



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



رقم الترتيب:

رقم التسلسل:

جامعة الشهيد حمدة لخضر

كلية العلوم الدقيقة

قسم: الفيزياء

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

**ماستر أكاديمي**

مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء إشعاع وطاقة

من إعداد: لبيهي إيمان و تي ريان

الموضوع

دراسة تجريبية لمقطر شمسي باستعمال عدسات مقربة

نوقشت يوم 2026/06/06

أمام اللجنة المكونة من الأساتذة

رئيسا

أستاذ مساعد - أ -

مفتاح محمد الصالح

مناقشا

أستاذ التعليم العالي

حاج عمار محمد علي

مؤطرا

أستاذ محاضر - أ -

غوقالي مبروك

الموسم الجامعي : 2026/2025

أنجز هذا العمل في مخبر استغلال وتثمين المصادر الطاقوية الصحراوية LEVRES

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## شكر وعرافان

قال رسول الله ﷺ " من لم يشكر الناس لم يشكر الله "

الحمد لله حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه، له الحمد أولاً وآخراً، وظاهراً وباطناً، على ما أنعم به علينا من صبر وعزيمة وقوة لمواصلة هذا المشوار.

نتوجه بالشكر الجزيل لمن شرفنا بإشرافه على مذكرة بحثنا "الدكتور مبروك غوقالي" لرحابة صدره ودقة ملاحظاته ولتوجيهاته العلمية التي لا تقدر بثمن التي ساهمت بشكل كبير في إتمام واستكمال هذا البحث، له منا خالص الشكر والامتنان

كما نتوجه بجزيل الشكر وخالص التقدير إلى أعضاء لجنة المناقشة الأفاضل:

الدكتور "حاج عمار محمد علي" والدكتور "مفتاح محمد الصالح" لقبولهم مشكورين تقييم هذا العمل وتخصيص وقتهم الثمين لقراءته ومناقشته.

كذلك نتوجه بالشكر لجميع أساتذة العلوم الدقيقة في قسم الفيزياء الذين قدموا لنا كل العون والجهد طيلة سنوات دراستنا، وإلى كل من درسنا من الطور الابتدائي إلى الجامعي، كل محفوظ باسمه ومقامه.

نتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى مخبر LEVRES الذي أتاح لنا فرصة إنجاز الجانب التطبيقي من هذا العمل، ووفر لنا الإمكانيات والظروف المناسبة لإتمام هذه الدراسة في أحسن الظروف.

ختاماً، نقدم بخالص الشكر والعرافان لكل من دعم مسيرتنا العلمية وساندنا حتى إتمام هذه المذكرة.

## الإهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، الحمد لله أولاً وآخراً، الحمد لله حبا وشكرا وامتنانا، الحمد لله الذي سدد خطايا ووقفني للوصول إلى هذه المرحلة.. وآخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين.

بعد تعب ومشقة دامت خمس سنوات في سبيل الحلم والعلم...أصبح تعبي اليوم للعين قرّة، ها أنا أقف على عتبة تخرجني أطفئ ثمار تعبي، فخورة بنفسي التي لم تستسلم رغم الخيبات والصعوبات، فخورة بما حققته بعد سنوات من الصبر والمثابرة...فاللهم لك الحمد قبل أن ترضى ولك الحمد إذا رضيت.

وبكل حب أهدي ثمرة تخرجني ونجاحي

إلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها .. إلى القلب الحنون.. إلى من كان دعائها سرا في تسهيل الشدائد .. إلى داعمي الأول في مسيرتي وملاذي بعد الله .. إلى أغلى الحبايب وسر الوجود ..

أمي الحبيبة

إلى من أحمل اسمه بكل فخر ... والدي العزيز

إلى فخري واعتزازي .. أخي وأبي الثاني .. إلى من أزاح عن طريقي المتاعب مهدا لي الطريق .. فكان خير سند لي ..

أخي الحاضر

إلى من شد الله به عضدي.. إلى من ساندني وقت ضعفي ..

أخي موسى

إلى من تشبهني قلبا وقالبا .. من جعلت همي همها وفرحي فرحها ..

أختي العزيزة أسماء

إلى من رزقني الله بهن .. إلى زهرات حياتي .. أخواتي الحبيبات ..

مريم، منى، منال

إلى سندي وعزوتي في الحياة .. إخوتي الأحياء

إلى أختي التي لم تلدها أمي .. زوجة أخي الحبيبة .. نسرين

إلى من عرفتها صدفة ورب صدفة خير من ألف ميعاد .. شريكة العمل .. إيمان

إلى كل من آمنوا بي وأمدوني بالقوة في الأوقات الصعبة ومن تذكروهم قلبي ونسيهم قلبي كل محفوظ باسمه ومقامه .. أنا ممتنة

تي ريان

## الإهداء

عندما تتجلى الأحلام ويتحدث الحب والعطاء، أقدم هذه الثمرة لمن كانوا نورًا وإيمانًا في حياتي، لمن مهدوا

لي طريق النجاح بتضحياتهم، منذ الخطوة الأولى وحتى هذه اللحظة الفارقة.

أمي الحبيبة.. نبع الحنان الذي لا ينضب.

أبي الغالي.... قدوتي ومثلي الأعلى في الصبر والعطاء.

هذا العمل هو إهداء متواضع لقلوبكم الكبيرة.

إلى إخوتي رفقاء دربي وسندي الذي لا يميل....

إلى أميري الصغير بسنده الكبير أخي ورفيق دربي "عبد الرحمن"... رغم صغر سنك، أنت القوة والعزيمة أفتخر بك.

إلى كاتمة أسراري وقطعة من قلبي أختي الطيبة "منال" المرحمة والذكية...

إلى بهجة العائلة وروحها الحلوة صغيرتي "رانيا" المدللة والمشغبة أحيانًا...

إلى هبة الله الأجمل لروحي ورفيقة العمر وسكن الروح "نهاد"

إلى شريكة البحث ورفيقة التجربة "ريان" من قاسمتني عناء المذكرة وبهجة الإنجاز.

إلى كل من أحببت وكان لحضوره أثر بالغ في أعماقي، أهدي هذه الثمرة التي جنيتها، وأنا أعيش فخرا لا يوصف، عرفانا وشكرا وحبا دائما.

لبيهي إيمان

## فهرس المحتويات

العنوان	الصفحة
I..... شكر وعرفان	
II..... الإهداء	
IV..... فهرس المحتويات	
IX..... فهرس الأشكال	
XII..... فهرس الجداول	
XIII..... فهرس الرموز	
مقدمة عامة	
2..... مقدمة عامة	
الفصل الأول: الإشعاع الشمسي	
5..... تمهيد	
5..... 1.1 الشمس	
6..... 1.1.1 بنية الشمس	
7..... 1.1.1.1 النواة	
7..... 2.1.1.1 منطقة الإشعاع	
7..... 3.1.1.1 منطقة الحمل	
8..... 4.1.1.1 الفوتوسفير	
8..... 5.1.1.1 الطبقة الانقلابية	

8.....	6.1.1.1 الغلاف الجوي.....
9.....	1.6.1.1.1 الكروموسفير.....
9.....	2.6.1.1.1 الكورونا.....
10.....	2.1 الإشعاع الشمسي.....
11.....	1.2.1 أساسيات الإشعاع الشمسي.....
12.....	2.2.1 طيف الإشعاع الشمسي.....
13.....	3.1 أنواع الإشعاع الشمسي.....
13.....	1.3.1 الإشعاعية المباشرة.....
14.....	2.3.1 الإشعاعية الانتشارية.....
14.....	3.3.1 الإشعاعية الكلية.....
15.....	4.3.1 البياض.....
16.....	4.1 العوامل المؤثرة في الإشعاع الشمسي.....
16.....	1.4.1 زاوية سقوط الإشعاع الشمسي.....
16.....	2.4.1 البعد بين الأرض والشمس.....
17.....	3.4.1 صفاء السماء.....
17.....	4.4.1 نسبة الانعكاسية.....
18.....	5.1 الزوايا الشمسية.....
18.....	1.5.1 زاوية ميل الشمس.....
19.....	2.5.1 زاوية الارتفاع الشمسي.....
20.....	3.5.1 زاوية دائرة العرض.....

20.....	4.5.1 زاوية خط الطول
21.....	5.5.1 زاوية السمث الشمسي
22.....	6.5.1 زاوية السمث الرأسي
23.....	7.5.1 زاوية الساعة الشمسية
24.....	قائمة المراجع
<b>الفصل الثاني : المقطرات الشمسية</b>	
27.....	تمهيد
27.....	1.2 لحة تاريخية
27.....	2.2 تعريف المقطر الشمسي
28.....	3.2 مبدأ عمل المقطر الشمسي
29.....	4.2 العوامل المؤثرة في عمل المقطر الشمسي
29.....	1.4.2 العوامل الخارجية
29.....	1.1.4.2 شدة الإشعاع الشمسي
27.....	2.1.4.2 سرعة الرياح
30.....	3.1.4.2 درجة حرارة الهواء المحيط
30.....	2.4.2 العوامل الداخلية
30.....	1.2.4.2 زاوية ميل الغطاء الزجاجي
30.....	2.2.4.2 عمق الماء المالح داخل المقطر
31.....	3.2.4.2 المسافة التي تقسم السطح الحر إلى لاقطين
31.....	4.2.4.2 تراكم الملح في قاعدة المقطر
31.....	5.2 بعض أنواع المقطرات الشمسية
31.....	1.5.2 مقطرات شمسية تعمل بمبدأ التسخين بالبيت الزجاجي
31.....	1.1.5.2 المقطر الكروي بماسح

32.....	2.1.5.2 المقطر الشمسي المخروطي
33.....	3.1.5.2 المقطر الشمسي الشلال
33.....	2.5.2 المقطرات الشمسية البسيطة
33.....	1.2.5.2 المقطر الشمسي ذو ميلين
34.....	2.2.5.2 المقطر الشمسي الأرضي
34.....	3.2.5.2 المقطر الشمسي بميل واحد
35.....	6.2 بعض الدراسات السابقة لمقطر أحادي الميل
35.....	1.6.2 مقطر شمسي أحادي الميل مع تحسين نظام التكثيف
37.....	2.6.2 مقطر شمسي أحادي الميل مع تحسين المبخر
40.....	قائمة المراجع
<b>الفصل الثالث: دراسة تجريبية لمقطر شمسي</b>	
42.....	تمهيد
42.....	1.3 منطقة الدراسة
42.....	1.1.3 الموقع
43.....	2.3 البروتوكول التجريبي
43.....	1.2.3 النماذج الاولية للأجهزة التجريبية
46.....	2.2.3 مراحل تحضير التجربة
46.....	1.2.2.3 وصف التجربة
48.....	2.2.2.3 الأجهزة والوسائل المستعملة
48.....	3.3 نتائج القياسات
49.....	1.3.3 نتائج قياسات اليوم الأول (04 ماي 2026)
50.....	2.3.3 نتائج قياسات اليوم الثاني (20 ماي 2026)
50.....	3.3.3 نتائج قياسات اليوم الثالث (21 ماي 2026)
51.....	4.3 تحليل النتائج

53.....	1.4.3 تغيرات الإشعاع الشمسي خلال أيام التجربة.
54 .....	2.4.3 تغيرات درجة حرارة الوسط المحيط خلال أيام التجربة.
55.....	3.4.3 تغيرات كمية الماء المنتجة خلال أيام التجربة.
55.....	1.3.4.3 تغيرات كمية الماء المنتجة من المقطر الشاهد.
56.....	2.3.4.3 تغيرات كمية الماء المنتجة من المقطر المحسن.
57.....	3.4.3 تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوسط المحيط.
58.....	5.4.3 تغيرات درجة حرارة الزجاج الداخلي ودرجة حرارة الوسط المحيط.
59.....	6.4.3 تغيرات درجة حرارة الزجاج الخارجي ، الوسط المحيط وسرعة الرياح.
60.....	7.4.3 تغيرات درجة حرارة الماء
60.....	8.4.3 تغيرات كمية الماء المنتجة تجريبيا في المقطرين الشمسيين.
62.....	9.4.3 تطور كمية الماء المقطر المنتجة.
63.....	5.3 دراسة اقتصادية.....
63.....	1.5.3 المردود الاقتصادي.....
65.....	قائمة المراجع.....
خاتمة عامة	
67.....	الخاتمة العامة.....

## فهرس الأشكال:

الصفحة	العنوان	رقم الشكل
الفصل الأول		
7	طبقات الشمس المختلفة.	1.1
8	قلب الشمس ومنطقة الإشعاع.	2.1
8	طبقة الفوتوسفير.	3.1
9	طبقة الكروموسفير.	4.1
9	طبقة الكرونا للشمس.	5.1
10	كمية الطاقة المنطلقة من الشمس.	6.1
11	ثابت الإشعاع الشمسي بدلالة اليوم والسنة.	7.1
12	كمية الطاقة الواصلة من الشمس وتوزيعها على الكرة الأرضية.	8.1
12	الطيف الكهرومغناطيسي العام وتقسيمات الأشعة الضوئية.	9.1
13	مكونات الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض.	10.1
18	حركة الأرض بالنسبة للشمس.	11.1
19	تغيرات زاوية الميل الشمسي خلال أيام السنة	12.1
20	الزوايا الشمسية $(h, a, z)$ .	13.1
21	زوايا تحديد الموقع (زاوية دائرة العرض وزاوية خط الطول).	14.1
22	منظر أفقي يبين زاوية السمات الشمسي.	15.1

22	زاوية السمات الرأسية وزاوية الارتفاع الشمسي والذروة.	16.1
23	زاوية الساعة الشمسية ودائرة العرض.	17.1
<b>الفصل الثاني</b>		
29	مبدأ عمل المقطر.	1.2
32	المقطر الشمسي الكروي.	2.2
32	المقطر الشمسي المخروطي.	3.2
33	المقطر الشمسي الشلال.	4.2
34	المقطر الشمسي ذوميلين.	5.2
34	المقطر الشمسي أرض - ماء.	6.2
35	المقطر الشمسي البسيط بميل واحد.	7.2
36	رسم تخطيطي لمقطر شمسي بسريان الماء فوق المكثف.	8.2
36	مقطر شمسي مربوط بمضخة حرارية.	9.2
37	مقطر شمسي بوجود طبقة من حصى ملون بالأسود.	10.2
38	مقطر شمسي بوجود طبقة من الإسفنج.	11.2
38	لاقط شمسي متعدد أنابيب.	12.2
<b>الفصل الثالث</b>		
42	موقع ولاية الوادي.	1.3
45	المقطرين الشمسيين أثناء التجربة.	2.3
46	المقطران في بداية التجربة.	3.3
47	المقطران في وقت الظهيرة..	4.3
47	المقطران في المساء.	5.3
53	تغيرات الإشعاع الشمسي خلال أيام التجربة.	6.3
54	تغيرات درجة حرارة الوسط المحيط خلال أيام التجربة.	7.3
55	تغيرات كمية الماء المنتجة من المقطر الشاهد خلال أيام التجربة.	8.3

56	تغيرات كمية الماء المنتجة من المقطر المحسن خلال أيام التجربة.	9.3
57	تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوسط المحيط.	10.3
58	تغيرات درجة حرارة الزجاج الداخلي ودرجة حرارة الوسط المحيط.	11.3
59	6.4.3 تغيرات درجة حرارة الزجاج الخارجي، الوسط المحيط وسرعة الرياح.	12.3
60	تغيرات درجة حرارة الماء.	13.3
61	تغيرات كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين الشمسيين.	14.3
62	تطور كمية الماء المقطر المنتجة.	15.3

## فهرس الجداول:

رقم الجدول	العنوان	الصفحة
1.1	خصائص الشمس وأهم مكوناتها	6
2.1	قيم الثوابت A, B, C	14
3.1	قيم ثابت التجربة E	14
4.1	نسبة العاكسية لأجسام مختلفة على سطح الأرض	13
1.3	خصائص العدسات المستعملة	43
2.3	الأجهزة والوسائل المستعملة	45
3.3	نتائج القياسات للمقطر الشاهد يوم (04 ماي 2026)	49
4.3	نتائج القياسات للمقطر المحسن يوم (04 ماي 2026)	50
5.3	نتائج القياسات للمقطر الشاهد يوم (20 ماي 2026)	50
6.3	نتائج القياسات للمقطر المحسن يوم (20 ماي 2026)	51
7.3	نتائج القياسات للمقطر الشاهد يوم (21 ماي 2026)	51
8.3	نتائج القياسات للمقطر المحسن يوم (21 ماي 2026)	52
9.3	تكلفة أجزاء المقطر الشمسي	63

