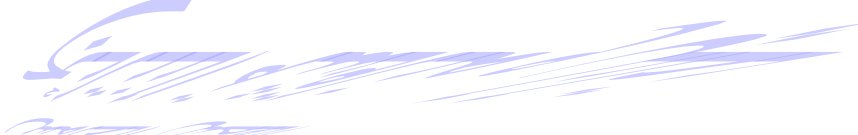
- فتح صمام التغذية بالماء المالح مع أخذ القياسات كل نصف ساعة.

الخاتمة :

في الأخير بعد الدراسة التجريبية تم الحصول على قيم لشدة الإشعاع الشمسي و مختلف درجات الحرارة و كذلك لكمية الماء المقطر الناتج و ترجمت لمنحنيات تم تحليلها و مناقشتها في الفصل الموالي لتمكنا من معرفة مدى تأثير المركز الشمسي على التحسين من المقطر.

الفصل الخامس

تحليل ومناقشة النتائج



(1-V) المقدمة:

بعد إجراء التجارب على المقطر الشمسي ثم المركز الشمسي PTC ثم بعد دمجها معا تم تسجيل النتائج و القياسات المتحصل عليها وذلك من أجل فترات زمنية مختلفة ووضعيات تتبع وتوجيه للمركز الشمسي PTC تم تسجيل النتائج في برنامج Excel ورسمها ببرنامج Origine.

(2-V) التجربة الأولى: المقطر الشمسي البسيط بميل واحد.

تم القيام بهذه التجربة على المقطر الشمسي البسيط ذو ميل واحد، تمت بتاريخ 5 أبريل 2021 في مدينة ورقلة وذلك باستخدام أجهزة متوفرة في مخبر الجامعة، حيث تقاس كمية الماء المقطر كل فاصل زمني قدره نصف ساعة خلال الفترة الممتدة من 9:00 صباحا إلى 17:00 مساء على مدار اليوم.



الشكل (1-V): صورة تجريبية للمقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد.

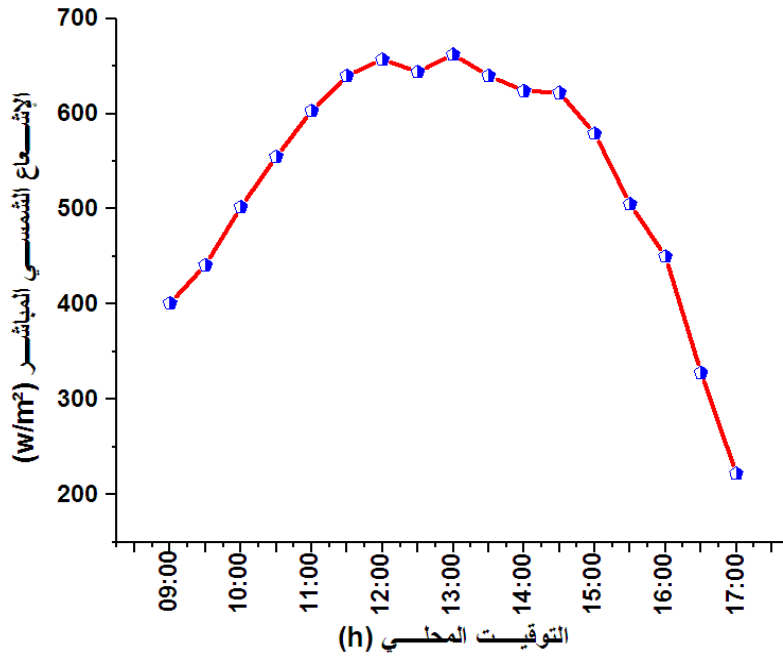
V-2-1) وصف التجربة:

في هذه التجربة لدينا مقطر شمسي واحد ملاً حوضه بالمياه المالحة، حيث تم وضع مزدوجة حرارية داخل الحوض لقياس درجة حرارة الماء الساخن ومزدوجة أخرى على سطح الغطاء الزجاجي لقياس درجة حرارة الزجاج، وكذلك وضعت أجهزة متصلة بالكمبيوتر لتعطينا قيمة كل من درجة حرارة الهواء المحيط والإشعاع الشمسي على مدار اليوم، ثم استخدمت الأنابيب المدرجة لقياس كمية الماء المقطر.

V-2-2) تحليل ومناقشة نتائج التجربة:

• شدة الإشعاع الشمسي:

تم قياس شدة الإشعاع الشمسي طوال النهار باستخدام وذلك بأخذ قيمته كل نصف ساعة كما يوضح الشكل (V-2)، يراد فقط أن يشار إلى أن يوم التجربة لم تكن السماء صافية تماماً.

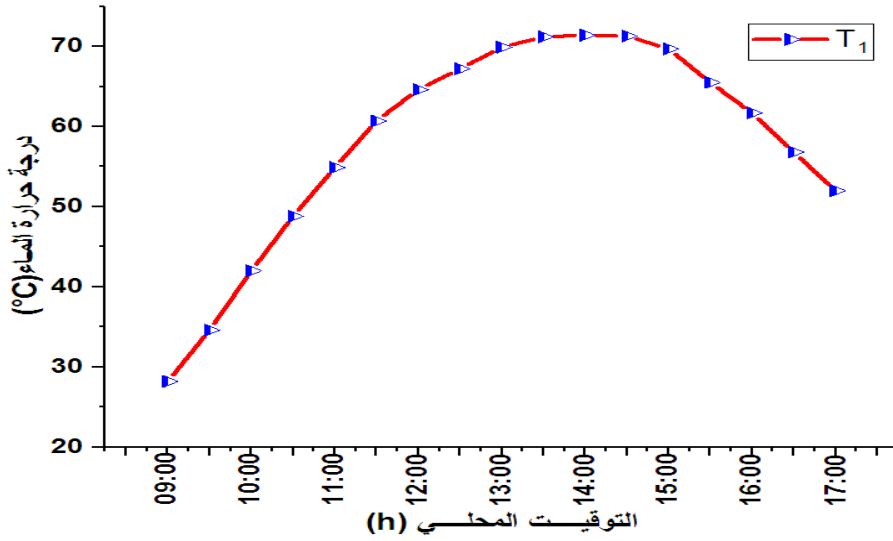


الشكل (V-2): تغيرات شدة تدفق الإشعاع الشمسي خلال اليوم في تجربة المقطر.

نلاحظ في بداية التجربة أن قيمة الإشعاع الشمسي المباشر تتزايد باستمرار إلى أن وصلت إلى قيمة أعظمية 662w/m^2 وذلك عند الساعة 13:00 حيث كانت أشعة الشمس في أوجها ثم تناقصت مع مرور الزمن إلى أن بلغت 222w/m^2 وذلك عند الساعة 17:00.

• درجة حرارة الماء المالح داخل المقطر T1 :

تم قياس درجة حرارة الماء المالح داخل المقطر طوال النهار باستخدام المزدوجة الحرارية في كل نصف ساعة كما يوضح الشكل (3-V).

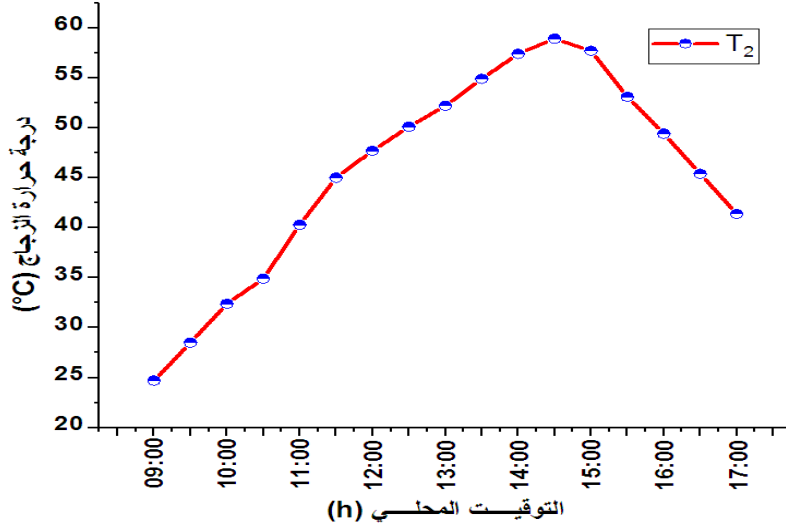


الشكل (3-V): تغيرات درجة حرارة الماء بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة المقطر.