## قائمة الرموز والمصطلحات:

الرمز	الاصطلاحات	الوحدة
$\Delta m$	فرق الكتلة في الطاقة الشمسية	Kg
<b>E</b>	متوسط القدرة للطاقة الشمسية	kW/m <sup>2</sup>
<b>I<sub>1</sub></b>	شدة الإشعاع الشمسي	W/m <sup>2</sup>
<b>I<sub>0</sub></b>	تصحیح الثابت الشمسي	W/m <sup>2</sup>
<b>N<sub>j</sub></b>	رقم اليوم من السنة الشمسية	Jour
<b>I<sub>h</sub></b>	الإشعاعية المباشرة	W/m <sup>2</sup>
<b>D<sub>h</sub></b>	الإشعاعية الانتشارية	W/m <sup>2</sup>
<b>G<sub>h</sub></b>	الإشعاعية الكلية	W/m <sup>2</sup>
<b>H</b>	زاوية الارتفاع الشمسي	° (درجة)
<b>δ</b>	زاوية ميل الشمس	° (درجة)
<b>N</b>	رقم اليوم في السنة من 1 إلى 366	Jour
<b>φ</b>	زاوية دائرة العرض	° (درجة)
<b>ω</b>	زاوية الساعة الشمسية	° (درجة)
<b>L</b>	زاوية خط الطول	° (درجة)
<b>A</b>	زاوية السميت الشمسي	° (درجة)
<b>Z</b>	زاوية السميت الرأسي	° (درجة)
<b>TVs</b>	التوقيت الشمسي الحقيقي	Heure

مقدمة عامة



## مقدمة عامة:

تُعدّ الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة وأكثرها استدامة، إذ تتميز بكونها طاقة نظيفة ومتوفرة بكميات هائلة وغير ملوثة للبيئة. وتُعتبر الشمس من النعم التي سخرها الله تعالى للإنسان، حيث تمد الأرض بالضوء والحرارة الضروريين لاستمرار الحياة، قال تعالى ﴿وسخر لكم الشمس والقمر دائبين﴾ (سورة إبراهيم الآية 35). وتصل إلى الأرض كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي تُقدّر بحوالي  $3.6 \text{ kw/m}^2$  حيث يضيع جزء منها خارج الغلاف الجوي، وينعكس جزء آخر عن سطح الأرض، بينما يُمتص الباقي بواسطة الهواء والماء والتربة. وقد أدى التقدم العلمي إلى استغلال الطاقة الشمسية في العديد من المجالات، مثل إنتاج الكهرباء، وتسخين المياه، وتجفيف المنتجات الزراعية، بالإضافة إلى استخدامها في تحلية المياه المالحة. ويكتسي هذا الاستخدام أهمية كبيرة في ظل التزايد المستمر لعدد السكان وارتفاع الطلب على المياه الصالحة للشرب، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة. ويُعد الماء أساس الحياة على كوكب الأرض، إذ قال الله تعالى: ﴿وجعلنا من الماء كل شيء حي أفلا تؤمنون﴾ (سورة الأنبياء الآية 30). كما يشكل حوالي 70% من جسم الإنسان و71% من مساحة سطح الأرض. ورغم هذه الوفرة الظاهرية، فإن معظم المياه الموجودة على الأرض مالحة بنسبة 96.54%، في حين لا تتجاوز نسبة المياه العذبة 2.53%، ولا تمثل المياه المتاحة للاستعمال المباشر سوى حوالي 0.36%. لذلك أصبحت ندرة المياه من أبرز التحديات التي تواجه العديد من دول العالم، ومن بينها الجزائر التي تعاني من محدودية الموارد المائية الصالحة للشرب، خصوصاً في المناطق الحارة والجافة [1،2].

يُعدّ التقطير الشمسي من التقنيات المستدامة لمعالجة مشكلة ندرة المياه، خاصة في المناطق ذات الموارد المائية المحدودة ودرجات الحرارة المرتفعة، حيث يعتمد على استغلال الإشعاع الشمسي لتحلية المياه المالحة أو الملوثة وتحويلها إلى مياه نقية. وتتم العملية عبر تسخين الماء حتى التبخر ثم تكثيف البخار وجمعه في صورة ماء مقطر خالٍ من الأملاح والشوائب. ورغم بساطة هذه التقنية وانخفاض تكلفتها لاعتمادها على مصدر طاقة متجدد، إلا أن محدودية إنتاجيتها تُعد من أبرز عيوبها، مما دفع العديد من الباحثين إلى تطويرها وتحسين مردودها باستخدام تقنيات وإضافات مختلفة [3].

في هذه العمل سنتناول دراسةً تجريبيةً أُنجزت باستخدام مقطرين شمسيين أحاديي الميل، أحدهما تقليدي يُستعمل كشاهد، والآخر مطوّر باستعمال عدسات مُقربة بهدف زيادة تركيز الإشعاع الشمسي. وقد سعت هذه الدراسة إلى إبراز أثر هذا التحسين على مردود التقطير الشمسي وكمية المياه المقطرة المنتجة. ولتحقيق ذلك، تم إعداد هذا العمل وفق خطة بحث شملت مقدمة عامة، وثلاثة فصول، إضافة إلى خاتمة عامة.

الفصل الأول: نستعرض فيه مكونات الشمس وأهميتها ثم نتطرق إلى الإشعاع الشمسي وأنواعه والعوامل المؤثرة فيه والزوايا الشمسية.

الفصل الثاني: يتضمن هذا الفصل لمحة تاريخية حول استخدامات الطاقة الشمسية في العديد من المجالات منها التقطير الشمسي، ثم تعريف المقطر الشمسي ومبدأ عمله، يلي ذلك عرض لأهم العوامل المؤثرة على إنتاجية المقطر الشمسي، وبعدها نستعرض أنواع المقطرات الشمسية المختلفة، لنختتم الفصل ببعض الدراسات السابقة المتعلقة بالمقتر الشمسي أحادي الميل.

الفصل الثالث: يمثل الجانب التجريبي لهذا العمل والذي سنقوم فيه بالقياسات الحرارية التي أجريت على نموذجي المقطرين الشاهد والمحسن مع ذكر الأدوات والأجهزة المستعملة في القياس ومناقشة النتائج المتحصل عليها وتفسيرها. خاتمة عامة: حوصلنا فيها أهم النتائج المتحصل عليها، كما تضمنت آفاق مستقبلية لهذه الدراسة، مبينين المسارات التي يمكن أن تعزز من تطوير هذا الموضوع، والاقتراحات التي قد تكون نقطة الانطلاق لدراسات لاحقة.

# الفصل الأول:

الإشعاع الشمسي



تمهيد:

عرفت الأبحاث العلمية في مجال تكنولوجيا الطاقات المتجددة مثل الطاقة الشمسية اهتماما واسعا، تعتبر هذه الأخيرة بأنها المستقبل لمصادر الطاقة البديلة وذلك لأنها غير ملوثة للبيئة ولا تكون سببا في إنتاج غازات الاحتباس الحراري المؤثر على المناخ العالمي والناجمة من استخدام الوقود الأحفوري بمعنى أن الطاقة الشمسية ليس لها آثار سلبية كما أنها مقبولة بيئيا. وبعد ارتباط موارد الطاقة الشمسية بالزمان والمكان أحد التحديات في هندسة الطاقة الشمسية من بينها تصميم أنظمة طاقة شمسية قادرة على تجميع أكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي في ظل هذه القيود. وبذلك ستصبح الطاقة الشمسية عالميا هي المصدر الرئيسي للطاقات المتجددة نظرا لإمكاناتها الهائلة ومزاياها طويلة المدى وهذا راجع إلى تطور الأبحاث العلمية مستقبلا في هذا المجال وبهذا تنخفض تكاليف الطاقة الشمسية وتزيد كفاءتها.

لذلك سنتطرق في الفصل الأول تحت عنوان الإشعاع الشمسي لمعرفة خصائص الشمس والإشعاع الشمسي وماهي أنواعه وفيما تتمثل العوامل المؤثرة فيه؟.

## 1.1 الشمس:

انبهر الإنسان منذ القدم بالشمس وطاقاتها الكبيرة والمستمرة دون أن تنضب أو تتغير. حيث تعتبر آية من آيات الله الدالة على وحدانيته وكمال قدرته لهذا الكون لقوله تعالى: ﴿هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ نُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ﴾ سورة يونس الآية(5)[2]. تعتبر الشمس أقرب نجم لدينا في مجرة درب التبانة والتي تحوي ما بين 200 إلى 400 نجم، تقع في قلب النظام الشمسي وماهي إلا نجم متوسط الحجم في هذه المجرة وهي عبارة عن كرة ضخمة من الغازات المتوهجة تتكون بشكل أساسي من الهيدروجين. تشكل كتلة الشمس % 99.86 من كتلة المجموعة الشمسية وهو ما يعادل 330.000 ضعف كتلة الأرض أما حجمها فهو أكبر بمقدار  $303.6 \times 10^3$  مرة من حجم الأرض، يشكل قطرها 109 أضعاف قطر الأرض ويستغرق شعاع ضوء الشمس 8 دقائق وثلاث للوصول إلى الأرض وبالنسبة لكثافتها فإنها أقل من كثافة الأرض 5 مرات [4,5,6].

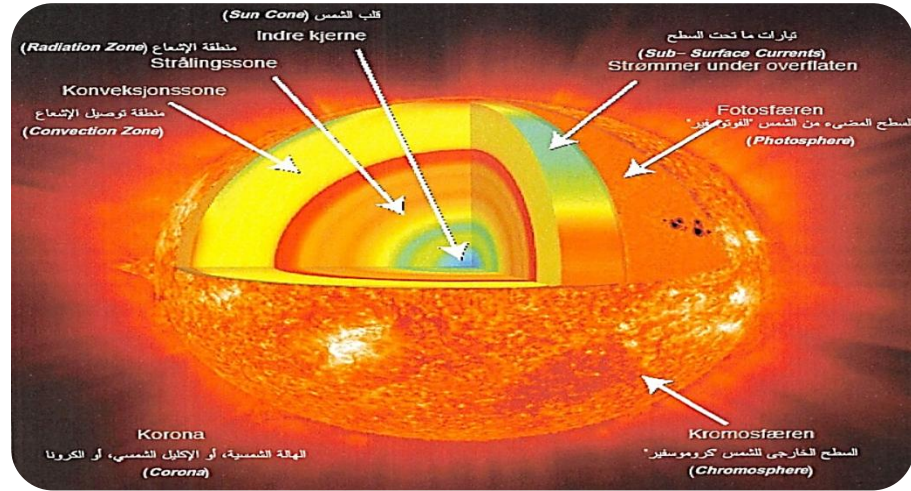
ونلخص أهم الخصائص المميزة للشمس في الجدول التالي:

الجدول (1.1) : خصائص الشمس وأهم مكوناتها. [5,6,7].

أرقام علمية	خصائص الشمس
$1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$	الكتلة
$1.39 \times 10^6 \text{ km}$	القطر
$1.4 \times 10^{27} \text{ m}^3$	الحجم
$1.5 \times 10^{11} \text{ m}$	بعد الشمس عن الأرض
$28 \times 10^3$ سنة ضوئية	بعد الشمس عن مركز المجرة
$6.0877 \times 10^{12} \text{ km}^2$	المساحة السطحية
4.57 مليار سنة	العمر
$15 \times 10^6 \text{ K}$	درجة حرارة القلب
5778 K	درجة حرارة السطح
$1.141 \text{ g/cm}^3$	الكثافة
هيدروجين 73.46%، هيليوم 24.25%، أكسجين 0.77%، كربون 0.29%، حديد 0.16%، كبريت 0.12%، نيون 0.12%، آزوت 0.09%، سيليكون 0.07%، مغنيزيوم 0.05%.	أهم المكونات

### 1.1.1 بنية الشمس:

انطلقت الأبحاث من دراسة التفاوتات في الكثافة والضغط والحرارة داخل الشمس ومن خلالها تبين أن الشمس تتكون من عدة طبقات متميزة عن بعضها البعض [8]. كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل (1.1): صورة توضيحية مقطعية تبين طبقات الشمس المختلفة [9].

### 1.1.1.1 النواة:

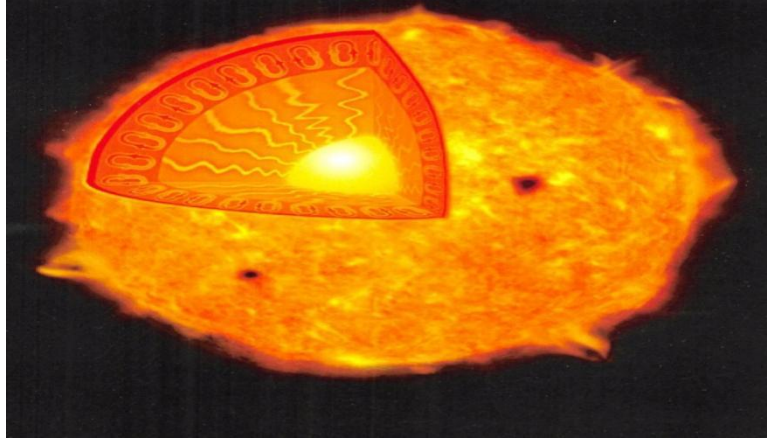
تقع في مركز الشمس ويبلغ نصف قطر نواة الشمس حوالي (23%–28.8%) من نصف قطر الشمس الكلي وتحتوي على ما يزيد عن 40% من كتلتها و15% من حجمها الكلي وتزيد كثافتها عن  $150 \text{ mg/cm}^3$  ويتراوح الضغط ما بين  $(1 - 22) \times 10^6 \text{ bar}$  وتقدر درجة حرارتها  $(15 \times 10^6) \text{ K}$  ويتولد خلالها ما يزيد عن (90%) من الطاقة الشمسية الحرارية الناتجة عن التفاعلات الذرية التي تندمج خلالها ذرات الهيدروجين (H) متحولة إلى هليوم (He) وطاقة [8].

### 2.1.1.1 منطقة الإشعاع:

هي الطبقة التي تحيط بالنواة ويبلغ سمكها حوالي  $(325 \times 10^3) \text{ Km}$  وتصل درجة حرارة الجزء القريب من النواة إلى  $(8 \times 10^6) \text{ K}$  وتصل درجة حرارة الجزء الخارجي لمنطقة الإشعاع حوالي  $(1.5 \times 10^6) \text{ K}$  وتعمل طبقة الإشعاع على حمل الأشعة الشمسية الصادرة من النواة إلى الطبقة الخارجية وهي منطقة الحملان [8].

### 3.1.1.1 منطقة الحمل:

هي الطبقة المحيطة بمنطقة الإشعاع يصل سمكها إلى  $(171.25 \times 10^3) \text{ km}$  أما درجة حرارة الجزء الخارجي فتصل إلى حوالي  $(15 \times 10^3) \text{ K}$  بينما يصل الضغط فيه إلى أقل من  $10^{-2} \text{ bar}$  وتتناقص كثافتها إلى  $10^{-4} \text{ mg/m}^2$  عند حده الخارجي [8].

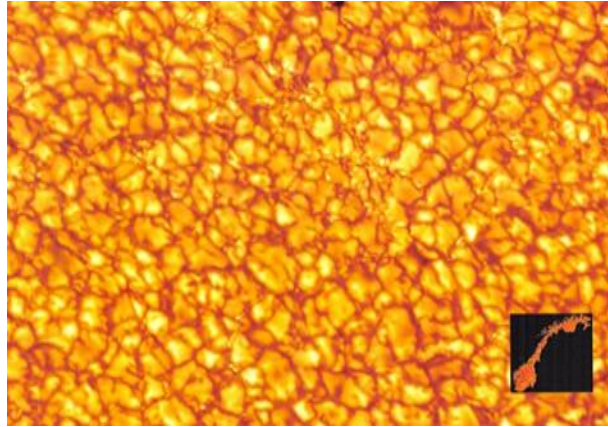


الشكل (2.1): صورة توضح قلب الشمس (النواة)، ومنطقة الإشعاع ومنطقة الحملان [9].

#### 4.1.1.1 الفوتوسفير:

هي الطبقة الخارجية لبنية الشمس يبلغ سمكها 500km وهي بذلك أقل طبقات الشمس سمكا، تبلغ درجة

حرارتها 6000K [8].



الشكل (3.1): صورة توضح طبقة الفوتوسفير (الطبقة الحبيبية) [9].

#### 5.1.1.1 الطبقة الانقلابية:

تمثل الطبقة الأولى من الغلاف الجوي الشمسي كما أنها تتكون من غازات شفافة تبلغ سماكتها حوالي

560km فوق الفوتوسفير، تقدر درجة حرارتها 4200K ولا تلاحظ إلا في أوقات كسوف الشمس الكلي [8].