نلاحظ عند الساعة 9:00 تكون درجة حرارة الماء داخل المقطر 28.2°C و تتزايد إلى أن تصل إلى قيمة أعظمية 71.4°C أي الذروة عند الساعة 14:00 ثم تتناقص إلى أن تبلغ القيمة 52°C و ذلك عند الساعة 17:00.

• درجة حرارة السطح الخارجي للغطاء الزجاجي T_2 :

يوضح الشكل (4-V) قياس درجة الغطاء الزجاجي طوال النهار باستخدام المزدوجة الحرارية في كل نصف ساعة، حيث يتعرض الزجاج إلى الحرارة من داخل المقطر ثم تنتقل بالتوصيل الذي تعتمد على علاقة Fourier و يكون لسلك الزجاج الدور الفعال في انتقال الحرارة عند وصول الحرارة إلى الجزء الخارجي للمكثف (الزجاج) فلن الانتقال يعتمد على ظاهرة الحمل وفق مبدأ Newton، وقد يكون طبيعي و قد يكون قسري أو معاً.

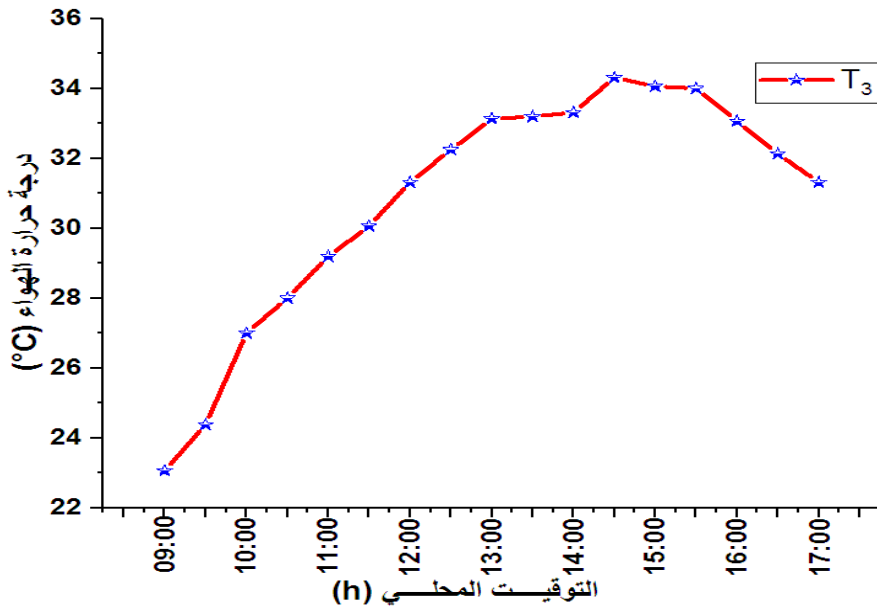


الشكل (4-V): تغيرات درجة حرارة الزجاج من الخارج بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة المقطر.

نلاحظ في بداية التجربة أن عند الساعة 9:00 كانت درجة الحرارة 24.7°C ثم تزداد هذه القيمة مع مرور الزمن لتبلغ ذروتها عند 58.9°C على الساعة 14:30 ثم تتناقص إلى أن تصل إلى 41.4°C على الساعة 17:00.

• درجة حرارة الهواء (الجو) T_3 :

يوضح الشكل (5-V) منحنى تغيرات درجة حرارة الجو بدلالة الزمن، حيث إن درجة حرارة الجو عامل مؤثر في عملية التقطير لهذا فتؤخذ بعين الاعتبار، لذلك نجد درجة الحرارة موجودة في معادلة Newton.

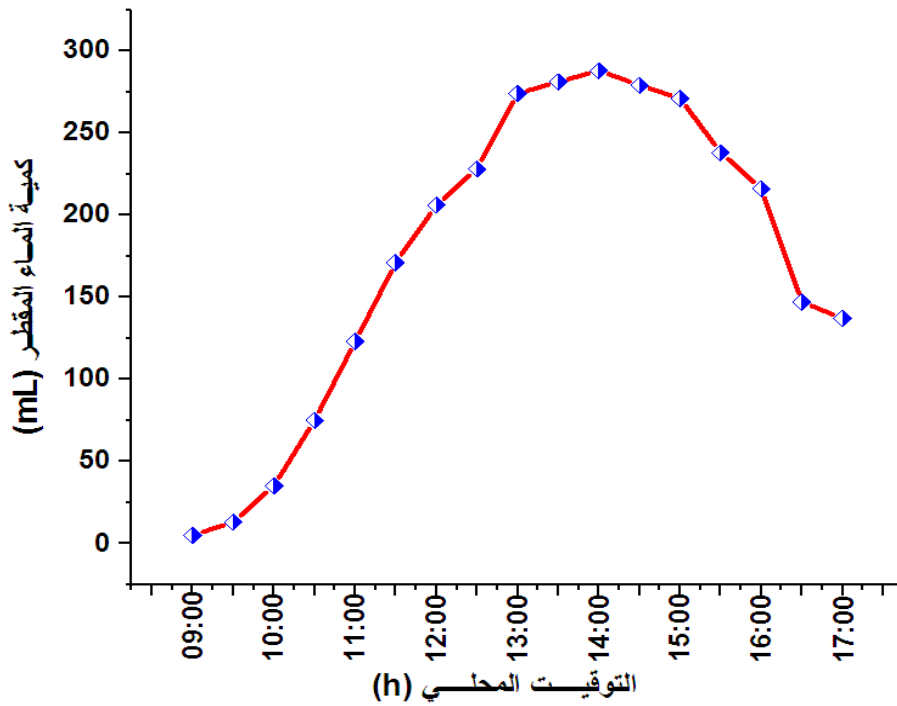


الشكل (5-V): تغيرات درجة حرارة الجو بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة المقطر.

حيث لوحظ أن درجة الحرارة عند الساعة 9:00 كانت 23.06°C ثم تزداد مع مرور الزمن إلى أن بلغت قيمة أعظمية في حدود 34.31°C عند الساعة 14:30 لأن أشعة الشمس كانت شديدة ثم تناقصت إلى القيمة 31.31°C عند الساعة 17:00.

• كمية الماء المقطر الناتج:

يمثل الشكل (6-V) منحنى تطور الماء المقطر بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة المقطر، حيث استخدمت الأنابيب المدرجة لقياس كمية الماء الناتج كل نصف ساعة.



الشكل (6-V): منحنى تطور كمية الماء المقطر بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة المقطر.

لوحظ أن كمية الماء المقطر الناتج تتزايد مع مرور الوقت ففي البداية عند الساعة 9:00 كانت كمية الماء المقطر 5ml إلى أن تصل إلى قيمة أعظمية 288ml عند الساعة 14:00 ثم تتناقص مع مرور الوقت لتصل إلى 137ml عند الساعة 17:00 كما يوضحه منحنى الشكل (6-V).

التفسير:

يفسر تزايد كمية الماء المقطر المنتج إلى انخفاض درجة حرارة الغطاء الزجاجي وذلك بسبب تعرضه لتيارات هواء باردة التي تحمل بكميات من الحرارة الناتجة من الزجاج وكذلك ارتفاع في درجة حرارة الماء المالح داخل الحوض وهذا راجع لنفاذه الغطاء الزجاجي للإشعاع الشمسي مما يساهم في عملية التبخر من ثم التكاثف.

V-3) التجربة الثانية: المركز الشمسي الأسطواني القطع المكافئ.

تم القيام بهذه التجربة على المركز الشمسي PTC يوم 7 أبريل 2021 في مدينة ورقلة وذلك بتوجيهه على وضعيات مختلفة من خلال تتبع أشعة الشمس على مدار اليوم ثم أخذت قيمة درجة حرارة دخول وخروج الماء للمركز الشمسي وكذلك قيمة الإشعاع الشمسي المباشر طوال النهار، حيث أخذت القياسات بفواصل زمني قدره نصف ساعة خلال فترة التجربة وذلك من 9:00 صباحا إلى 17:00 مساءً، ونسجل أن في هذا اليوم كانت به غيوم متقطعة جزئيا.



الشكل (V-7): صورة تجريبية للمركز الشمسي PTC.

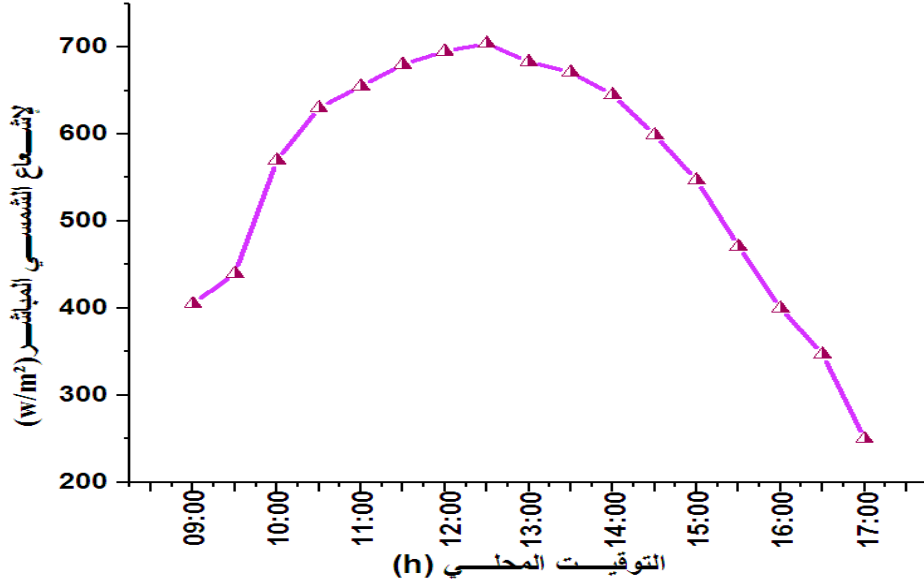
V-3-1) وصف التجربة:

في هذه التجربة لدينا مركز شمسي PTC حيث تمت تغذية مدخل الأنبوب الماص بالماء بتدفق ثابت تقريبا، وفي كل مرة نسجل درجات حرارة كل من: الجو المحيط، الماء في مدخل الأنبوب الماص، الماء في مخرج الأنبوب الماص. وكذلك شدة الإشعاع الشمسي بأجهزة القياس ويتم ذلك كل نصف ساعة من الشروق إلى الغروب.

V-3-2) تحليل و نتائج التجربة:

• كمية الإشعاع الشمسي المباشر:

يوضح الشكل (V-8) منحى تغيرات شدة الإشعاع الشمسي المباشر بدلالة الزمن خلال نفس يوم التجربة، وقد أخذت قيمته كل نصف ساعة بواسطة أجهزة القياس.

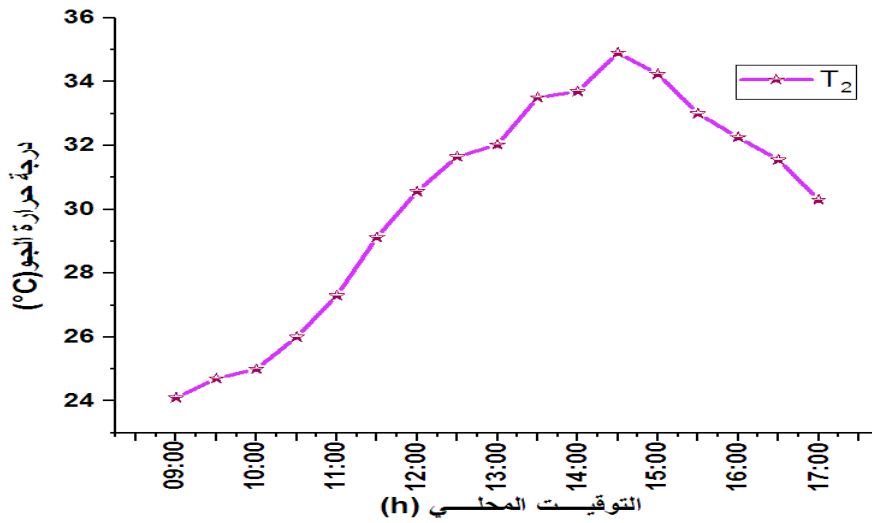


الشكل (8-V): تغيرات شدة الإشعاع الشمسي المباشر بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة المركز.

نلاحظ أن في بداية التجربة أي عند الساعة 9:00 كانت قيمة الإشعاع المباشر 405w/m^2 ثم بدأت في التزايد إلى أن وصلت لقيمة أعظمية 704w/m^2 عند الساعة 12:30 أي قيمة الذروة ثم بدأت في التناقص إلى أن وصلت إلى 250w/m^2 عند الساعة 17:00.

• درجة حرارة الجو:

يوضح الشكل (9-V) منحنى تغيرات درجة حرارة الجو بدلالة الزمن، حيث نقرأ قيمته كل نصف ساعة من جهاز الكمبيوتر.

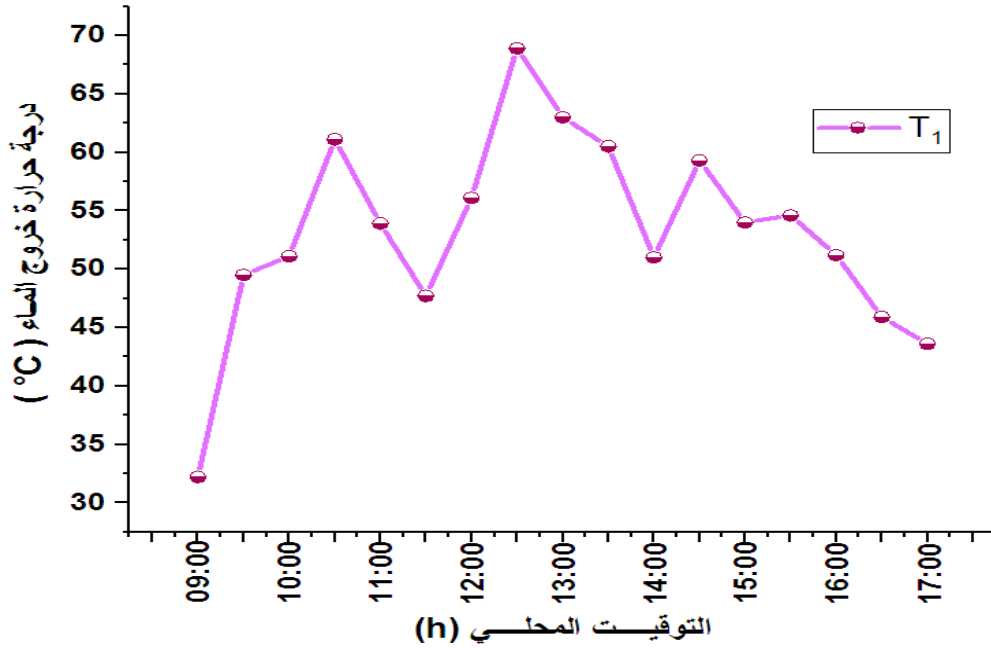


الشكل (9-V): منحنى تغيرات درجة حرارة الجو بدلالة الزمن.