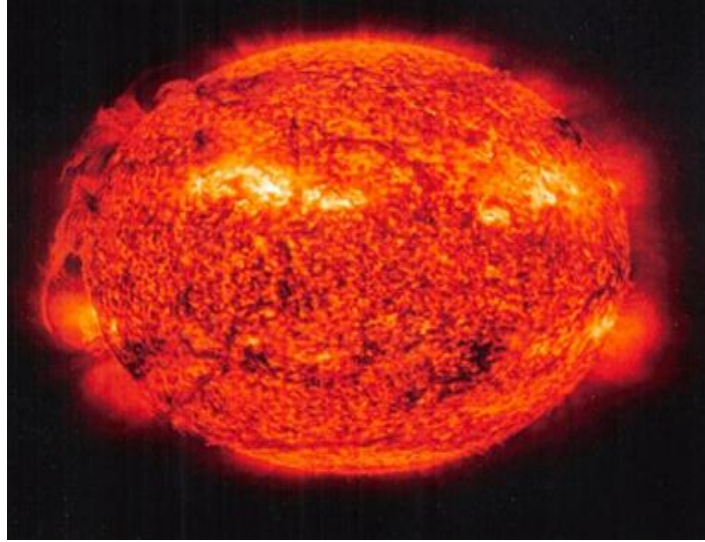
#### 6.1.1.1 الغلاف الجوي:

سمك الغلاف الجوي الغازي للشمس يصل إلى حوالي  $(5 \times 10^6)$ km من سطح الشمس إلى الطبقة

الخارجية وتنقسم إلى طبقتين:

## 1.6.1.1.1 الكروموسفير:

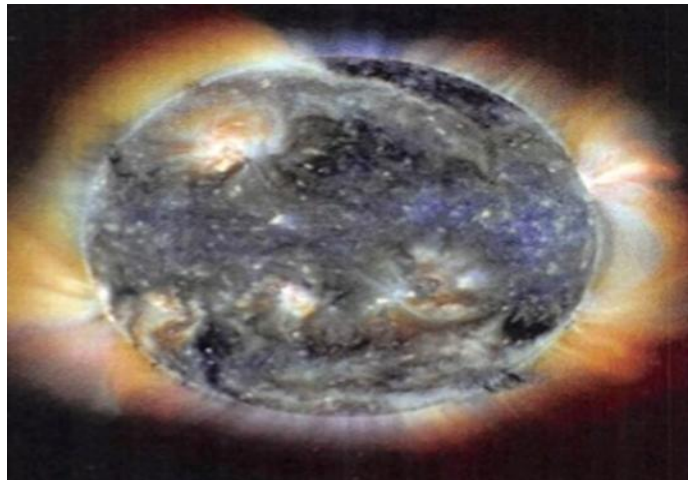
تكون طبقة الكروموسفير فوق الطبقة الانقلاية على شكل هالة تحيط بالشمس ويبلغ سمكها 1000 km، تتزايد درجة حرارتها تدريجيا باتجاه الخارج من 5000 K عند قاعدتها إلى حوالي 20000K عند قممتها [8].



الشكل (4.1): صورة توضح طبقة الكروموسفير [9].

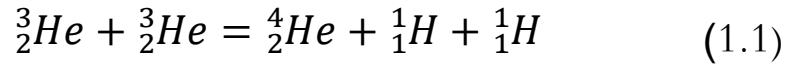
## 2.6.1.1.1 الكورونا:

تشكل هذه الطبقة الخارجية للغلاف الجوي الشمسي، يتم ملاحظتها إلا في أوقات الكسوف الشمسي الكلي، تتكون من البلازما وهي أقل كثافة من الكروموسفير، تتراوح درجة حرارتها بين  $10^6 - 2 \times 10^6$  K [8].



الشكل (5.1): صورة توضح طبقة الكورونا للشمس [9].

يتألف الغاز في باطن الشمس من هيدروجين تحت ضغط هائل جدا يصل حوالي (مليون طن على سنتيمتر مكعب)، مما يؤدي إلى توليد حرارة هائلة حوالي (مليون درجة مئوية) وهي كافية لاندماج (أربع ذرات هيدروجين) لتشكيل نواة هليوم والتي تدعى أيضا برماد الهيدروجين، وبما أن الفرق في الكتلة بين نواة الهليوم ونواة الهيدروجين حوالي  $\Delta m = 0.0265 \times 10^{12} kg$  فإن هذا الفرق في الكتلة يتحول إلى طاقة [8]. وتتم هذه العملية وفق المعادلة الإجمالية التالية [10]:



كما أكدت الدراسات الفيزيائية أن الشمس في أوج شبابها حيث بدأت تشع طاقتها منذ 3 مليارات عام وسوف تستمر في ذلك لمدة مماثلة [8].



الشكل (6.1): كمية الطاقة المنطلقة من الشمس [8].

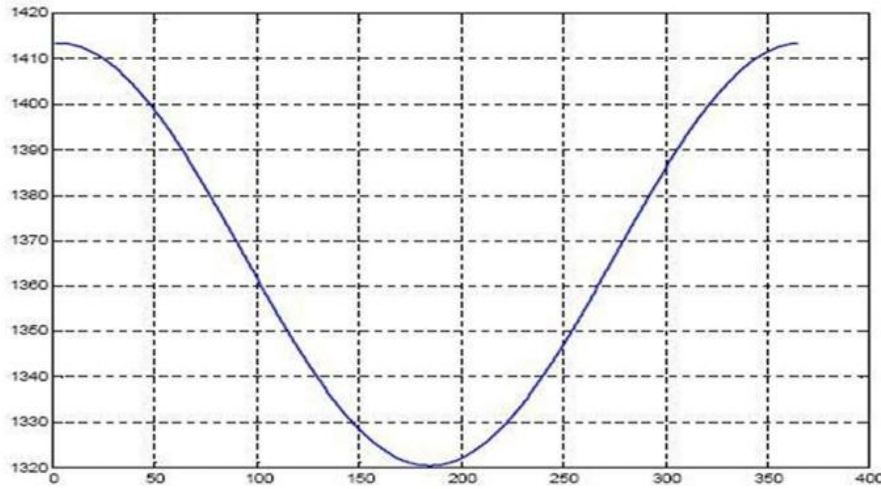
## 2.1 الإشعاع الشمسي:

من غير الممكن أن تستمر الحياة على الأرض دون الشمس، حيث أن معظم الطاقة التي تحصل عليها الأرض مصدرها الشمس. تصل هذه الطاقة إلى كوكبنا عبر الأشعة الشمسية التي تسقط على مساحة معينة وتنتشر في جميع الاتجاهات وهي قادرة على توليد طاقة كهربائية، ويطلق على هذه الظاهرة اسم الإشعاع الشمسي [11, 12]. يبلغ متوسط القدرة للطاقة الشمسية التي تسقط على وحدة المساحة في المستوى الأعلى للغلاف الجوي للأرض

$E = 1367 \text{ w/m}^2$  ويعرف هذا المقدار بالثابت الشمسي [7]. كما تتأثر قيمة هذا الثابت بالتغير في المسافة بين الأرض والشمس خلال السنة وعلاقة التصحيح تعطى بالعلاقة التالية [13]:

$$I_1 = I_0 \left[ 1 + 0.034 \cos \left[ (N_j - 2) \frac{360}{365} \right] \right] \quad (2.1)$$

حيث:  $N_j$ : يمثل رقم اليوم من السنة الشمسية

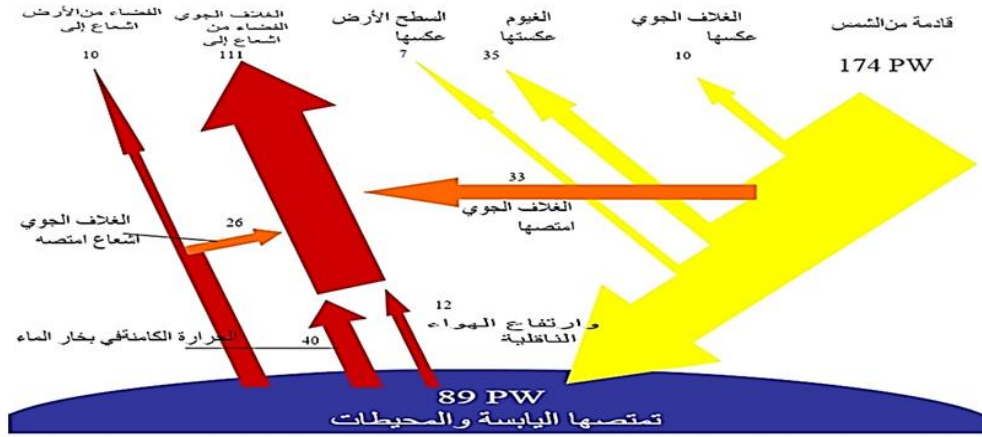


الشكل (7.1): ثابت الإشعاع الشمسي بدلالة اليوم والسنة [14].

### 1.2.1 أساسيات الإشعاع الشمسي:

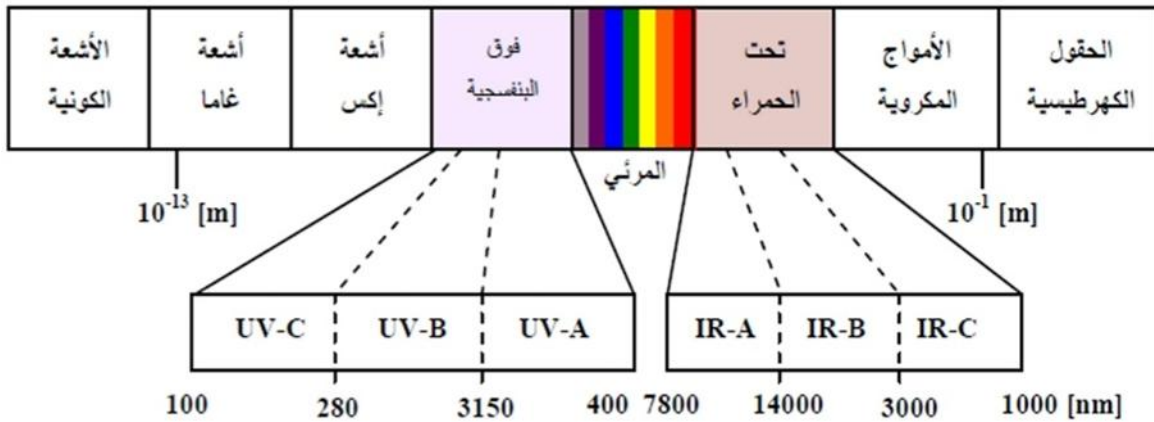
يمتص الغلاف الجوي للأرض في كل لحظة كمية من الإشعاع الشمسي تعادل 174 بيتا واط أي

$(174 \times 10^{15}) \text{ W}$  حيث ينعكس حوالي 30% منها إلى الفضاء. أما النسبة المتبقية فيتم امتصاصها من قبل السحب والمحيطات والكتل الأرضية. ويصل إجمالي الطاقة الشمسية التي تمتصها الأرض والغلاف الجوي والمحيطات إلى حوالي  $10^{18} \text{ J}$  سنويا. والجدير بالذكر أن كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض هائلة لدرجة أنها تفوق بكثير ما يمكن الحصول عليه من جميع مصادر الطاقة الأرضية مجتمعة، مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي [15].



### 2.2.1 طيف الإشعاع الشمسي:

يعتبر طيف الشمس جزء من الطيف الكهرومغناطيسي والذي ينقسم إلى نطاقات حسب أطوالها الموجية كما هو موضح في الشكل [16].

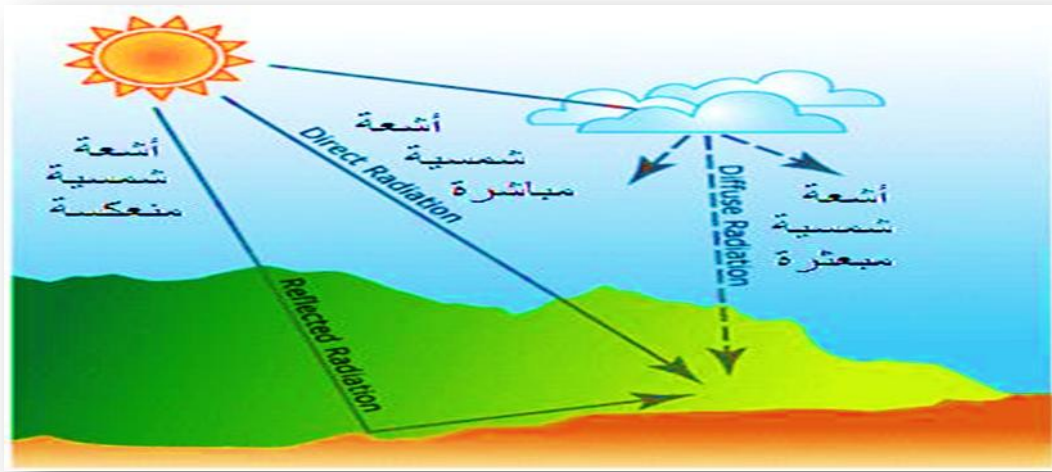


الشكل (9.1): الطيف الكهرومغناطيسي العام وتقسيمات الأشعة الضوئية [13].

ومن هذا الطيف الكبير للموجات الكهرومغناطيسية نشعر فقط بالموجات في نطاق الأطوال من (0.1 إلى 100) ميكرون حيث تسبب هذه الموجات إحساسنا بالحرارة وبالتالي تسمى بالإشعاع الحراري كما أن نطاق الضوء المرئي جزء يسيرا من هذا الإشعاع [17].

### 3.1 أنواع الإشعاع الشمسي:

عند مرور الإشعاع الشمسي خلال الغلاف الجوي فإنه يمتص بعضه في الغلاف الجوي وينعكس بعضه إلى الفضاء خارج الغلاف الجوي وبالتالي يكون الإشعاع الذي يصل إلى سطح الأرض يتكون من جزأين الأول إشعاع مباشر والجزء الآخر إشعاع منتشر، وذلك نتيجة للجزء المبعثر من الإشعاع بواسطة الغلاف الجوي كما هو موضح في الشكل [18]:



الشكل (10.1): مكونات الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض [19].

#### 1.3.1 الإشعاعية المباشرة: $I_h$ :

يعرف على أنه الإشعاع الساقط على سطح ما مباشرة من الشمس، حيث أنه لا يتأثر بعوامل الامتصاص والانتشار [14،20].

تعطى علاقة الإشعاع المباشر بالعلاقة الثالثة [18]:

$$I_h = A \cdot e^{\frac{-1}{B \sin(h+C)}} \quad (3.1)$$

حيث الجدول التالي يوضح قيم  $A$ ،  $B$ ، و  $C$  والتي تمثل ثوابت التجربة وتعتمد على طبيعة السماء.

الجدول (2.1) قيم الثوابت A , C , B [18].

سماء صافية جدا	C = 1	B = 6	A = 1210
سماء صافية قليلة الغيوم	C = 1.6	B = 3.8	A = 1230
سماء في حالة غبار وضباب	C = 3	B = 2.3	A = 1260

### 2.3.1 الإشعاعية الانتشارية $D_h$ :

يقصد به الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض بعد تعرضه لعوامل الانكسار والانعكاس [18]. وتعطى بالعلاقة التالية [18]:

$$D_h = E(\sin h)^{0.4} \quad (4.1)$$

الجدول التالي يوضح قيمة الثابت E التي تعتمد على طبيعة السماء، والتي تأخذ القيم التالية:

الجدول (3.1): قيم ثابت التجربة E [18].

سماء صافية جدا	E = (3/4). 125
سماء صافية الغيوم	E = 125
سماء في حالة غبار وضباب	E = (3/4). 125

### 3.1.1 الإشعاعية الكلية $G_h$ :

يقوم الغلاف الجوي للأرض بامتصاص جزء من الإشعاع الشمسي وتشتت الجزء الآخر، حيث الجزء المتشتت لا

يفقد كليا، فجزء منها سيصل إلى سطح الأرض على هيئة ما يسمى بالإشعاعية الانتشارية، ومجموع كل من

المباشرة والانتشارية يسمى بالإشعاع الكلية [8].

ويحسب في حالة الإشعاع الناظمي بالعلاقة التالية [18]:

$$G_h = I_h \sin h + D_h \quad (5.1)$$

حيث:

$I_h$ : الإشعاع المباشر.

$h$ : زاوية الارتفاع الشمسي.

$D_h$ : الإشعاع المنتشر في السماء.

#### 4.1.1 البياض (الإشعاع الشمسي المنعكس):

هو جزء الأشعة التي تصل إلى سطح الأرض والتي يمكن أن تنعكس نحو المستقبل ويعتمد البياض أساسا على خصائص سطح الأرض وزاوية السقوط [8].

يبين الجدول التالي بعض البيانات عن القيم النسبية للبياض.

الجدول (4.1): نسبة العاكسية لأجسام مختلفة على سطح الأرض [21].

اسم المادة	نسبة العاكسية %
الثلج حديث السقوط	93-75
الثلج القديم	70-50
الحشائش	30-15
الرمال	25-15
التربة	20-7
الغابات	10-3
الغيوم السميكة	80-70
جليد البحر	40-30

#### 4.1 العوامل المؤثرة في الإشعاع الشمسي:

يتوزع الإشعاع الشمسي على سطح الأرض بشكل غير متساوي وذلك لأن الأرض كروية، كما أنها تدور حول الشمس في مدار إهليجي وهذا يؤدي إلى تباين في كمية الطاقة الشمسية الواصلة الى سطح الأرض حيث أن المناطق الاستوائية والمدارية تستلم كمية عالية من الطاقة بينما العروض الوسطى والقطبية تستلم كميات أقل من الطاقة، إن اختلاف التوزيع هذا يعود إلى العوامل الآتية [21]:

##### 1.4.1 زاوية سقوط الاشعاع الشمسي:

هي الزاوية المحصورة بين اتجاه سير الأشعة التي تسقط على سطح الأرض و الاتجاه العمودي على هذا السطح، فالأشعة المائلة تعبر مسافات أكبر من الغلاف الجوي قبل أن تصل إلى سطح الأرض أما بالنسبة للأشعة الساقطة عموديا فتجتاز مسافات أقل وهذا تفسير سقوط الأشعة العمودي على المناطق المدارية و تكون هذه المناطق أشد حرارة من غيرها، أما بالنسبة للمناطق البعيدة عن خط الاستواء فتسقط عليها إشعاعات شمسية مائلة و تكون بذلك مناطق أبرد من المناطق الأولى و نشاهد هذه الحالة أيضا عند الشروق و الغروب حيث أن الأشعة تكون ضعيفة نسبيا بسبب زاوية ميل سقوطها في حين تكون في أقصى قوتها عندما تكون الشمس في أعلى وضع لها وقت الظهيرة و بنفس الشيء يمكن تفسير اشتداد قوة الأشعة في الصيف عنها في الشتاء [22].

##### 2.4.1 البعد بين الأرض والشمس:

تُعدُّ الطاقة الشمسية أحد أهم مصادر الطاقة على كوكب الأرض، إذ تُطلق الشمس كميات هائلة من الضوء نحو الفضاء المحيط بها. ونظرًا لأن الأرض تدور حول الشمس ضمن مدار محدد بقدرة الله عز وجل، فإن كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض يوميًا تتفاوت تبعًا لموقع الأرض في مدارها حول الشمس، مما يؤدي إلى اختلافها باختلاف الفصول الأربعة على مدار السنة. تُعدُّ الدول الواقعة على خط الاستواء من المناطق التي تشهد مناخًا شبه ثابت على مدار العام، حيث تسود فيها درجات حرارة مرتفعة تشبه فصل الصيف، نظرًا لتعرضها المستمر لأشعة الشمس. وبالتالي، فإن سكان هذه المناطق نادرًا ما يشعرون بالفصول الأخرى. أما المناطق الواقعة شمال وجنوب خط الاستواء، والقريبة من القطبين، فتتميز بتغير واضح في الفصول، مما يسمح لسكانها بالإحساس بالدورات الموسمية الأربعة. بشكل عام، تبلغ كمية الإشعاع الشمسي التي تمتصها الأرض ذروتها عند الظهيرة، عندما تكون أشعة الشمس عمودية على السطح، في حين تكون أقل عند شروق الشمس وغروبها. ويرجع ذلك إلى انخفاض المفايد

الإشعاعية في فترة الظهيرة، حيث تكون عمليات الامتصاص والتبعثر للإشعاعات الشمسية محدودة. تشمل هذه المفاهيم امتصاص الشحب للأشعة الشمسية، أو تبعثرها في الفضاء نتيجة انعكاسها عن جزيئات الرماد البركاني والدخان الناتج عن حرائق الغابات والتلوث البيئي. ونتيجة لذلك، تصل كمية أكبر من الإشعاعات الشمسية إلى سطح الأرض في منتصف النهار [23].

### 3.4.1 صفاء السماء:

يتعرض الشعاع الشمسي قبل أن يصل إلى سطح الأرض إلى جميع العمليات المؤثرة فيه من امتصاص و انعكاس و تشتت و هذا يفسر أن كمية الإشعاع الشمسي الواصلة إلى سطح الغلاف الغازي لا تصل كلياً إلى سطح الأرض، حيث تعتمد الكميات الممتصة و المنعكسة في الغلاف الغازي على سمك هذا الغلاف و على كمية الغيوم و الغبار الموجودة في الهواء حيث كلما كانت كمية الغيوم و الغبار كبيرة كلما كان الامتصاص و الانعكاس أكبر أما تشتت الأشعة في الغلاف الغازي فتعتمد على تركيبة هذا الغلاف من الغازات و بالتالي فإن كمية الامتصاص، الانعكاس، التشتت تعتمد على حالة الغلاف الغازي و على زاوية سقوط الأشعة، حيث تقدر كمية الأشعة المنعكسة و المتشتتة في الغلاف الغازي من قبل الغيوم و ذرات الغبار و جزيئات الهواء و سطح الأرض بحوالي 33% من مجموع الإشعاع الشمسي الواصل إلى أعلى الغلاف الغازي، و هناك 19% من الإشعاع الشمسي الداخل إلى الغلاف الغازي يقوم بتسخين الهواء مباشرة و ذلك من خلال امتصاصه من طرف بخار الماء الموجود في الهواء و كذلك عن طريق تكوين الأوزون أما الباقي 47% يصل إلى سطح الأرض بشكل مباشر و قليل جداً من الأشعة المتشتتة [21].

### 4.4.1 نسبة العاكسية (Albedo):

يكون تأثير هذا العامل على كمية الإشعاع الشمسي بنسبة صغيرة إذا تم حسابه من سطح الأرض وبنسبة كبيرة إذا حسب من الغلاف الجوي. يعتمد مفهوم نسبة العاكسية على أن جميع الأجسام في الطبيعة تعكس و تشتت جزء من الإشعاع الساقط عليها و تمتص ما تبقى من هذا الإشعاع و ذلك لأن الطبيعة لا تحتوي على أجسام سوداء أو بيضاء فيزيائياً (حيث الجسم الأسود يمتص 100% و الجسم الأبيض يعكس 100%) حيث يوجد دائماً كمية منعكسة أو متشتتة من الإشعاع و الباقي ممتص. إن كمية الإشعاع الممتص أو المنعكس من قبل الجسم يعتمد أساساً على خشونة سطح الجسم و على لون الجسم. فالألوان التي تقترب من الأبيض تعكس مما تمتص و العكس صحيح بالنسبة للأجسام القريبة من الأسود [21].

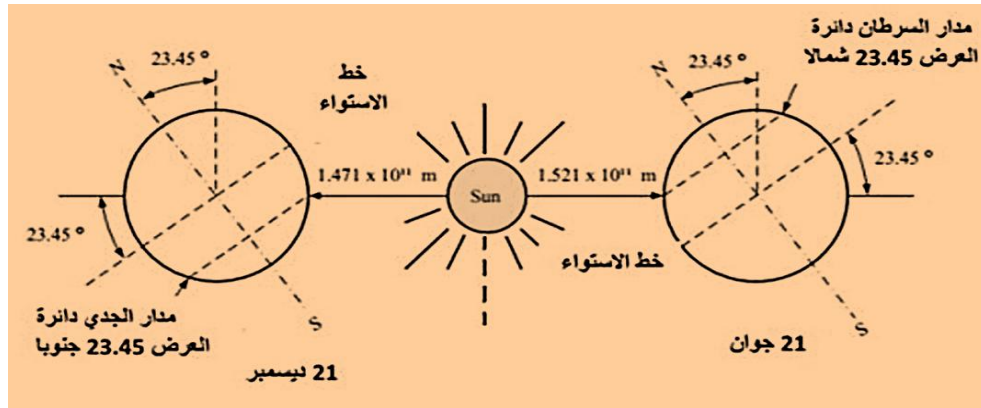
### 5.1 الزوايا الشمسية:

تتأثر شدة الإشعاع الشمسي في نقطة ما من سطح الأرض بدوران الأرض حول الشمس والتي يتم تحديدها من خلال الزوايا الشمسية التالية [18]:

#### 1.5.1 زاوية ميل الشمس $\delta$ :

خلال دوران الأرض حول الشمس في مسار إهليجي تكمل الأرض دورة كاملة خلال 365.25 يوم حيث تبلغ المسافة بين الأرض والشمس أقل قيمة في 21 ديسمبر والتي تقدر بـ  $1.47 \times 10^{11} m$  كما تبلغ قيمتها العظمى  $1.52 \times 10^{11} m$  في 21 جوان. يصنع محور دوران الأرض حول نفسها مع الناظم على المستوى الإهليجي زاوية ميل  $\delta$  تتغير قيمتها [19].

$$-23.45^\circ \leq \delta \leq +23.45^\circ$$



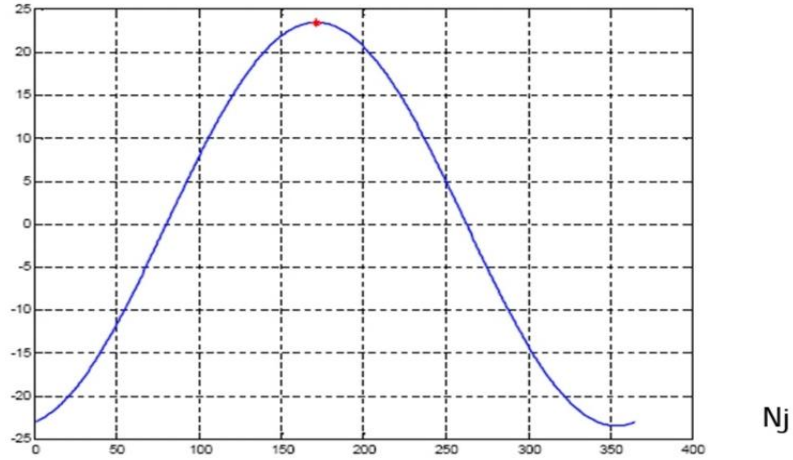
الشكل (11.1): حركة الأرض بالنسبة للشمس [24].

وتحسب زاوية الميل الشمسي في كل يوم من السنة بالعلاقة [12]:

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left( 360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (6.1)$$

حيث  $n$ : يمثل رقم اليوم في السنة من 1 الى 366

$\delta (^{\circ})$



الشكل (12.1): تغيرات زاوية الميل الشمسي خلال أيام السنة [17].

### 2.5.1 زاوية الارتفاع الشمسي $h$ :

تمثل الزاوية المحصورة بين اتجاه الأشعة الشمسية وخط الأفق، وهي مهمة في تحديد كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض [24,18].

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

وتكتب بالعلاقة التالية [24]:

$$\sin(h) = \sin \varphi \cos \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (7.1)$$

حيث:

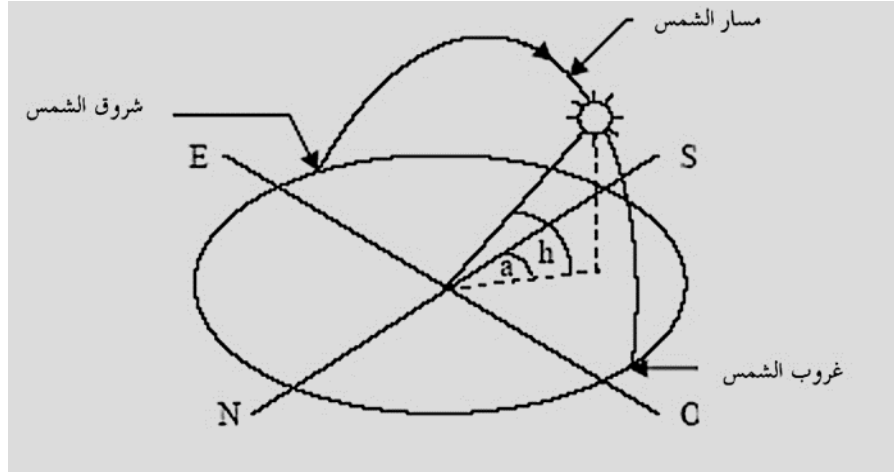
$H=0$  : عند شروق و غروب الشمس.

$H<0$  : في النهار.

$H>0$  : في الليل.

حيث:

$\varphi$  : زاوية دائرة العرض  $\omega$  : زاوية الساعة الشمسية



الشكل (13.1): الزوايا الشمسية (h,a,z) [17].

### 3.5.1 زاوية دائرة العرض $\varphi$ :

هي الزاوية المحصورة بين المتجه المار بين نقطة على سطح الأرض ومركز الأرض ومسقطه على خط الاستواء [18].

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

حيث:

$$\varphi > 0 : \text{شمال خط الاستواء}$$

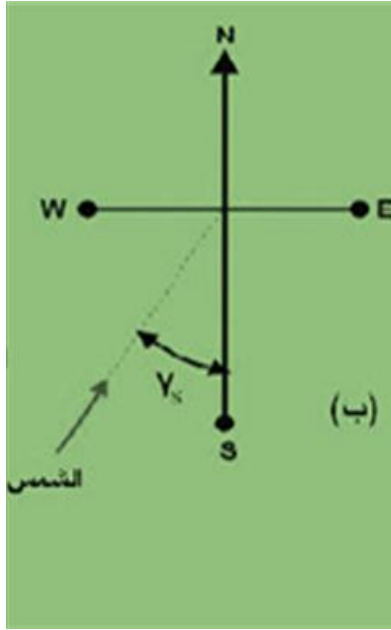
$$\varphi < 0 : \text{جنوب خط الاستواء}$$

### 4.5.1 زاوية خط الطول L:

هي الزاوية التي يصنعها خط الطول المار بالمنطقة مع خط الطول المار ببلدة غرينيتش البريطانية الذي نعتبره خط الصفر، وتقرأ الزاوية الموجبة شرقاً وسالبة غرباً [18].

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



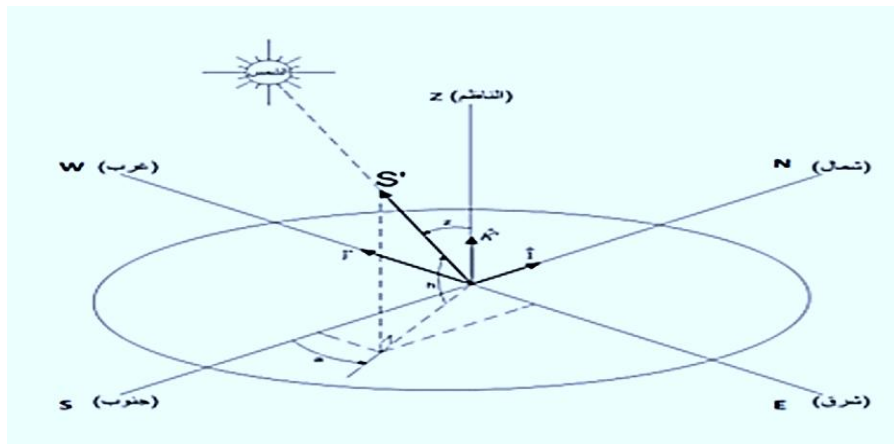


(الشكل 15.1): منظر أفقي يبين زاوية السمات الشمسي [17].

### 6.5.1 زاوية السمات الرأسية: $z$

هي الزاوية بين الشعاع الشمسي وسمت الأرض (الخط الشاقولي المار بالموقع) وبذلك فهي متممة زاوية الارتفاع الشمسي [24].

$$z = \frac{\pi}{2} - h$$



(الشكل 16.1): زاوية السمات الرأسية وزاوية الارتفاع الشمسي والذروة [18].

ويمكن حسابها بالعلاقة التالية [18]:

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos L \cos \omega + \sin \delta \sin L \quad (9.1)$$

### 7.5.1 زاوية الساعة الشمسية $\omega$ :

تعين هذه الزاوية بالدوران المنتظم للأرض حول محورها القطبي، حيث يوجد ارتباط مباشر للتوقيت الشمسي الحقيقي ويكون متغيراً أساساً. يسمح بالحساب الصحيح للإحداثيات الزاوية للشمس. كل ساعة تقاس من وقت الظهر الشمسي وتكون سالبة قبل الظهر وموجبة بعد الظهر.  $\omega \in [-180^\circ, +180^\circ]$ .

وتعطى بالعلاقة التالية [18]:

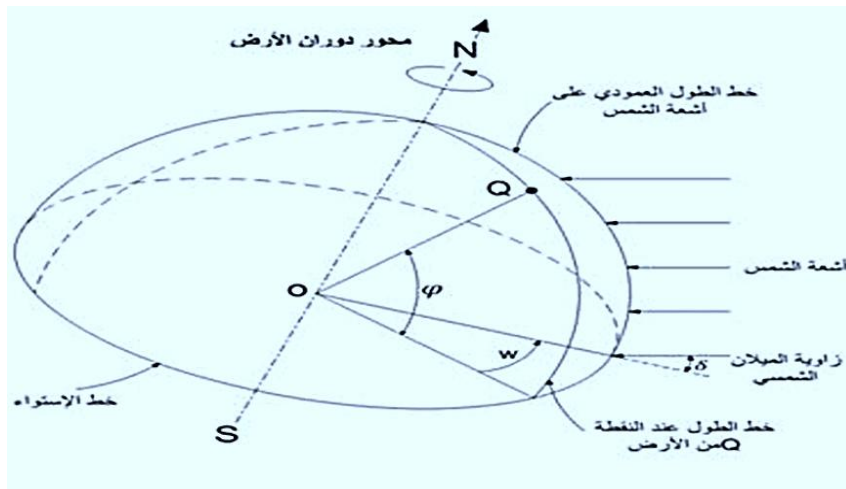
$$\omega = \frac{360}{24} (Tvs - 12) \quad (10.1)$$

حيث:

$$1 \text{ heure} = 15^\circ \quad \text{أو} \quad 24 \text{ heure} = 360^\circ \quad \text{أي} \quad \omega = 0^\circ = 0 \text{ h}$$

$Tvs$ : يمثل التوقيت الشمسي الحقيقي

عند زوال الشمس:  $\omega = 0$  مساءً بعد الزوال:  $\omega > 0$  صباحاً قبل الزوال:  $\omega < 0$



(الشكل 17.1): زاوية الساعة الشمسية ودائرة العرض للمنطقة [18].