من خلال المنحنى نلاحظ أن عند الساعة 9:00 كانت درجة الحرارة 24.1°C ثم تزايدت إلى أن بلغت ذروتها 34.9°C عند الساعة 14.30 بعدها تراجعت قيمتها إلى 30.3°C عند الساعة 17:00.

• درجة حرارة الماء:

يوضح الشكل (10-V) منحنى تغيرات درجة حرارة الماء الخارج من أنبوب المركز الشمسي مع الأخذ بعين الاعتبار مرور بعض السحاب مما جعل درجات الحرارة تنخفض في العديد من الأوقات.



الشكل (10-V): منحنى تغيرات درجة حرارة الماء الخارج من أنبوب المركز الشمسي بدلالة الزمن خلال اليوم

نلاحظ أن عند الساعة 9:00 كانت درجة الحرارة 32°C ثم بدأت في التزايد ثم تراجعت لترتفع مرة أخرى حتى تصل ذروتها عند القيمة 68.9°C على الساعة 12:30 ثم بدأت في التناقص مجدداً إلى أن بلغت 43.6°C عند الساعة 17:00.

التفسير:

يفسر ارتفاع درجة حرارة الماء داخل الأنبوب الماص للمركز الشمسي PTC إلى زيادة شدة الإشعاع الشمسي المركز على المحور البؤري الخطي بفعل العاكس القطع مكافئ.

(4-V) التجربة الثالثة: دمج المركز الشمسي PTC مع المقطر الشمسي.

تمثل هذه التجربة عملية دمج المركز الشمسي PTC مع المقطر الشمسي البسيط ذو ميل واحد، تمت بتاريخ 9 أبريل 2021 في مدينة ورقلة وذلك باستخدام أجهزة متوفرة في مخبر الجامعة، حيث تقاس كل من كمية الماء الناتج من المقطر، درجات حرارة الجو وزجاج وكذلك الماء المالح و الإشعاع الشمسي المباشر، أخذت القياسات بفواصل زمني قدره نصف ساعة خلال الفترة الممتدة من 9:00 صباحا إلى 17:00 مساء على مدار اليوم.



الشكل (V-11): صورة للتركيب التجريبي لدمج المركز الشمسي PTC مع المقطر الشمسي.

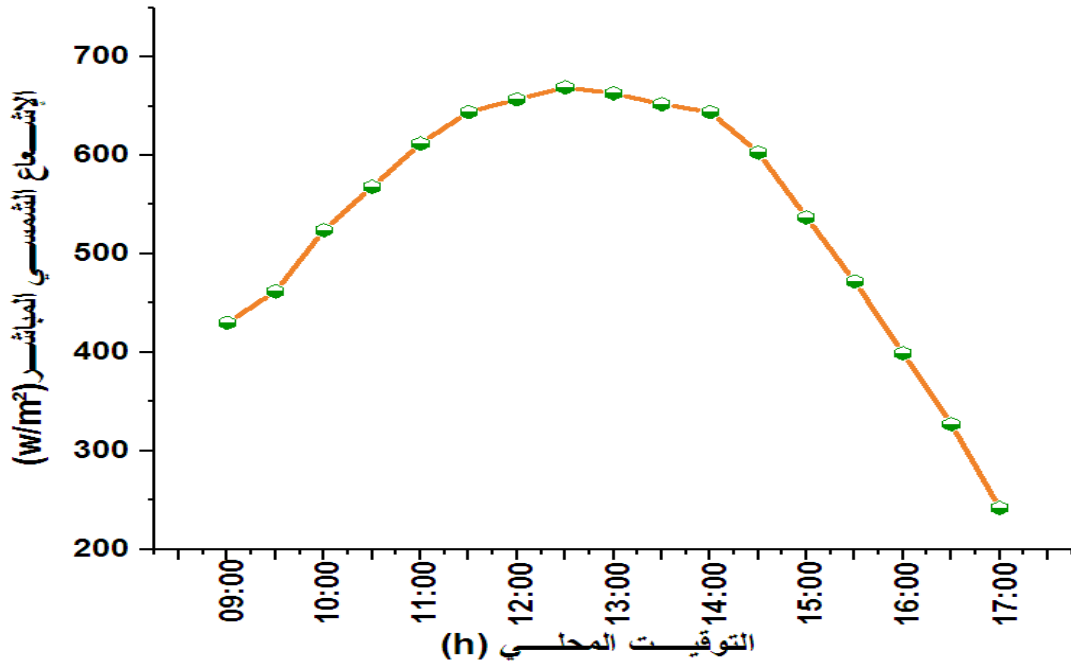
(1-4-V) وصف التجربة:

في هذه التجربة تم القيام بدمج المركز الشمسي PTC مع المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد ، حيث تم تغذية مدخل الأنبوب الماص للمركز بالماء المالح بواسطة أنبوب بلاستيكي متصل بخزان المياه و توصيل مخرج ه بواسطة أنبوب بلاستيكي آخر لربطه بمدخل المياه المالحة للمقطر المستخدم وتم القيام بقياس كمية الماء المقطر الناتج من المقطر في هذه الحالة وكذلك قياس درجة حرارة الجو المحيط، درجة حرارة الماء المالح داخل المقطر، درجة حرارة الزجاج و كذلك شدة الإشعاع الشمسي المباشر في ذلك اليوم كل القياسات تمت بواسطة أجهزة القياس المذكورة سابقا.

(2-4-V) تحليل و نتائج التجربة:

- كمية الإشعاع الشمسي المباشر:

يوضح الشكل (V-12) الإشعاع الشمسي يوم تجربة الدمج حيث أخذت قيمته في جو مشمس عموما.

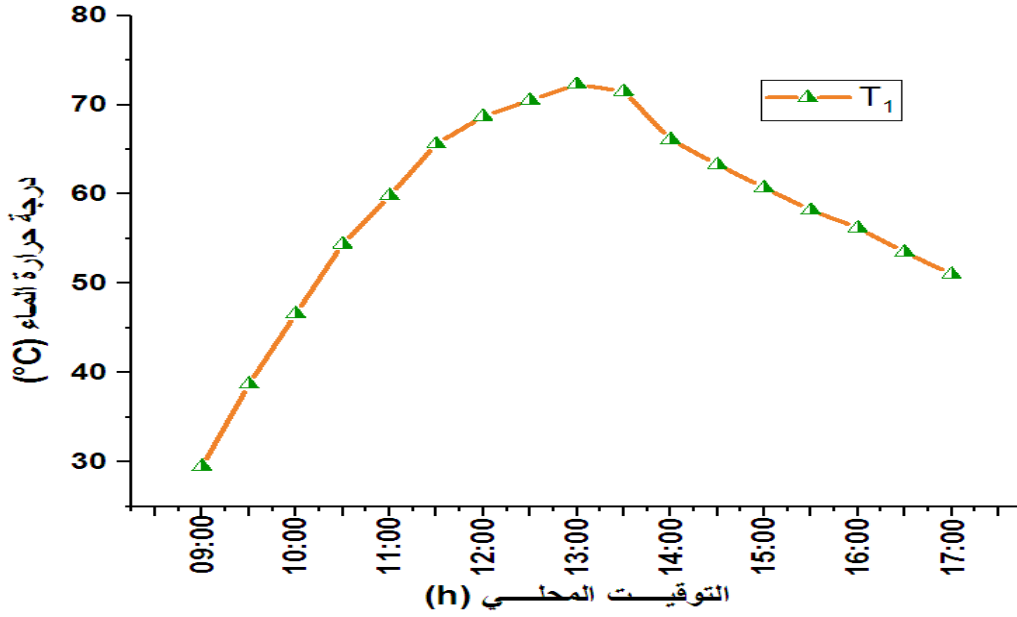


الشكل (12-V): منحنى تغيرات كمية الإشعاع الشمسي المباشر بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة الدمج.

من خلال منحنى الشكل (12-V) نلاحظ أن عند الساعة 9:00 كانت قيمة الإشعاع الشمسي المباشر 430w/m^2 ثم بدأت في التزايد إلى أن تصل لقيمة أعظمية قدرها 669w/m^2 وذلك عند الساعة 12:30 حيث كانت أشعة الشمس في أوجها ثم تناقصت مع مرور الزمن إلى أن بلغت 242w/m^2 وذلك عند الساعة 17:00.