## مراجع الفصل الأول:

- القرآن الكريم، سورة إبراهيم، الآية 35، الصفحة 259.
- القرآن الكريم، سورة الأنبياء، الآية 30، الصفحة 24 .
- [1] أحمد بخوش، زرارة بطاش، الطاقة المتجددة كبديل لقطاع النفط دراسة حالة بوحدة البحث التطبيقي في مجال الطاقة المتجددة ARAER-غرداية-مذكرة ماستر، كلية لعلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، تخصص اقتصاد وتسيير بترولي، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر، 2013.
- [2] فريدة كافي، الطاقات المتجددة بين تحديات الواقع ومأمول المستقبل دراسة حالة تجربة الأمانية نموذجاً، بحوث اقتصادية عربية، العددان 74-75، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، جامعة باجي مختار، عنابة، 2016.
- [3] شلغام منيرة، استعمال اللاقط الشمسي لتحسين أداء المقطر الشمسي، أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر 2023.
- [4] مصطفى خيرى، اكتشاف النظام الشمسي، المنصورة للنشر، 2016.
- [5] فريد مصعب الدليمي، الطاقة الشمسية، الإشعاعية الحرارية والاحتباس الحراري، دار غيداء للنشر والتوزيع، 2013.
- [6] خلف الله عمر قاسم، نظرية الإشعاع الشمسي، 2021.
- [7] رائد خضر سلمان الفهداوي، محاضرات في الطاقات المتجددة، قسم الفيزياء، 2016.
- [8] ستيفان كروتر، ترجمة عبد الباسط علي صالح كرمان، توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية أنظمة الطاقة الفوتوفولطية، المنظمة العربية للترجمة، 2011.
- [9] بول بركا، ترجمة محيي الدين عبد الغني، الشمس النجم الذي يهبنا الحياة، المركز القومي للترجمة، القاهرة 2016.
- [10] سي جوليان تشن، ترجمة مصطفى مُجد فؤاد، فيزياء الطاقة الشمسية، مؤسسة هنداوي، 2020 .
- [11] يسرى مصطفى، الطاقة المتجددة، الموارد والتكنولوجيا، دار عبيد للنشر والتوزيع والطباعة، 2020.
- [12] كاميليا يوسف مُجد، تكنولوجيا محطات المركزات الشمسية، دار الكتب والوثائق القومية، 2018.
- [13] نبيل شهيد، تقنيات الطاقة حساب الإشعاع الشمسي الساعي بمساعدة الحاسوب الطاقة والحياة، العدد 23، 2006.
- [14] عصام أبو قاسم، حافظ عبد المالك، ضو عبد المصباح، الأشعة غير المؤينة كبيعتها والوقاية من مخاطرها، الهيئة العربية للطاقة الذرية تونس، 2011.

[15] [https://ar.wikibooks.org/wiki/%D9%85%D9%84%D9%81:](https://ar.wikibooks.org/wiki/%D9%85%D9%84%D9%81:%D8%A7%D9)

%D8%A7%D9 10:00a.m على الساعة 15/01/2026

[16] مُجّد رأفت إسماعيل رمضان الطاقة المتجددة، الشمس والرياح والنبات وأمواج البحر ومساقط المياه لتحلية الماء وتسخينه والطهي وتكييف الهواء وتوليد الكهرباء، دار الشروق، 1986.

[17] فراح هاجر، مهبوبي خولة، المركزات الشمسية وأنظمة تخزين الطاقة الحرارية، مذكرة ماستر، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، الجزائر، 2018.

[18] مصطفى القطبي، عبد الله باكر محسن، دراسة تجريبية لمكثف مكافئ للطاقة الشمسية، مذكرة ماستر، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر، 2019.

[19] Ismail Tabet, Etude d'un Distillateur Solaire a cascade, thèse de magister, université de Constantine, Algérie, 2010.

[20] أولاد سالم حليلة، تقدير الإشعاع الشمسي في منطقة ورقلة وتأثير طرق التتبع الشمسي وزوايا توجيه اللاقط على شدة الإشعاع، مذكرة ماستر، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر، 2016.

[21] قصي عبد المجيد السامرائي، مبادئ الطقس والمناخ، اليازوري العلمية للنشر والتوزيع، 2020.

[22] علاء داوود المختار و حسين مجاهد مسعود، أساسيات الجغرافيا الطبيعية، دار زهران للنشر والتوزيع، 2015.

[23] محرم عبد الكريم، الطاقة الشمسية، دار أسامة للنشر والتوزيع، 2009.

[24] SAYIGH Ali, characteristics of solar radiation, solar energy conversion, Pergamon Press, Ontario, 1979.

# الفصل الثاني:

المقطرات الشمسية



## تمهيد:

يُصنف الشح المائي حالياً كأحد أبرز التحديات الهيكلية المهددة للأمن الحيوي والتنموي، حيث تتنامى الحاجة للمياه الشروب بمعدلات متسارعة داخل الأوساط الحضرية والريفية. وتتضاعف حدة هذه الإشكالية في الجزائر بفعل العامل الجغرافي؛ إذ تفرض الطبيعة الصحراوية الشاسعة نمطاً من التشتت السكاني في بيئات نائية ومعزولة عن الشبكات الوطنية للطاقة. ونظراً لعدم جدوى الحلول المركزية كمحطات التحلية الكبرى في هذه المناطق نظراً لارتفاع تكلفتها وصعوبة إمدادها بالوقود الأحفوري، يُمثل التقطير الشمسي مقارنةً بتكنولوجيا بيئية رائدة، تُوظف الطاقة المتجددة والمستدامة كآلية نظيفة لمواجهة النقص المائي محلياً. وبناءً على هذه المعطيات، يقدم هذا الفصل لمحة تاريخية حول تطور استخدامات الطاقة الشمسية ومن بينها أنظمة التقطير الشمسي. عقب ذلك، ننتقل إلى رصد العوامل الداخلية والخارجية المؤثرة في إنتاجية هذه الأنظمة. وإرساءً للمفاهيم الأساسية، يتناول الفصل تعريف المقطر الشمسي وآلية عمله، يليه استعراض لأبرز أنواعه وتصنيفاته. وفي الختام، يُركز الفصل على الدراسات السابقة للمقطر الشمسي أحادي الميل باعتباره محور دراستنا، مستعرضاً أهم التجارب والأبحاث التي تناولته بالتحسين.

## 1.2 لمحة تاريخية:

أدرك الإنسان منذ القدم الإمكانيات الهائلة للطاقة الشمسية وسعى لابتكار تقنيات كفيلة باستغلالها؛ وشكّل توظيف الزجاج والمرآيا العاكسة والمجمعة للأشعة من قبل العالم أرخميدس (Archimède) نقطة تحول جوهرية في هذا المجال. وفي القرن الثامن عشر، اخترع الفيزيائي سوسير (DeSaussure) أول لاقط شمسي لأغراض علمية، بالتزامن مع ابتكار الكيميائي والفيزيائي الفرنسي لافوازييه (Lavoisier) موقداً شمسياً حرارياً بلغت درجة حرارته  $1755^{\circ}\text{C}$  واستُخدم في صهر البلاتين (الذهب الأبيض). وفي عام 1839، اكتشف الفيزيائي الفرنسي إدموند بيكريل (Edmond Becquerel) ظاهرة التأثير الكهروضوئي (Photovoltaic effect). أما في مجال التحلية، فيعود أول استخدام صناعي للطاقة الشمسية في التقطير إلى المهندس الإنجليزي هاردينغ (Harding) عام 1872؛ حيث أنشأ محطة في صحراء لاساليناس (Lassalinas) بشمال تشيلي تعتمد على أحواض سوداء ماصة للأشعة ومغطاة بأسطح زجاجية مائلة بزاوية  $20^{\circ}$ . ويرتكز مبدأ عملها على تبخير غشاء مائي رقيق بفعل امتصاص القاعدة السوداء (Absorbant) للحرارة، ليتكاثف البخار المتصاعد لاحقاً عند ملامسته للسطح الداخلي للزجاج الأقل درجة حرارة، وينحدر عبر قنوات مخصصة لتجميع الماء المقطر، حيث بلغ إنتاج هذه المحطة

نحو  $20m^3$  يومياً من المياه الصالحة للشرب. ولحق ذلك تطوير الفرنسي أوجست موشو (Auguste Mouchot) عام 1878 لآلة بخارية شمسية شغلت مطبعة صحفية، لاتباعها ابتكار أول نظام لإنتاج الماء الساخن في كاليفورنيا عام 1891 [1].

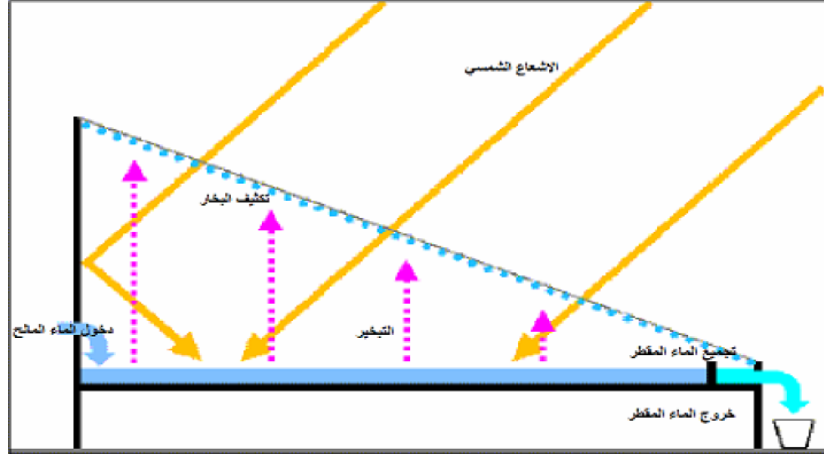
## 2.2 تعريف المقطر الشمسي:

هو جهاز هندسي ثابت مخصص لتنقية وتحلية المياه، يتألف هيكلياً من حوض معزول حرارياً لاستيعاب المياه المالحة، مبطن بقاعدة معدنية سوداء تسلك سلوك الجسم الأسود لامتنصص الإشعاع. ويُحاط الحوض من الأعلى بغطاء شفاف (من الزجاج أو البلاستيك) مثبت بزوايا ميلان هندسية محددة، وينتهي بقنوات جانبية مخصصة لاستقبال وعزل قطرات الماء المقطر وتوجيهها نحو خزان التجميع النهائي [2].

## 3.2 مبدأ عمل المقطر الشمسي:

يرتكز التشغيل الفيزيائي للمنظومة على محاكاة الدورة الطبيعية لتشكيل وسقوط الأمطار، وتتابع ظاهري التبخر والتكثيف عبر المراحل الديناميكية التالية:

- **الامتصاص والتبخير:** تنفذ أشعة الشمس عبر الغطاء الشفاف، فتمتصها القاعدة المعدنية السوداء (كجسم أسود) وتحولها إلى حرارة تسخن الماء المالح، مما يؤدي إلى تبخره وتصاعده تاركاً الأملاح والشوائب في القاع.
- **الانتقال والتكثف:** يتصاعد البخار عمودياً حتى يصطدم بالسطح الداخلي للغطاء الزجاجي (الأبرد حرارة)، فيتكثف مباشرة ويتحول إلى قطرات ماء عذبة نتيجة التباين الحراري.
- **الانزلاق بفعل الجاذبية:** عندما يزداد وزن القطرات المتشكلة وتتغلب على قوى الالتصاق بالزجاج، تتدخل قوى الجاذبية الأرضية لتجعلها تنزلق انسياباً نحو الأسفل على طول الغطاء المائل، حيث تمنع زاوية الميل سقوطها العكسي داخل الحوض.
- **التدفق والتجميع:** تصب القطرات المنزقة في قناة التجميع الداخلية، وتتدفق نحو وعاء الاستقبال الخارجي كميها مقطرة صالحة للشرب، بإنتاجية تفوق 3 لترات لكل متر مربع يومياً [3].



(الشكل 1.2): مبدأ عمل المقطر الشمسي [4].

#### 4.2 العوامل المؤثرة في عمل المقطر الشمسي :

يتأثر أداء المقطر الشمسي بعدة عوامل مختلفة تتحكم في كفاءة مردوده، ويمكن تصنيفها الى

نوعين:

##### 1.4.2 العوامل الخارجية:

توجد عدة عوامل خارجية قد تؤثر على مردود وإنتاجية المقطر الشمسي نذكر منها:

##### 1.1.4.2 شدة الإشعاع الشمسي:

تُعتبر الشمس والإشعاع الشمسي العامل الأساسي والأكثر تأثيراً في تحديد مردود المقطر الشمسي، لكونها مصدر الطاقة الحرارية اللازمة لتسخين المياه وإتمام عملية التقطير. وتصل هذه الطاقة الإشعاعية إلى الأرض عبر جسيمات متناهية الصغر تُدعى الفوتونات، والتي تتصرف مثل الموجات الكهرومغناطيسية حاملةً خصائصها الفيزيائية من طول موجي، وتردد، وطاقة تحتمل جميع الأطياف الممكنة. ويتضح تأثير هذا الإشعاع علمياً في مسارين، فبينما تتسبب الطاقة الكامنة في الفوتونات في إثارة الإلكترونات عند اصطدامها بالخلايا الفولتوضوئية لتوليد الكهرباء، فإنها في المقطر الشمسي تتحول إلى طاقة حرارية بمجرد اصطدامها بالقاعدة المعدنية السوداء التي تمتصها كجسم أسود. ويؤدي هذا الامتصاص الحراري إلى رفع درجة حرارة الماء داخل الحوض وبدء تبخره، مما يخلق تبايناً حرارياً كبيراً بين الحوض الساخن والغطاء الزجاجي الأبرد نسبياً، وهو ما يُمثل المحرك الأساسي لتسريع عمليتي التبخير والتكثيف [5].

## 2.1.4.2 سرعة الرياح:

تلعب سرعة الرياح دوراً مهماً في أداء المقطر الشمسي، من خلال تأثيرها على الغطاء الزجاجي، فهي تؤثر في عملية انتقال الحرارة بالحمل الحراري القسري على سطح الزجاج الذي ينتج بفعل الهواء المحيط، مما يؤدي إلى تغيير درجة حرارته ويساهم انخفاض درجة حرارة الزجاج في تسريع وتحسين عملية التكتيف إلا أن الرياح ذات السرعات المرتفعة جداً قد تزيد من الفواقد الحرارية داخل المقطر [5].

## 3.1.4.2 درجة حرارة الهواء المحيط:

تؤثر درجة حرارة الهواء الخارجي بشكل مباشر على الفارق الحراري بين داخل المقطر وخارجه، حيث ترتبط مباشرة بدرجة الحرارة الزجاجي وحرارة الماء في الحوض. فعندما ترتفع حرارة الجو الخارجي، تسخن المياه داخل المقطر بسرعة وينتج عن ذلك زيادة في كمية البخار المتصاعد؛ لكن في المقابل، إذا سخن الغطاء الزجاجي أكثر من اللازم، يقل فرق الحرارة بينه وبين البخار مما يضعف عملية التكتيف. ومن ناحية أخرى، فإن انخفاض حرارة الجو يساعد على تبريد الزجاج الخارجي، مما يزيد من فرق الحرارة بين البخار والزجاج ويجعل التكتيف أفضل؛ غير أن البرودة الشديدة للجو قد تبرّد الماء داخل الحوض أيضاً، مما يؤدي في النهاية إلى تراجع معدل التبخر [5].

## 2.4.2 العوامل الداخلية:

تتأثر فعالية المقطر الشمسي بعدة عوامل داخلية تلعب دوراً هاماً في عملية التبخر والتكتيف، ومن أهم هذه العوامل نذكر ما يلي:

## 1.2.4.2 زاوية ميل الغطاء الزجاجي:

يُعتبر ميلان السطح الزجاجي من الخصائص التصميمية الهامة التي تؤثر بشكل كبير على المردود النهائي للمقطر، فهو المسؤول عن جعل قطرات الماء النقي تنزلق بسهولة نحو قنوات التجميع الجانبية. لذلك، يحرص المصممون على اختيار أدنى درجة ميلان للغطاء الزجاجي، على أن تكون كافية لمنع تساقط قطرات الماء العذب للأسفل وحماتها من الاختلاط مجدداً بماء الحوض المالح [6].

## 2.2.4.2 عمق الماء المالح داخل المقطر:

يعد عمق الماء المالح داخل الحوض من أهم العوامل الداخلية المؤثرة على أداء المقطر الشمسي، حيث يؤثر بشكل مباشر على سرعة التسخين ومعدل التبخر. فكلما كان العمق صغيراً ترتفع درجة حرارة الماء بسرعة والعكس صحيح [6].

### 3.2.4.2 المسافة التي تقسم السطح الحر إلى لاقطين:

تؤثر الزيادة في حجم المقطر الشمسي مباشرة على نقصان الضغط الداخلي له، مما يؤثر على التغيرات الحرارية داخله وتؤدي على نقصان درجة الحرارة داخل المقطر [6].

### 4.2.4.2 تراكم الملح في قاعدة المقطر:

يؤدي تراكم الملح في القاعدة إلى تكوين طبقات عاكسة لأشعة الشمس مما يؤدي إلى انخفاض في إنتاجية المقطر بشكل محسوس لذا ينصح بالتنظيف المستمر لطبقات الملح المترسب في القاعدة [7].

### 5.2 بعض أنواع المقطرات الشمسية :

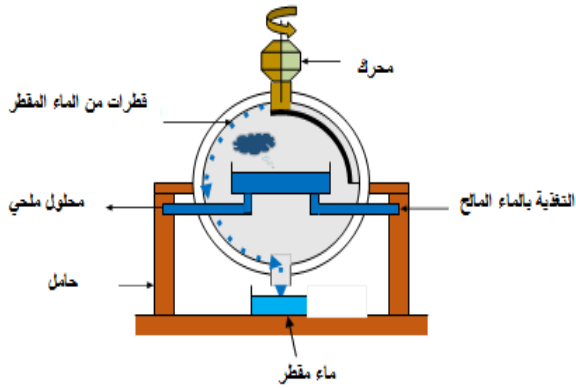
بالرغم من أن، لها نفس مبدأ العمل، لكن توجد عدة أنواع من هذه المقطرات الشمسية.

### 1.5.2 مقطرات شمسية تعمل بمبدأ التسخين بالبيت الزجاجي:

معظم المقطرات تعمل بهذا المبدأ مع بعض الاختلاف في الشكل ومن بينها:

### 1.1.5.2 المقطر الكروي بماسح:

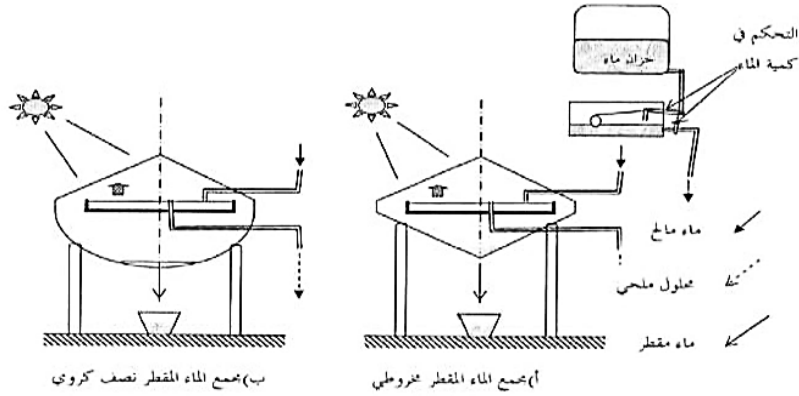
يُعدّ هذا النوع من المقطرات من الابتكارات التي اقترحها البروفيسور (Menguy) في جامعة لندن، حيث صُمم على شكل كرة شفافة مصنوعة من الزجاج. يحتوي هذا المقطر في مركزه على حوض دائري أفقي ذي لون أسود، ووظيفته امتصاص أكبر قدر ممكن من الإشعاع الحراري. يُوضع الماء المالح داخل هذا الحوض، فتقوم أشعة الشمس بتسخينه، مما يؤدي إلى تبخره. يرتفع بخار الماء الناتج إلى الأعلى داخل الكرة الزجاجية، وعند ملامسته للسطح الداخلي الأبرد نسبياً للزجاج، يتكاثف ويتحول إلى قطرات ماء نقية. تنساب هذه القطرات تدريجياً نحو أسفل الشكل الكروي، حيث يتم تجميعها. ولضمان بقاء السطح الزجاجي شفافاً والسماح بمرور الإشعاع الشمسي بكفاءة، يُزوّد المقطر بمسحة داخلية تدور باستمرار بواسطة محرك كهربائي مثبت في أعلى الجهاز، حيث تعمل على إزالة أي تكاثف أو شوائب قد تعيق نفاذ الضوء، مما يحافظ على كفاءة عملية التقطير والشكل (5.2) يوضح ذلك [8].



(الشكل 2.2): المقطر الشمسي الكروي [4،9].

### 2.1.5.2 المقطر الشمسي المخروطي:

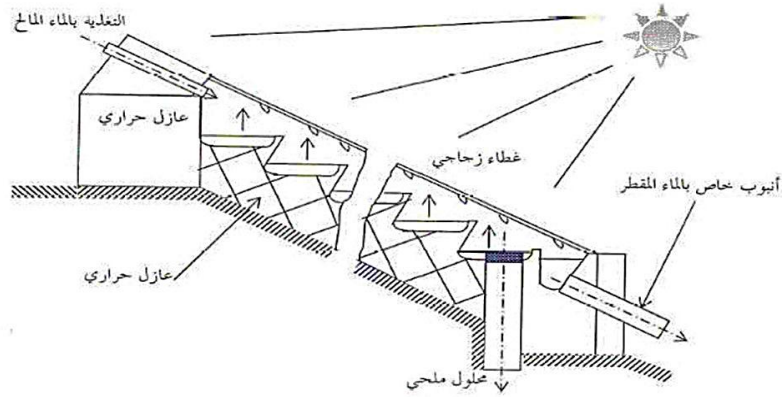
يتشكل هذا النوع من غطاء مخروطي من الزجاج في الأعلى يسمح بمرور الإشعاع الشمسي، ومن قمع مخروطي في الأسفل لتجميع الماء المقطر كما يوضحه الشكل التالي [10]:



(الشكل 3.2): المقطر الشمسي المخروطي [10].

### 3.1.5.2 المقطر الشمسي الشلال:

يتكون من طوابق من الأحواض السوداء بها ماء مالح وكل حوض يمد للحوض الذي أسفله الماء حتى يصل الماء للطابق السفلي كما هو مبين في الشكل التالي [10].



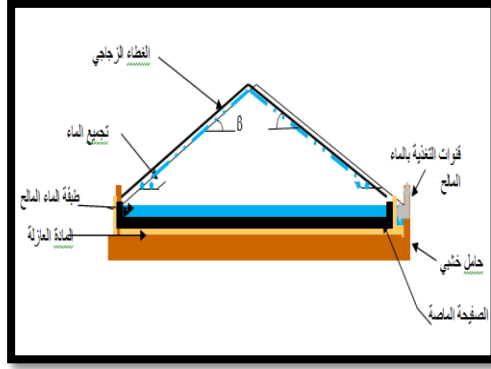
(الشكل 4.2): المقطر الشمسي الشلال [10].

### 2.5.2 المقطرات الشمسية البسيطة :

هو المقطر الأكثر استعمالاً في العالم، يحتوي على حوض مملوء بالماء المالح وملون بالأسود من أجل التقاط أكبر كمية من الإشعاع الشمسي ويغطي بقطعة زجاجية شفافة، يجب أن يكون هذا الأخير مائلاً ليتكثف البخار في الجزء الداخلي للغطاء، ومن إيجابياته إنشأؤه وصيانته بسهولة، ثمه نوعاً ما منخفض، أما سلبياته فتتمثل في إنتاجه الضعيف للماء الصالح للشرب بسبب انخفاض الفعالية. وتوجد عدة نماذج لهذا النوع منها [11]:

### 1.2.5.2 المقطر الشمسي ذو ميلين:

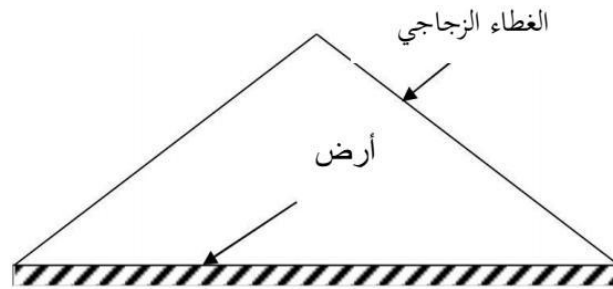
يسمى كذلك مقطر بلاطين حيث كل منهما يميل بزاوية  $\beta$ ، ومن مميزاته أن أحدهما يوجه للشمس والآخر للظل لتسريع عملية التكثيف [12].



(الشكل 5.2): المقطر الشمسي ذو ميلين [4،9].

### 2.2.5.2 المقطر الشمسي الأرضي:

تحتفظ التربة بكميات معتبرة من الرطوبة في باطنها، حيث تعمل كمخزن طبيعي للمياه. وخلال الفصول الحارة، خاصة في المناطق الجافة، ترتفع درجات الحرارة مما يؤدي إلى تبخر هذه الرطوبة وعودتها تدريجياً إلى الغلاف الجوي، وبذلك تساهم في استمرارية الدورة المائية في الطبيعة. وانطلاقاً من هذه الفكرة، يتم استخدام المقطر الشمسي من نوع (أرض-ماء)، والذي يحاكي هذا السلوك الطبيعي؛ إذ يشبه في تصميمه المقطر ذي السطحين المائلين، غير أنه بدلاً من استخدام حوض أسود لامتصاص الحرارة، تُستغل التربة نفسها كمصدر للرطوبة وكمادة ماصة للحرارة، مما يسمح بعملية التبخر ثم التكاثف وجمع الماء بشكل مبسط وفعال كما هو موضح في الشكل



(الشكل 6.2): المقطر الشمسي أرض-ماء [13].

### 3.2.5.2 المقطر الشمسي بميل واحد:

نظراً لاعتماده الواسع في تطبيقات التقطير الشمسي وبساطة تصميمه وكفاءته التشغيلية، تم اختيار المقطر الشمسي ذو الالاقط الواحد المائل بزاوية  $\beta$  ليكون محور هذه الدراسة. ويُعدّ هذا النوع من أكثر النماذج استعمالاً، حيث يتميز بسهولة تركيبه وصيانته وتنظيفه، إضافةً إلى بساطة بنيته الهندسية وانخفاض تكلفته

مقارنةً ببعض التصميم الأخرى، مما جعله نموذجًا أساسيًا في العديد من الدراسات والأبحاث المتعلقة بتحلية المياه بالطاقة الشمسية [11،12].



(الشكل 7.2): المقطر الشمسي البسيط بميل واحد [9].

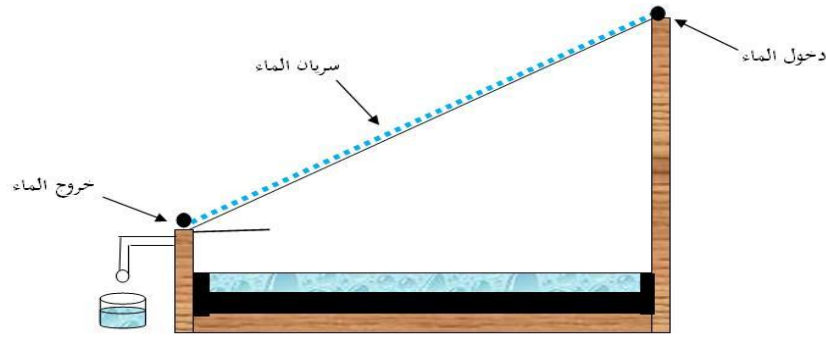
## 6.2 بعض الدراسات السابقة لمقطر أحادي الميل:

انطلاقًا من كونه موضوع البحث، تم تحليل الدراسات السابقة بصورة منهجية لتغذية عملية التطوير والارتقاء بكفاءة المقطر الشمسي.

### 1.6.2 مقطر شمسي أحادي الميل مع تحسين نظام التكثيف:

❖ تمرير الماء فوق سطح المكثف:

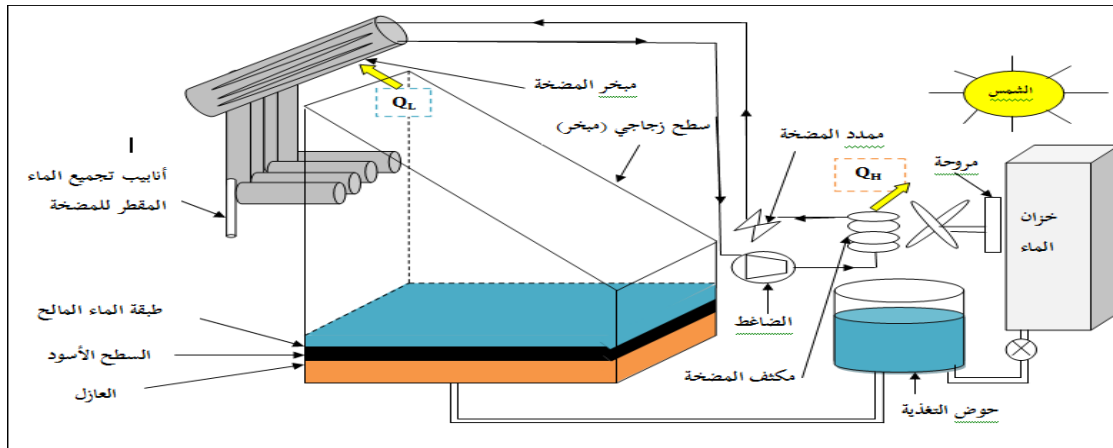
تعتمد هذه الطريقة على استخدام الماء كوسيلة فعالة لتحسين عملية التكثف، لما يتميز به من قدرة عالية على التبريد بتكلفة منخفضة. إذ يساهم تبريد سطح المكثف في زيادة الفرق في درجات الحرارة بين البخار والسطح، مما يؤدي إلى تكاثف كمية أكبر من بخار الماء. ولتحقيق ذلك، يتم تمرير كمية قليلة من الماء على السطح الخارجي للغطاء الزجاجي، بحيث تنساب من الأعلى إلى الأسفل على شكل طبقة رقيقة. يساعد هذا التدفق المستمر على خفض درجة حرارة الزجاج، وبالتالي تحسين كفاءة التكثيف وزيادة إنتاج الماء المقطر، كما هو موضح في الشكل (6.2) [14].



(الشكل 8.2): رسم تخطيطي لمقطر شمسي بسريان الماء فوق المكثف [9].

❖ استعمال المضخة الحرارية:

تم تحسين مردود المقطر الشمسي من خلال دمج مضخة حرارية ضمن النظام، وذلك بإضافة مبخر المضخة الحرارية إلى الجزء الخلفي لوحدة التقطير. يتكون هذا المبخر من أنبوب نحاسي ملتف داخل أنبوب بلاستيكي بقطر (11mm)، ويتم ربطه بالخلية من الخلف بواسطة أربعة أنابيب لها نفس القطر. أما مكثف المضخة الحرارية، فيتم وضعه داخل حوض التغذية الأولي للمقطر. وبذلك يحتوي النظام على مكثفين الخاص بالمقطر الشمسي، و الخاص بالمضخة الحرارية، مما يعزز من عملية انتقال الحرارة ويرفع من كفاءة التبخر والتكاثف. أظهرت النتائج أن متوسط الإنتاج اليومي للمقطر البسيط يقدر بحوالي  $2.75 \text{ kg/m}^2$ ، بينما ارتفع بعد استخدام المضخة الحرارية إلى حوالي  $9.60 \text{ kg/m}^2$ ، أي بزيادة تُقدَّر بنحو 2.5 مرة مقارنة بالمقطر التقليدي، كما هو موضح في الشكل [9].

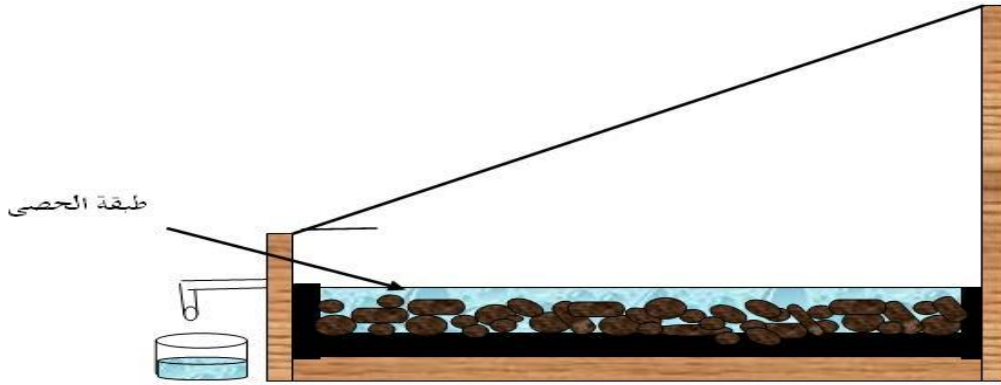


(الشكل 9.2): مقطر شمسي مربوط بمضخة حرارية [9].

## 2.2.6.2 المقطر الشمسي البسيط مع تحسين المبخر:

❖ باستعمال الحصى:

تُعدّ الطاقة الشمسية مصدرًا وفيرًا، إلا أنها غير مستقرة ومتقطعة ويصعب التنبؤ بها، مما يستدعي استخدام وسائل لتخزين الطاقة الحرارية واستغلالها لاحقًا، خاصة خلال فترات غياب الشمس. ومن بين أبسط طرق التخزين الحراري، يمكن استخدام مواد ذات سعة حرارية مناسبة وفي هذا الإطار، يُمكن تحسين أداء المقطر الشمسي بإضافة طبقة من الحصى إلى سطح المبخر، بحيث يتراوح قطر الحصى بين (20–30) mm تعمل هذه الحصى على امتصاص الحرارة الشمسية وتخزينها خلال فترة النهار، ثم إعادة إطلاقها تدريجيًا، مما يساعد على تسخين الماء ورفع درجة حرارته حتى بعد انخفاض الإشعاع الشمسي. بفضل هذه الخاصية، يستمر تسخين الماء لفترة أطول، مما يعزز عملية التبخر ويزيد من كمية الماء المقطر المنتج. وقد أظهرت النتائج تحسناً في الإنتاجية بنسبة تقارب 19% مقارنة بالمقطر البسيط، نتيجة لقدرة الحصى على تخزين ونقل الحرارة بفعالية [9].