• درجة حرارة الماء المالح داخل المقطر T1:

يوضح الشكل (13-V) تغيرات درجة حرارة الماء المالح بدلالة الزمن ، حيث ملاً الحوض في بداية التجربة بالماء المالح عند درجة حرارة ثابتة، ثم يغذى المقطر بالماء الساخن الصادر من المركز الشمسي طوال فترة التجربة بدرجات حرارة مختلفة.

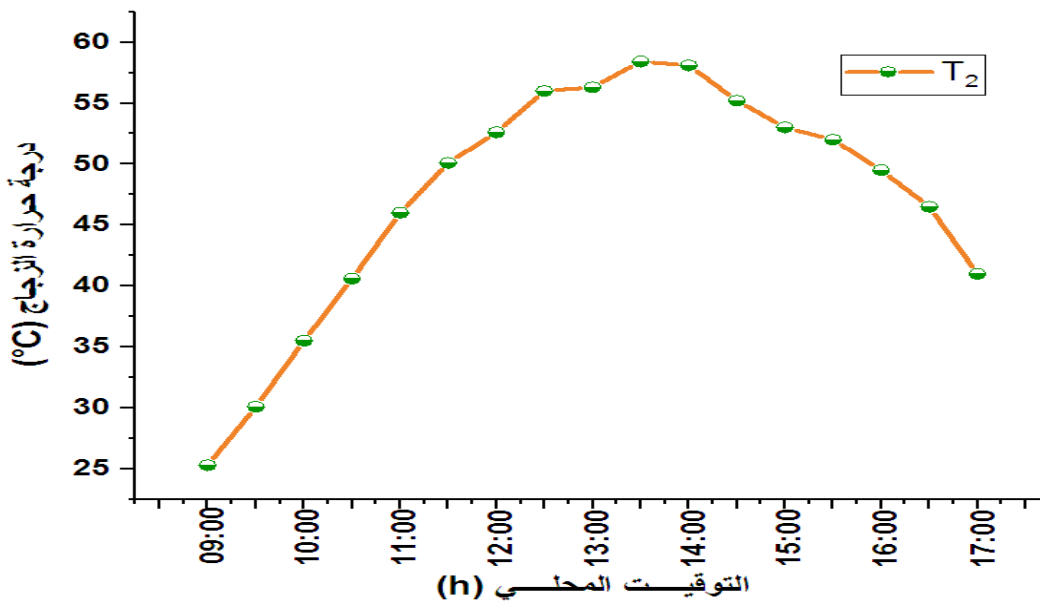


الشكل (V-13): منحنى تغيرات درجة حرارة الماء المالح بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة الدمج.

نلاحظ أن عند الساعة 9:00 تكون درجة حرارة الماء داخل المقطر 29.5°C و تتزايد إلى أن تصل إلى قيمة أعظمية 72.3°C أي الذروة عند الساعة 13:00 ثم تنخفض إلى أن تبلغ القيمة 51°C و ذلك عند الساعة 17:00.

• درجة حرارة الزجاج من الخارج T2 :

يوضح الشكل (V-14) منحنى تغيرات درجة حرارة الزجاج من الخارج بدلالة الزمن، لأن السطح الخارجي للزجاج يبقى طوال فترة التجربة معرض لأشعة الشمس المباشرة وكذلك تيارات الهواء الباردة فتتغير درجة حرارته باستمرار.

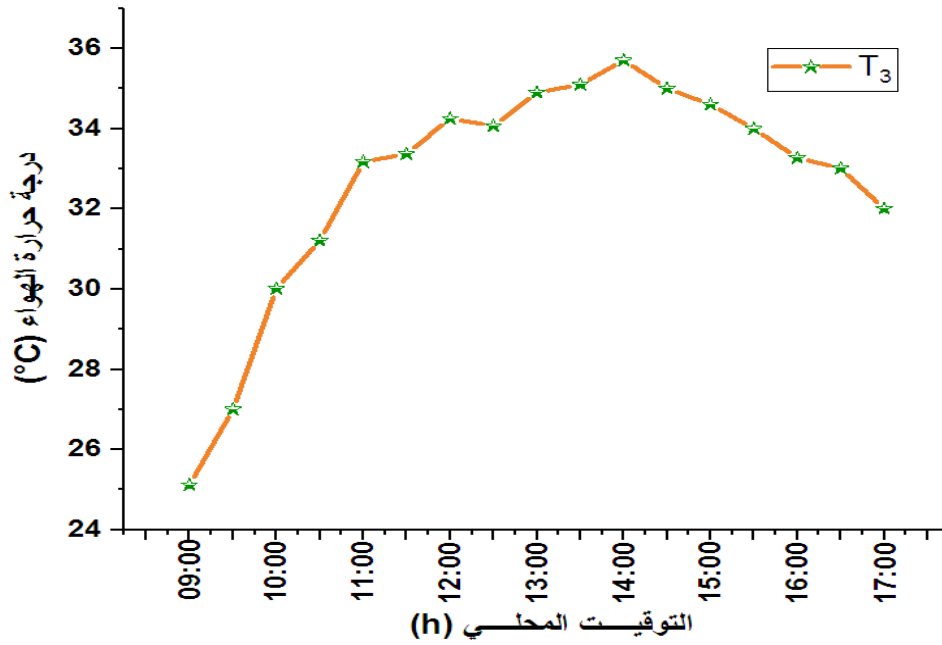


الشكل (V-14) : منحنى تغيرات درجة حرارة الزجاج الخارجي بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة الدمج.

نلاحظ في بداية التجربة عند الساعة 9:00 كانت درجة الحرارة 25.3°C ثم تزداد هذه القيمة مع مرور الزمن لتبلغ قيمة الذروة عند 58.4°C على الساعة 13:30 ثم تتناقص إلى أن تصل إلى 41°C على الساعة 17:00.

• درجة حرارة الهواء (الجو) T_3 :

يوضح الشكل (V-15) منحنى تغيرات درجة حرارة الجو بدلالة الزمن ، حيث تتغير درجة حرارة الجو حسب قيمة الإشعاع الشمسي وكذلك سرعة الرياح التي تساعد في عملية التبادل الحراري.

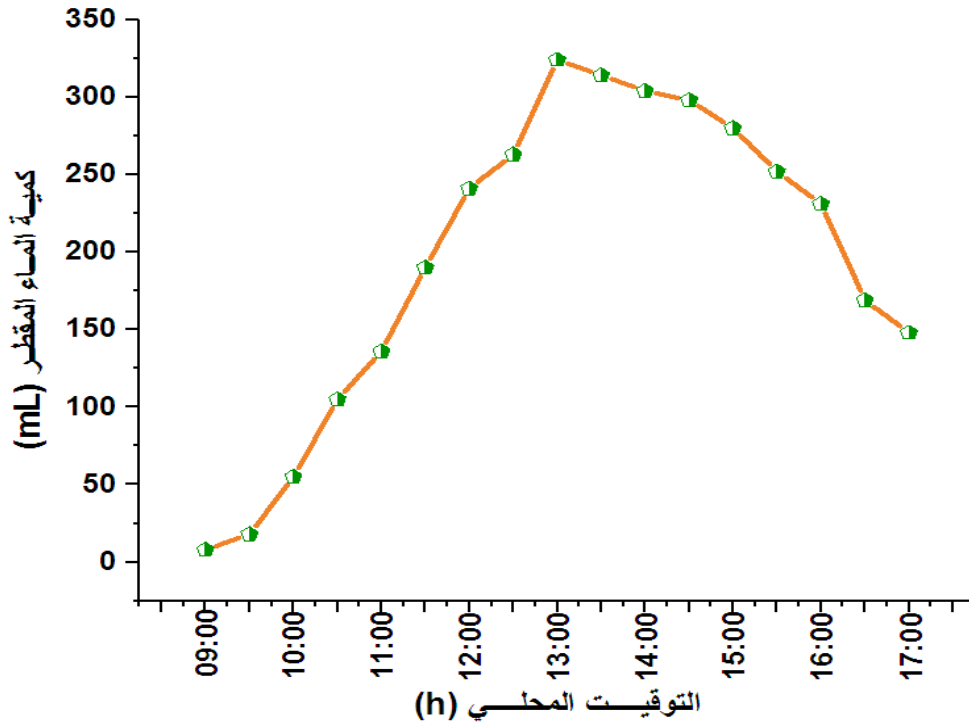


الشكل (V-15) : منحنى تغيرات درجة حرارة الجو بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة الدمج.

نلاحظ أن درجة الحرارة عند الساعة 9:00 كانت 25.12°C ثم تزداد مع مرور الزمن إلى أن بلغت قيمة الذروة أي في حدود 35.7°C عند الساعة 14:00 لأن أشعة الشمس كانت شديدة ثم تناقصت إلى القيمة الدنيا 32°C عند الساعة 17:00.

• تطور كمية الماء المقطر الناتج:

يوضح الشكل (V-16) منحنى تطور كمية الماء المقطر بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة الدمج ، حيث تتغير كمية الماء المقطر حسب الظروف الجوية المحيطة بالتجربة.

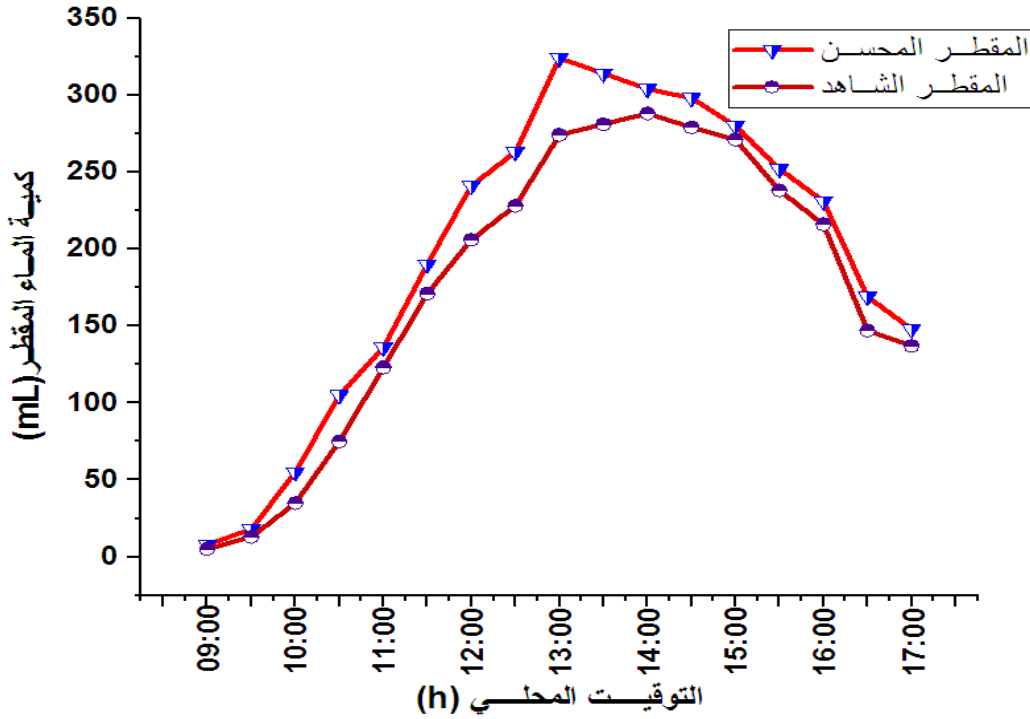


الشكل (V-16): منحنى تطور الماء المقطر بدلالة الزمن خلال اليوم في تجربة الدمج.

نلاحظ أن كمية الماء المقطر الناتج تتزايد بشكل كبير مع مرور الوقت ففي البداية عند الساعة 9:00 كانت كمية الماء المقطر 8ml إلى أن تصل إلى قيمة أعظمية 324ml عند الساعة 13:00 ثم تتناقص بكميات متساوية تقريبا لتصل إلى 148ml عند الساعة 17:00 كما يوضحه منحنى الشكل (IV-17).

(5-V) مناقشة النتائج :

- كميات الماء المقطر بالنسبة للمقطر الشاهد والمحسن معا خلال وقت التجربة:



الشكل (17-V): منحنى كمية الماء المقطر الناتج لكل المقطر الشاهد والمقطر المحسن معا.

التحليل والمقارنة:

يوضح الشكل (17-V) منحنى تغيرات كمية الماء المقطر الناتج من المقطر الشاهد و المقطر المحسن معا حيث نلاحظ أن في الفترة الصباحية من 9:00 إلى 11:00 تزايد متقارب في كمية الماء المقطر بالنسبة إلى كل من المقطر الشاهد والمحسن ثم ترتفع إنتاجية المقطر المحسن بصفة كبيرة ليبلغ ذروته عند القيمة 324ml على الساعة 13:00 مقارنة بالمقطر الشاهد الذي يبلغ ذروته عند القيمة 288ml على الساعة 14:00، ثم ابتداء من الساعة 15:00 زوالا تتراجع مردودية المقطرين الشاهد و المحسن معا بصفة متساوية تقريبا.

التفسير:

يفسر تزايد كمية الماء المقطر في المقطر المحسن مقارنة بالشاهد إلى التحسين المضاف من المركز الشمسي PTC وذلك من خلال تغذيته بالماء الساخن طوال فترة التجربة حيث يقوم الماء الساخن الخارج منه بتسخين الماء في حوض المقطر وبالتالي زيادة في عملية التبخير مما ساعد في استرجاع الحرارة المفقودة من المقطر عبر السطح الماص والعوازل الجانبية.

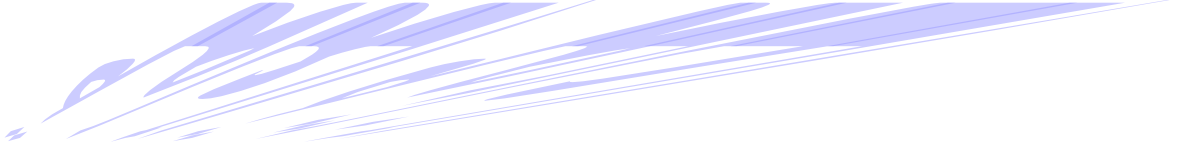
الجدول (1-V): الإنتاجية الكلية للماء المقطر.

الإنتاجية الكلية من الماء المقطر للشاهد	الإنتاجية الكلية من الماء المقطر للمقطر للشاهد
2987mL	3336mL

الخلاصة:

في الأخير و بعد تحليل النتائج المتحصل عليها خلال التجارب نستخلص أن المقطر المحسن يعطي أفضل إنتاجية من المقطر الشاهد و هذا يعود لميزة المركز التي ضاعفت نسبة تركيز الإشعاع الشمسي حيث تم الاستفادة من الماء الساخن الخارج من المركز لتسخين الماء في حوض المقطر وبالتالي تسريع عملية تبخير الماء فكلما ارتفعت شدة الإشعاع الشمسي ارتفعت درجة حرارة المياه المالحة و بالتالي تزداد كمية الماء المقطر الناتجة أي تمت الاستفادة العظمى من الإشعاع الشمسي من قبل PTC حيث يعود التزايد المستمر لشدة الإشعاع الشمسي إلى صفاء الجو أي خلوه من السحب في الفترة الصباحية، أما عند الزوال أي ما بين الساعة 12:00 و 14:00 بلوغ شدة الإشعاع الشمسي ذروته راجع إلى أن الشمس في كبد السماء أي الإشعاع يسقط عموديا على سطح الأرض، أما في الفترة المسائية انخفاض مستمر لشدة الإشعاع الشمسي يعود إلى غروب الشمس.