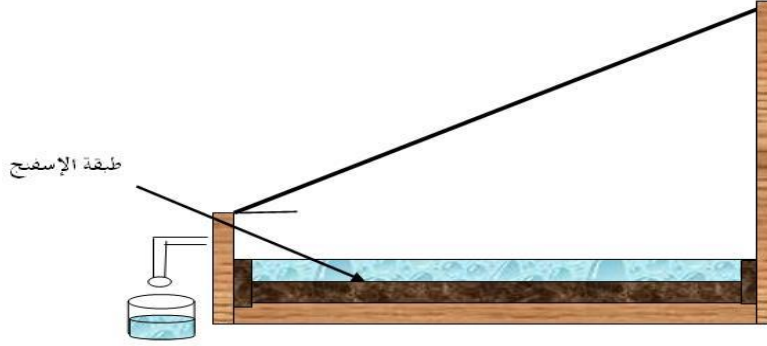


(الشكل 10.2): مقطر شمسي بوجود طبقة من حصى ملون بالأسود [9].

❖ باستعمال الإسفنج:

يمكن تحسين أداء المقطر الشمسي البسيط بشكل ملحوظ من خلال إجراء تعديلات على المبخر، ومن أهم هذه التعديلات إضافة طبقة من الإسفنج على سطحه. يتميز الإسفنج بقدرته العالية على امتصاص الماء المالح والاحتفاظ به داخل مسامه، مما يزيد من مساحة التلامس بين الماء والهواء داخل المقطر. عند تعرّض الإسفنج لأشعة الشمس، يمتص الحرارة ويخزنها، ثم ينقلها تدريجيًا إلى الماء المحتجز داخله، مما يؤدي إلى رفع درجة حرارته بشكل أسرع مقارنة بالماء الموجود في حوض تقليدي. كما أن توزيع الماء داخل مسام الإسفنج على شكل طبقة رقيقة يساعد على

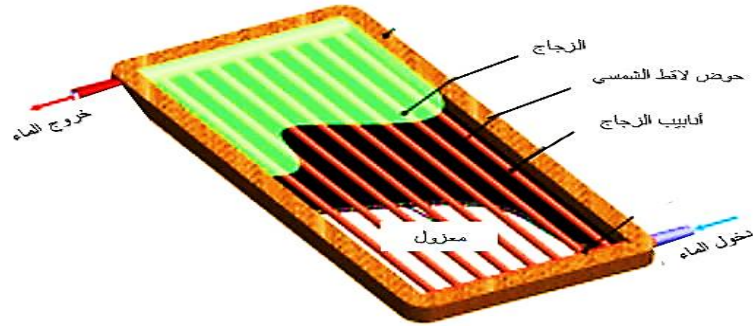
تسريع عملية التبخر، لأن التبخر يكون أكثر كفاءة عندما تكون سماكة الماء قليلة. إضافةً إلى ذلك، يساهم الإسفنج في تقليل فقدان الحرارة، حيث يعمل كوسط يحتفظ بالطاقة الحرارية لفترة أطول، مما يسمح باستمرار عملية التبخر حتى مع انخفاض شدة الإشعاع الشمسي. ونتيجة لهذه الخصائص مجتمعة، تتحسن كفاءة المقطر وتزداد كمية الماء المقطر المنتج [8].



(الشكل 9.2): مقطر شمسي بوجود طبقة من الإسفنج [9].

❖ إضافة اللاقط الشمسي:

تعد هذه الأنواع الأكثر انتشاراً، حيث تتكون من لوح مسطح داكن اللون لامتصاص الطاقة الشمسية، وغطاء شفاف يسمح بمرور الأشعة إلا أنه يقلل من فقدان الحرارة، كما تحتوي على سائل لنقل الحرارة وإزالتها من لوح الامتصاص وأيضا غطاء لعزل الحرارة، يحتوي لوح الامتصاص على صفيحة رقيقة للامتصاص مصنوعة من الألمنيوم أو النحاس ذات طلاء أسود لامع، توضع في غلاف معزول من الزجاج. أما في ألواح تسخين المياه، عادة ما يتم تمرير السائل خلال أنابيب لنقل الحرارة من لوح الامتصاص إلى خزان مياه معزول. كما يوضح الشكل (10.2) [14].



(الشكل 10.2): لاقط شمسي متعدد أنابيب [14].

واستنادا إلى ما تم استعراضه من مفاهيم وأنواع وتحسينات، تسعى هذه الدراسة إلى تقديم إضافة تحسينية جديدة تتمثل في تركيب عدسات مقربة على مستوى السطح الداخلي للغطاء الزجاجي للمقطر، ودراسة أثرها في تحسين مردوده.

## مراجع الفصل الثاني:

- [1] André Deslandes, " Historique de l'énergie solaire " publiée dans le périodique écologiste français silence numéro 206-207, 1996.
- [2] المهندس مُجَّد الشيخ، المقطرات الشمسية، www.kawngroup com، 2010.
- [3] ليلي مشاركة، هنية نفيدي، استعمال مواد محلية لتحسين مردود المقطر الشمسي في المناطق الصحراوية، مذكرة ماستر، جامعة الشهيد حمه لخضر، الوادي، الجزائر، 2020.
- [4] نفيدي سمية، تأثير تراب الكثبان الرملية على التقطير الشمسي، مذكرة ماستر، جامعة الوادي، الجزائر، 2017
- [5] ذاودي رشيدة، دراسة مقطر شمسي ذي مكثف مظلل جزئيا بفعل الاحتباس الحراري الشمسي في المناطق القاحلة، مذكرة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، الجزائر، 2010.
- [6] مرج دنيا وتواتي ابراهيم العروسي، دراسة للمقطر الشمسي ثنائي الميل، مذكرة لنيل شهادة أستاذ التعليم الثانوي، المدرسة العليا للأساتذة ورقلة، الجزائر، 2022.
- [7] مصطفى مُجَّد السيد، قدرتي أحمد فتحي و ابراهيم السعيد مجاهد، النماذج الحساسة للنظم الحرارية الشمسية، مركز النشر العلمي جامعة الملك عبد العزيز -جدة، 2010.
- [8] مُجَّد تحه، دراسة ومقارنة وتحسين لمختلف المقطرات الشمسية لإنتاج المياه الصالحة للشرب في المناطق الجافة الصحراوية، مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة، الجزائر، 2004.
- [9] شلغام منيرة، استعمال اللاقط الشمسي لتحسين أداء المقطر الشمسي، أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر، 2023.
- [10] عواريب أحلام وعواريب هدى، المساهمة في دراسة العوامل المؤثرة في مردود مقطر شمسي، مذكرة ماستر، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر، 2018.

[11]Salma Guemari et Rabiaa Touahir, Contribution à l'amélioration de rendement d'un distillateur solaire serre, Thèse de magistère, université de Ouargla, Algérie, 2000.

[12]Nafila Smakdji, Impact de l'impact de l'écart de température (Ambiance-Eau) sur l'efficacité globale d'un distillateur solaire, thèse de magistère, université de Constantine, département génie climatique, Algérie, 2010.

[13] بن سليمان نور الهدى و شلغام منيرة، دراسة تجريبية لتحسين أداء المقطر الشمسي البسيط باستعمال المضخة الحرارية، مذكرة ماستر، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر، 2018.

[14] بالرقمي يمينة، محذات هند، دراسة بالمحاكاة العددية لنموذج معدل لمقطر شمسي بسيط من أجل استقصاء الأثر الإيجابي والسلبي للحرارة الضائعة عبر محيطه الخارجي، مذكرة ماستر، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر، 2022.

# الفصل الثالث :

دراسة تجريبية لمقطر شمسي

## تمهيد:

سنتطرق في هذا الفصل إلى دراسة تجريبية ميدانية أُجريت على مقطرين شمسيين من نفس النوع، أحدهما يمثل المقطر الشاهد (التقليدي) دون أي تعديل، بينما تم إدخال تحسينات على المقطر الثاني من خلال استعمال عدسات مقربة بهدف تركيز الإشعاع الشمسي على حوض التبخير، ثم نقوم بتسجيل وتحليل النتائج المتحصل عليها ومقارنتها بالحالة التقليدية، من أجل تقييم فعالية التعديلات المقترحة وقياس مدى تأثيرها على الأداء العام للمقطر.

الهدف من هذه الدراسة هو تحسين أداء ورفع مردودية إنتاج الماء المقطر للمقطر الشمسي البسيط.

## 1.3 منطقة الدراسة:

## 1.1.3 الموقع:

أنجزت هذه الدراسة التجريبية على مستوى جامعة الشهيد حمه لخضر، الكائنة بولاية الوادي، الواقعة في الجنوب الشرقي للجزائر على بعد حوالي 390 km عن البحر، ويبلغ متوسط ارتفاع المنطقة عن سطح البحر 80 m. والتي تتميز بمناخ صحراوي جاف وتقلبات كبيرة في درجة الحرارة بين الليل والنهار، يصل المتوسط الحراري في فصل الصيف إلى  $34^{\circ}\text{C}$  وقد تتعدى في بعض الأحيان  $50^{\circ}\text{C}$ ، حيث تكون الرمال شبه ملتتهبة، بينما تنخفض درجة الحرارة في فصل الشتاء بحيث يصل المتوسط الحراري إلى  $10^{\circ}\text{C}$  خلال أبرد شهور السنة، يناير، وعندما تشتد البرودة وخاصة ليلا تنخفض إلى ما دون الصفر. وكذلك تمتاز منطقة وادي سوف بحركة هوائية نشطة على مدار السنة، فتهب رياح شمالية وشمالية غربية من فبراير إلى إبريل، وكذلك رياح شرقية منعشة من أوت إلى أكتوبر، وتهب رياح جنوبية حارة ويكون ذلك في فصل الصيف.



الشكل (1.3): موقع ولاية الوادي [1].

### 2.3 البروتوكول التجريبي:


#### النماذج الأولية للأجهزة التجريبية:

اعتمدنا في هذه التجربة على مقطرين شمسيين بسيطين متشابهين لهما نفس التصميم، وينتجان الماء المقطر بنفس الكفاءة، لهما المكونات والأبعاد التالية:

- يتكون من حوض معدني يعمل كماص حراري أبعاده  $6\text{cm} \times 46\text{cm} \times 46\text{cm}$ ، تم عزل الماص الحراري بوضعه في إطار من الخشب أبعاده  $50\text{cm} \times 50\text{cm}$  وارتفاعه  $28\text{cm}$  وسمكه  $1\text{cm}$ .
- كل مقطر مزود بمخرجين من الجهة الأمامية بجانب الحافتين من أجل تجميع الماء المقطر.
- قمنا بطلاء الحوض المعدني باللون الأسود لزيادة امتصاص الإشعاع الشمسي.
- قمنا بتغطية الإطار الخشبي بزجاج أملس سمكه  $3\text{mm}$  وأبعاده  $53\text{cm} \times 50\text{cm}$ .
- قمنا بتركيب وتثبيت 15 عدسة مقربة على الغطاء الزجاجي لأحد المقطرين الشمسيين، خصائص هذه العدسات مبينة في الجدول (1.3)، وذلك باستعمال شريط لاصق مزدوج الوجه.

#### الجدول (1.3): خصائص العدسات المستعملة.

السمك (cm)	القطر (cm)	البعد البؤري (cm)	الكمية	الصورة
2	8	15	5	
3	6	20	4	

3	5	22	6	
---	---	----	---	---



الشكل (2.3): صورة توضح المقطرين الشمسيين أثناء التجربة.

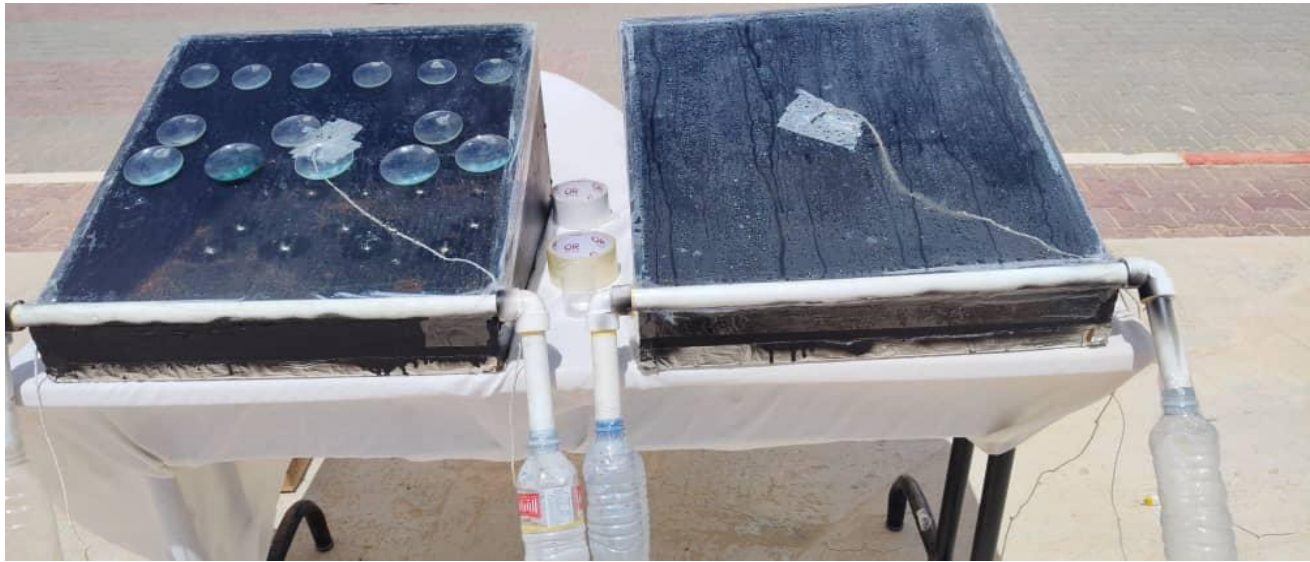
## 2.2.3 مراحل تحضير التجربة:

## 1.2.2.3 وصف التجربة:

لدينا في هذه التجربة مقطران، قمنا بوضع 3L من الماء المالح داخل كل منهما ارتفاعه حوالي 1.5cm، المقطر الأول بدون أي تحسينات ويستعمل في التجربة كشاهد، أما المقطر الثاني قمنا بتثبيت 15 عدسة مقربة على مستوى السطح الخارجي لغطائه الزجاجي، وتم تحديد موضع هذه العدسات بناء على بعدها البؤري الذي يتناسب مع بعدها عن سطح الماء وزاوية سقوط الإشعاع الشمسي، كما هو موضح في الشكل (2.3)، وقمنا بتغيير موضعها كل ساعة تبعاً لزاوية سقوط الإشعاع الشمسي. وبغرض الدراسة التجريبية لإنتاجية المقطرين قمنا بعدة قياسات خلال ثلاثة أيام (04، 20 و 21 ماي 2026)، من الساعة 08:00 إلى 17:00.



الشكل (3.3): صورة توضح المقطران في بداية التجربة.



الشكل (4.3): صورة توضح المقطران وقت الظهيرة.




الشكل (5.3): صورة توضح المقطران في المساء.

2.2.2.3 الأجهزة والوسائل المستعملة:

الجدول (2.3): الاجهزة والوسائل المستعملة.

الصورة	الاسم	آلية العمل
	جهاز متعدد القياسات (Multimétre)	عبارة عن جهاز إلكتروني يسمح بقياس مختلف المقادير الكهربائية، واستخدام في هذه التجربة لقياس درجة الحرارة عندما يتم توصيله بمسبار حراري، يقوم الجهاز بقراءة الجهد وتحويله إلى قيمة رقمية لدرجة الحرارة تظهر على الشاشة.
	جهاز قياس سرعة الرياح ودرجة حرارة الوسط المحيط mini (Anemometer)	عبارة عن جهاز يقيس سرعة الرياح بوحددة إلى km/h، عندما يمر الهواء تدور المروحة، سرعة دورانها تحوّل داخل الجهاز إلى قيمة رقمية. كما يحتوي هذا الجهاز على حساس حراري إلكتروني، عندما تتغير مقاومته الكهربائية حسب درجة الحرارة فيتم تحويل هذا التغير إلى قيمة حرارية رقمية لدرجة حرارة الوسط.