العلماء الثلاثة



الخاتمة العامة

في هذا البحث قمنا بدراسة تجريبية حول دمج المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد و المركز الشمسي ذو القطع مكافئ PTC، حيث هذه التقنية البسيطة يمكن استعمالها للتزود بالماء المقطر أو الماء الصالح للشرب كما يمكن استعمالها للاحتياجات المنزلية و الصناعية، و خاصة في المناطق المعزولة التي تتميز بدرجة حرارة منخفضة و تتوفر فيها المياه المالحة بكثرة إذ يحتاج لدعم المقطر الشمسي بمركز شمسي من أجل رفع إنتاجية التقطير.

إذا اخترنا في هذا البحث تسليط الضوء على كيفية الاستفادة من الحرارة المركزة من قبل المركز الشمسي و استغلالها في تسخين مياه المقطر الشمسي و زيادة إنتاجية الماء المقطر.

من أجل تحقيق هدفنا قمنا بإجراء ثلاث تجارب: الأولى على المقطر الشمسي البسيط بدون أي تحسينات لأجل معرفة إنتاجية الماء المقطر، و الثانية على المركز الشمسي ذو القطع المكافئ لمعرفة أكبر درجة حرارة يمكن أن يصلها، و الثالثة على المقطر الشمسي البسيط المدمج مع المركز الشمسي و ملاحظة الزيادة في إنتاجية المقطر الشمسي للماء مع قياس شدة الإشعاع و درجات الحرارة للماء و الهواء وغيرها في جميع التجارب.

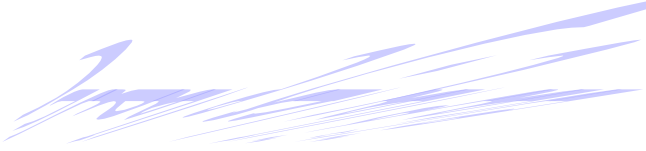
بعد تحليل و مقارنة النتائج المتحصل عليها نظريا و تجريبيا استخلص أن المقطر المحسن أنتج كمية أكبر من الماء المقطر مقارنة بالمقطر الشاهد، حيث أن أكبر كمية أنتجها المقطر المحسن كانت 324 ml عند الزوال، حيث بلغت قيمة الإشعاع الشمسي ذروتها: 669 w/m^2 ، أي تمت الاستفادة من الماء الساخن الخارج من المركز لتسخين الماء في حوض المقطر والذي وصلت درجة حرارته لـ $72.3 \text{ }^\circ\text{C}$ وبالتالي تسريع عملية تبخير الماء فكلما ارتفعت شدة الإشعاع الشمسي و درجة حرارة المياه المالحة داخل المقطر كلما زادت كمية الماء المقطر الناتج ، حيث بلغت كمية الماء لكلا المقطرين 2987mL للمقطر الشاهد و 3336mL للمقطر المحسن خلال اليوم.

كما نوصي بما يلي:

- من المستحسن إستغلال هذه التجربة في فصل الشتاء (حيث تكون درجة الحرارة منخفضة).
- مواصلة ومتابعة البحث لإيجاد طرق ووسائل جديدة لزيادة الاستفادة من الإشعاع الشمسي للوصول إلى أكبر إنتاجية للمقطرات الشمسية.
- دمج المركز PTC مع أنواع أخرى من المقطرات الشمسية.
- إستخدام جهاز للتتبع الشمسي لضمان التوجيه الأمثل للمركز.

كما يأخذ بعين الاعتبار الأخطاء الصناعية للجهاز التجريبي و تجدر الإشارة إلى أن أيام إجراء التجربة لم تكن السماء صافية تماما مما أثر سلبا على النتائج المتحصل عليها.

قائمة المراجع والمصادر



قائمة المراجع:

✓ المراجع باللغة العربية:

- [01] م.مالك الكباريتي، م.عمار الطاهر، م.نضال عبد الله، م. مظفر عميش، حقيبة السخان الشمسي، سلسلة الحقائق التعليمية التدريبية في مجال الطاقات المتجددة،المعهد الوطني لبحوث الطاقة ، المملكة الأردنية الهاشمية .
- [02] ناجي حمود، دراسة و تنفيذ و تحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية، مذكرة ماجستير في هندسة القوى الميكانيكية، جامعة تشرين.
- [05] د. عصام أبو قاسم، د. حافظ عبد الملك، د. ضو عبد الصباح ، الأشعة غير المؤينة طبيعتها و الوقاية من مخاطرها، الهيئة العربية للطاقة الذرية تونس 2011.
- [08] الدكتور رزق مُجد قرفول، حساب كمية الإشعاع الشمسي الساعي المباشر الوارد على أسطح مائلة و أفقية و عمودية في مدينة اللاذقية ، - كمية العلوم ، جامعة تشرين 2019.
- [10] سوداني مُجد البار ،تحقيق عملي لمركز الشمسي اسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي ،مذكرة دكتوراه ،جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2018.
- [11] أ نبيل شهيد، حساب الإشعاع الشمسي الساعي بمساعدة الحاسوب، تقنيات الطاقة ، الطاقة والحياة العدد (الثالث والعشرون) الصيف (يونيو) 2006.
- [12] د خلف الله عمر قاسم ، نظرية الإشعاع الشمسي .
- [24] منيرة ممي، دراسة و تحسين توجيه الضوء الشمسي، مذكرة لنيل شهادة الماجستير في الفيزياء، جامعة الوادي 2013.
- [28] رمي مُجد جبل، نمذجة و محاكاة اللواقط الشمسية المركزة ذات القطع مكافئ المركبة، رسالة لنيل شهادة الماجستير في هندسة الطاقة الشمسية، جامعة تشرين 2016.
- [35] ذوادي رشيدة ، دراسة مقطر شمسي ذو مكثف مظلل جزئيا ، بفعل الاحتباس الحراري الشمسي في المناطق القاحلة مذكرة ماجستير ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2010 .
- [38] المهندس مُجد الشيخ ، المقطرات الشمسية ، 2010 .
- [45] نبيل حسن، بان حسين كصاب ، علي مُجد علي، التقطير الشمسي باستخدام العدسات المكبرة والألواح الشمسية ، مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات و البحوث الهندسية ، 2019.

[47] فياض مُجدَّ عبد، دلف شاكر محمود، دراسة تجريبية لتأثير عمق الماء على انتقال الكتلة لمقطر شمسي سلمي بإضافة محاليل كيميائية، مجلة تكريت للعلوم الهندسية، 2017.

✓ المراجع باللغة الأجنبية:

[03] Dambreville, R. (2014). Prévision du rayonnement solaire global par télédétection pour la gestion de la production d'énergie photovoltaïque, Université de Grenoble.

[04] Wid n, J. and J. Munkhammar (2019). Solar radiation theory, Uppsala University.

[06] Mohamed, N. (2010). "Etude comparative des méthodes d'estimation du rayonnement solaire". Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas-Sétif: 27.

[07] Kalogirou, S. A. (2013). Solar energy engineering: processes and systems, Academic Press.

[09] Bekkouche, S. M. E. A. (2009). Modelisation du comportement thermique de quelques dispositifs solaires.

[13] Jones, G. G. and L. Bouamane (2012). "" Power from Sunshine": A Business History of Solar Energy." Harvard Business School Working Paper Series.

[14] Bensafi, M., S. Zegnoun, et al. (2010). "Etude Exp rimentale Et Modélisation D'un Concentrateur Parabolique Solaire Dans La R gion De B char."

[15] Kalogirou, S. A. (2013). Solar energy engineering: processes and systems, Academic Press.

[16] Lipu, M. S. H. and T. Jamal (2013). "Techno-economic analysis of solar Concentrating power (CSP) in Bangladesh." Int. J. Adv. Renew. Energy Res 2(5): 750-762.

[17] Joardder, M., P. Halder, et al. (2017). Solar pyrolysis: converting waste into asset using solar energy. Clean Energy for Sustainable Development, Elsevier: 213-235.

[18] Hallberg, M. and E. Hallme (2019). Introducing a central receiver system for industrial high-temperature process heat applications: A techno-economic case study of a large-scale CST plant system in a South African manganese sinter plant.

[19] Blanco, M. and L. R. Santigosa (2016). Advances in concentrating solar thermal research and technology, Woodhead Publishing.

- [20] Akhbari, H., M. Bidi, et al. (2019). "Design and Fabrication of a Parabolic Trough Collector and Experimental Investigation of Wind Impact on Direct Steam Production in Tehran." *Int. J. Mech. Ind. Eng.* **13**(2): 140-146.
- [21] Macedo-Valencia, J., J. Ramírez-Ávila, et al. (2014). "Design, construction and evaluation of parabolic trough collector as demonstrative prototype." *Energy procedia* **57**: 989-998.
- [22] Sahoo, S. K. (2016). "Renewable and sustainable energy reviews solar photovoltaic energy progress in India: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **59**: 927-939.
- [23] Abdulhamed, A. J., N. M. Adam, et al. (2018). "Review of solar parabolic-trough collector geometrical and thermal analyses, performance, and applications." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **91**: 822-831.
- [25] Günther, M., M. Joemann, et al. (2011). "Parabolic trough technology." *Advanced CSP teaching materials*: 1-106.
- [26] Akhbari, H., M. Bidi, et al. (2019). "Design and Fabrication of a Parabolic Trough Collector and Experimental Investigation of Wind Impact on Direct Steam Production in Tehran." *Int. J. Mech. Ind. Eng.* **13**(2): 140-146.
- [27] Marif, Y., H. B. Moussa, et al. (2014). "Etude comparative entre les modes de poursuite solaire d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique." *Annals of Science and Technology* **6**(2): 9-9.
- [29] Hachicha, A. A. (2013). "Numerical modelling of a parabolic trough solar collector."
- [30] Forristall, R. (2003). *Heat transfer analysis and modeling of a parabolic trough solar receiver implemented in engineering equation solver*, National Renewable Energy Lab., Golden, CO.(US).
- [31] Padilla, R. V., G. Demirkaya, et al. (2011). "Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver." *Applied Energy* **88**(12): 5097-5110.
- [32] Abed, N., I. Afgan, et al. (2021). "Thermal-Hydraulic Analysis of Parabolic Trough Collectors Using Straight Conical Strip Inserts with Nanofluids." *Nanomaterials* **11**(4): 853.

- [33] Abed, N., I. Afgan, et al. (2021). "Thermal-Hydraulic Analysis of Parabolic Trough Collectors Using Straight Conical Strip Inserts with Nanofluids." *Nanomaterials* **11**(4): 853.
- [34] Ferruzza, D. (2015). Thermocline storage for concentrated solar power: Techno-economic performance evaluation of a multi-layered single tank storage for Solar Tower Power Plant.
- [36] Boualati, Y. (2004). Investigation sur la performance d'un distillateur solaire, Ouargla, Université de Kasdi Merbah. Faculté des Sciences et Sciences de l'...
- [37] Salima, K. (2009). Etude théorique et numérique des systèmes couples: distillateur plan capteur et distillateur hot box-capteur, Thèse de magister.
- [39] Sellami, M. (2014). Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région Sud-Est Algérien (Ouargla), Thèse de Doctorat: Sciences Physiques, Physiques Energétique. Université
- [40] Ranjan, K., S. Kaushik, et al. (2016). "Energy and exergy analysis of passive solar distillation systems." *International Journal of Low-Carbon Technologies* **11**(2): 211-221.
- [41] Gupta, B., T. K. Mandraha, et al. (2013). "Thermal modeling and efficiency of solar water distillation: A review." *American Journal of Engineering Research* **2**(12): 203-213.
- Torchia-Núñez, J. C., J. Cervantes-de-Gortari, et al. (2014). "Thermodynamics of a shallow solar still." *Energy and Power Engineering* **2014**.
- [43] Sonker, V. K., J. P. Chakraborty, et al. (2019). "Solar distillation using three different phase change materials stored in a copper cylinder." *Energy Reports* **5**: 1532-1542.
- [44] Padilla, R. V., G. Demirkaya, et al. (2011). "Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver." *Applied Energy* **88**(12): 5097-5110.
- [46] Oliveira Siqueira, A. M., F. A. Colque, et al. (2021). "A dimensionless parametric study on the performance of a single-effect solar still." *Research, Society and Development* **10**(1): e26910111304-e26910111304.

- [48] Hidouri, K., D. R. Mishra, et al. (2017). "Experimental and theoretical evaluation of a hybrid solar still integrated with an air compressor using ANN." *Desalination and Water Treatment* **88**(January): 52-59.
- [49] Kalita, Pankaj, Dewan, Anupam, Borah, Sangeeta. (2016). A review on recent developments in solar distillation units. *Sadhana* 41.2: 203-223.
- [50] Medugu, D. and L. Ndatuwong (2009). "Theoretical analysis of water distillation using solar still." *International Journal of Physical Sciences* **4**(11): 705-712.
- [51] Johnson, A., L. Mu, et al. (2019). "A thermal model for predicting the performance of a solar still with fresnel lens." *Water* **11**(9): 1860.
- [52] Singh, H. and G. Tiwari (2004). "Monthly performance of passive and active solar stills for different Indian climatic conditions." *Desalination* **168**: 145-150.
- [53] Hanson, A., W. Zachritz, et al. (2004). "Distillate water quality of a single-basin solar still: laboratory and field studies." *Solar energy* **76**(5): 635-645.
- [54] Yaiche, R. (2007). "Logiciel de calcul des paramètres astronomiques à l'usage des installations solaires." *Revue des Energies Renouvelables ICRESD-07 Tlemcen*: 343-348.

الملخص:

تم في هذا البحث إجراء دراسة تجريبية بدمج المركز الشمسي الأسطواني القطع المكافئ مع المقطر الشمسي البسيط أحادي الميل بهدف تحسين إنتاجه.

ظهرت نتائج البحث التجريبية المنجزة أن إضافة المركز الشمسي ذو القطع مكافئ إلى المقطر الشمسي تؤدي إلى تحسين في إنتاجه الساعية خلال ساعات النهار، حيث تم الاستفادة من الماء الساخن الخارج من المركز لتسخين الماء في حوض المقطر وبالتالي تسريع عملية تبخير الماء .

كما أظهرت نتائج البحث التجريبية زيادة في كمية الماء الناتج من المقطر المحسن مقارنة بالمقطر الشاهد حيث وصلت كمية الماء المقطر الكلية خلال اليوم 3336 ml مقارنة بالمقطر الشاهد حيث وصلت إلى 2987 ml وهذا ناتج عن الطاقة الحرارية المقدمة من قبل المركز الشمسي لرفع درجة حرارة الماء المقطر وبالتالي تسريع تبخير المياه المالحة والحصول على الماء المقطر.

الكلمات المفتاحية : مركز الشمسي أسطواني ذو القطع المكافئ ، مقطر الشمسي البسيط ، الماء المقطر ، الإشعاع الشمسي

Abstract:

In this research, an experimental study was conducted, combining the cylindrical solar concentrator with the simple monoclinic solar distiller with a view to improving its productivity.

The results of the experimental research carried out show that the addition of the solar concentrator with an equivalent cut to the solar distiller improves the productivity of the solar distiller during daylight hours. Hot water outside the concentrator was used to heat the water in the distiller basin and thereby accelerate the evaporation of water.

The results of the experimental research also showed an increase in the amount of water produced by the improved distiller compared to the witness distiller. The total distillation during the day reached 3336 ml , compared to the witness distiller, which reached 2987 ml , resulting from the thermal energy provided by the solar concentrator to raise the temperature of the distilled water, thereby accelerating the evaporation of the salt water and obtaining the distilled water .

key words : parabolic trough collector, simple solar distiller, distilled water, solar radiation