<p>وعاء زجاجي يستعمل لقياس حجم السوائل، وفي هذه التجربة استعمل لقياس حجم الماء المقطر.</p>	<p>بيشر سعة 50 ml (beaker)</p>	
--	--------------------------------	---

### 3.3 نتائج القياسات:

قمنا بقياس شدة الإشعاع الشمسي، سرعة الرياح، درجة حرارة الوسط المحيط، ودرجة حرارة الوجه الداخلي والخارجي للغطاء الزجاجي ذو السمك 3mm، درجة حرارة الماء بالإضافة إلى كمية الماء المقطر المنتجة، وذلك على فترات زمنية قدرها ساعة واحدة خلال الأيام الثلاثة المخصصة للتجربة. وسجلنا النتائج المتحصل عليها في الجداول التالية:

### 1.3.3 نتائج قياسات اليوم الأول (04 ماي 2026):

الجدول (3.3): نتائج القياسات التجريبية للمقتر الشاهد.

التوقيت (h)	الإشعاعية (w/m <sup>2</sup> )	الوسط المحيط (°C)	سرعة الرياح (km/h)	الزجاج الخارجي (°C)	الزجاج الداخلي (°C)	درجة حرارة الماء (°C)	كمية الماء المقطر (ml)
08:00	375	23	1.0	24	24	26	00
09:00	440	25	1.3	31	34	38	00
10:00	640	28	2.2	33	42	52	17
11:00	816	31	0.0	38	46	55	65
12:00	910	33	1.5	38	50	60	95
13:00	924	35	1.1	48	53	64	65
14:00	829	36	0.0	46	53	63	75
15:00	657	36	2.8	47	50	62	50

20	52	43	37	2.5	36	466	16:00
12	50	44	36	1.5	35	350	17:00

الجدول (4.3): القياسات التجريبية للمقطر المحسن.

التوقيت (h)	الاشعاعية (w/m <sup>2</sup> )	الوسط المحيط (°C)	سرعة الرياح (km/h)	الزجاج الخارجي (°C)	الزجاج الداخلي (°C)	درجة حرارة الماء (°C)	كمية الماء المقطر (ml)
08:00	375	23	1.0	25	23	26	00
09:00	440	25	1.3	30	33	36	05
10:00	640	28	2.2	32	42	50	50
11:00	816	31	0.0	34	49	61	100
12:00	910	33	1.5	39	55	60	103
13:00	924	35	1.1	44	53	64	150
14:00	829	36	0.0	47	56	59	150
15:00	657	36	2.8	47	57	64	100
16:00	466	36	2.5	34	58	54	100
17:00	350	35	1.5	38	49	52	47

2.3.3 نتائج قياسات اليوم الثاني (20 ماي 2026):

الجدول (5.3): نتائج القياسات التجريبية للمقطر الشاهد.

التوقيت (h)	الاشعاعية (w/m <sup>2</sup> )	الوسط المحيط (°C)	سرعة الرياح (km/h)	الزجاج الخارجي (°C)	الزجاج الداخلي (°C)	درجة حرارة الماء (°C)	كمية الماء المقطر (ml)
08:00	590	28	0.0	30	35	28	00
09:00	640	31	0.0	31	40	38	00
10:00	680	36.4	0.0	45	51	54	30
11:00	840	41.1	0.0	51	52	55	85
12:00	940	41.2	0.0	48	56	60	120
13:00	998	41.7	1.6	53	59	70	100

100	66	60	56	1.1	42	930	14:00
140	64	63	50	0.0	43.8	780	15:00
85	60	55	51	0.0	42	640	16:00
65	55	50	46	0.0	40	500	17:00

الجدول (6.3): القياسات التجريبية للمقتر المحسن.

التوقيت (h)	الاشعاعية (w/m <sup>2</sup> )	الوسط المحيط (°C)	سرعة الرياح (km/h)	الزجاج الخارجي (°C)	الزجاج الداخلي (°C)	درجة حرارة الماء (°C)	كمية الماء المقطر (ml)
08:00	590	28	0.0	30	35	28	00
09:00	640	31	0.0	31	42	41	03
10:00	680	36.4	0.0	47	55	57	40
11:00	840	41.1	0.0	48	56	66	100
12:00	940	41.2	0.0	50	62	69	145
13:00	998	41.7	1.6	50	63	71	157
14:00	930	42	1.1	59	64	69	145
15:00	780	43.8	0.0	52	66	65	165
16:00	640	42	0.0	50	59	63	100
17:00	500	40	0.0	47	51	61	80

3.3.3 نتائج قياسات اليوم الثالث (21 ماي 2026):

الجدول (7.3): نتائج القياسات التجريبية للمقتر الشاهد.

التوقيت (h)	الاشعاعية (w/m <sup>2</sup> )	الوسط المحيط (°C)	سرعة الرياح (km/h)	الزجاج الخارجي (°C)	الزجاج الداخلي (°C)	درجة حرارة الماء (°C)	كمية الماء المقطر (ml)
08:00	530	29.1	2.0	26	30	28	0
09:00	590	30.6	3.0	30	38	37	0
10:00	650	31	1.1	35	43	49	30
11:00	820	40	2.2	42	46	52	85
12:00	930	40.1	0.4	46	51	62	100
13:00	940	40.5	1.3	46	60	66	100

98	70	63	53	1.0	41	900	14:00
135	68	58	44	1.3	40.7	760	15:00
83	60	56	46	0.0	40	520	16:00
90	58	55	45	0.0	39	470	17:00

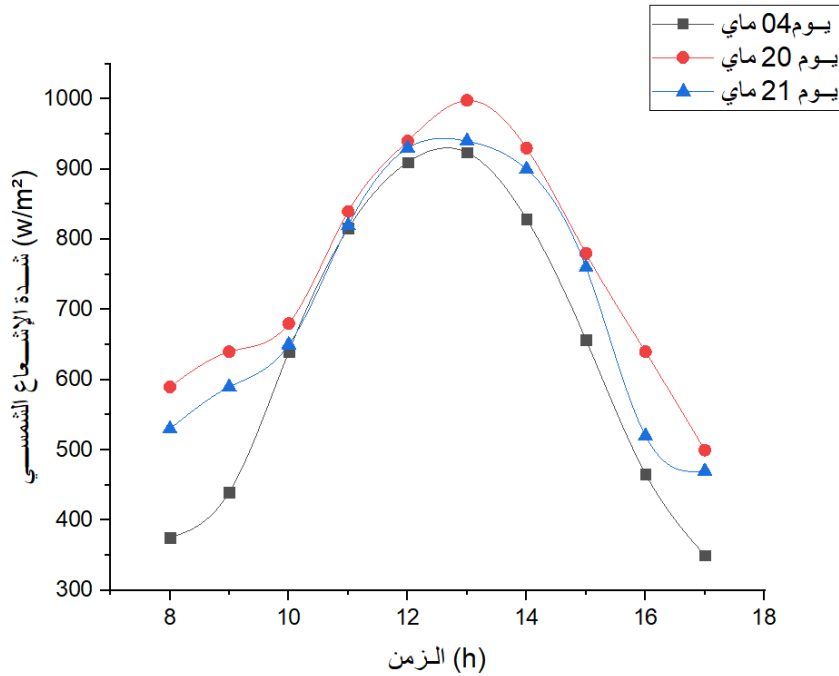
الجدول (8.3): نتائج القياسات الحرارية للمقطر المحسن.

التوقيت (h)	الإشعاعية (w/m <sup>2</sup> )	الوسط المحيط (°C)	سرعة الرياح (km/h)	الزجاج الخارجي (°C)	الزجاج الداخلي (°C)	درجة حرارة الماء (°C)	كمية الماء المقطر (ml)
08:00	530	29.1	2.0	26	29	33	0
09:00	590	30.6	3.0	27	38	41	3
10:00	650	31	1.1	35	48	56	35
11:00	820	40	2.2	40	53	58	100
12:00	930	40.1	0.4	47	56	63	143
13:00	940	40.5	1.3	47	61	68	145
14:00	900	41	1.0	52	66	72	140
15:00	760	40.7	1.3	44	60	69	150
16:00	520	40	0.0	48	59	62	100
17:00	470	39	0.0	47	58	61	100

### 4.3 تحليل النتائج:

#### 1.4.3 تغيرات الإشعاع الشمسي خلال أيام التجربة :

يوضح الشكل (6.3) تغيرات شدة الإشعاع الشمسي خلال الأيام (04، 20 و 21 ماي 2026) بدلالة الزمن.

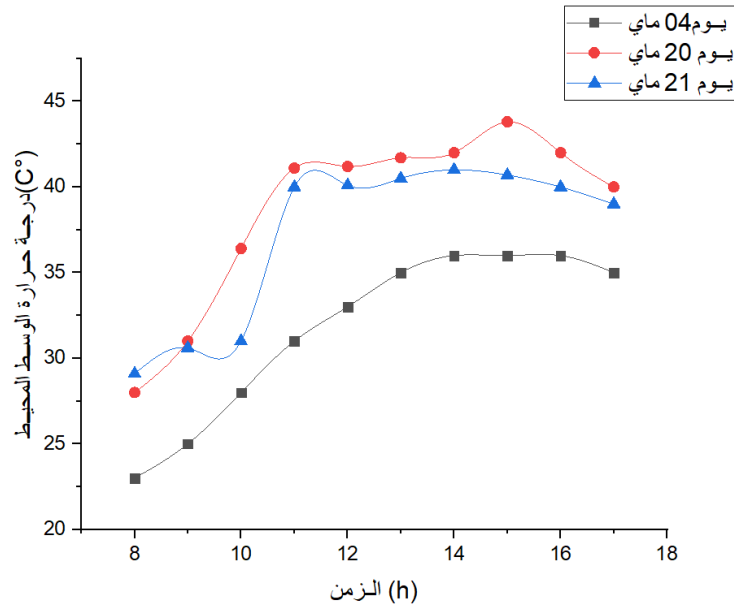


الشكل (6.3): تغيرات شدة الإشعاع الشمسي خلال أيام التجربة بدلالة الزمن.

نلاحظ في جميع الأيام الثلاثة أن شدة الإشعاع الشمسي تبدأ بالارتفاع تدريجياً من الساعة 08:00 وتبلغ ذروتها على الساعة 13:00 زوالاً، ثم تبدأ بالانخفاض بعد هذه الساعة. حيث تصل في اليوم الثاني إلى أقصى قيمة لها والمقدرة ب  $998 \text{ w/m}^2$  عند الساعة 13:00، وهي أعلى قيمة مقارنة باليومين الأول والثالث، حيث كانت ذروة الإشعاع الشمسي في اليوم الأول  $920 \text{ w/m}^2$ ، وفي اليوم الثالث  $940 \text{ w/m}^2$ ، عموماً الإشعاع الشمسي لليوم الثاني هو الأكبر مقارنة باليوم الأول والثالث، وأقل إشعاع سجل في اليوم الأول خلال فترة القياس.

### 2.4.3 تغيرات درجة حرارة الوسط المحيط خلال أيام التجربة :

يمثل الشكل (7.3) منحنى تغيرات درجة حرارة الوسط المحيط بدلالة الزمن خلال أيام التجربة (04، 20 و 21 ماي (2026).



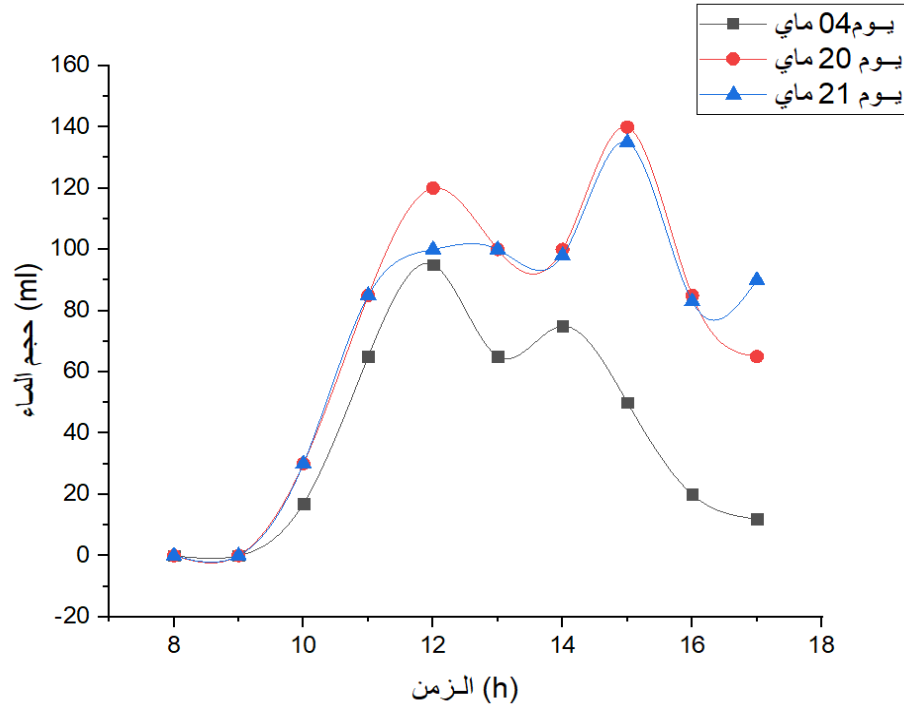
الشكل (7.3): منحنى تغيرات درجة حرارة الوسط المحيط خلال أيام التجربة بدلالة الزمن.

نلاحظ أنه في اليوم الأول (04 ماي 2026) كانت درجة حرارة الوسط المحيط  $23^{\circ}\text{C}$  في بداية التجربة عند الساعة 08:00، ثم بدأت في التزايد بالتوافق مع تزايد الإشعاع الشمسي، إلى أن بلغت قيمة قصوى قدرت ب  $36^{\circ}\text{C}$  على الساعة 14:00، واستمرت مستقرة عند هذه القيمة إلى غاية الساعة 16:00، ثم أخذت في الانخفاض إلى أن بلغت  $35^{\circ}\text{C}$  على الساعة 17:00. أما بالنسبة لليوم الثاني (20 ماي 2026) فقد سجلت درجة حرارة الوسط المحيط قيمة ابتدائية قدرها  $28^{\circ}\text{C}$  عند الساعة 08:00. ثم بدأت في التزايد مع تزايد شدة الإشعاع الشمسي إلى أن بلغت قيمتها العظمى والمقدرة ب  $43.8^{\circ}\text{C}$  عند الساعة 15:00، قبل أن تبدأ بالانخفاض تدريجيًا إلى أن سجلت أقل قيمة لها على الساعة 17:00 والتي قدرت ب  $40^{\circ}\text{C}$ . وفي اليوم الثالث (21 ماي 2026) كانت درجة حرارة المحيط  $29.1^{\circ}\text{C}$  على الساعة 08:00، ثم تزايدت إلى أن بلغت قيمة أعظمى قدرت ب  $41^{\circ}\text{C}$  على الساعة 14:00، أين كانت أشعة الشمس في أوجها، ثم انخفضت درجة اليوم الثاني (20 ماي 2026) سجلت أعلى قيم مقارنة بكل من اليوم الأول واليوم الثاني.

### 3.4.3 تغيرات كمية الماء المنتجة خلال أيام التجربة :

### 1.3.4.3 تغيرات كمية الماء المنتجة من المقطر الشاهد:

يوضح الشكل (8.3) تغيرات كمية الماء المقطر التي أنتجها المقطر الشاهد خلال أيام التجربة (04، 20 و 21 ماي 2026) بدلالة الزمن.

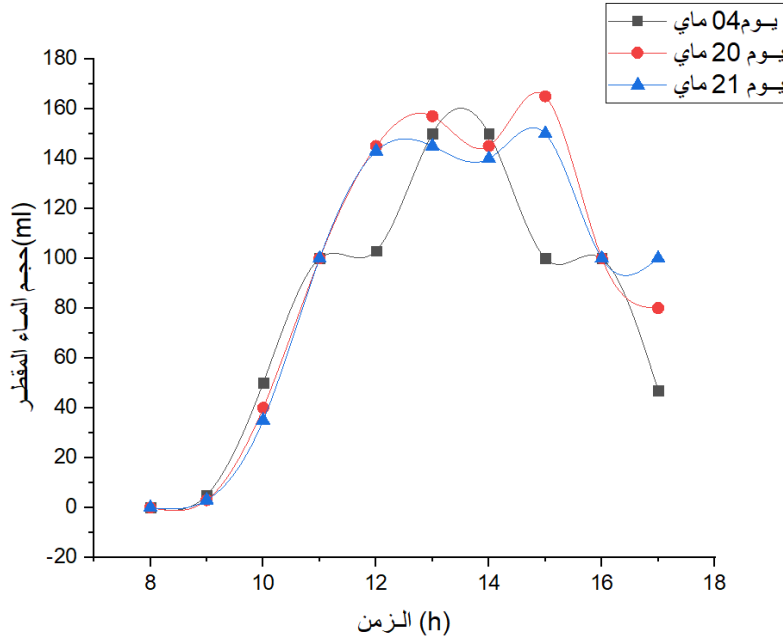


الشكل (8.3): منحنى تغيرات كمية الماء المقطر المنتجة من المقطر الشاهد خلال أيام التجربة بدلالة الزمن.

من الواضح أن كمية الماء المقطر التي أنتجها المقطر الشاهد في الأيام الثلاثة تتغير خلال فترات اليوم، حيث تزايدت في الفترة الممتدة من الساعة 08:00 حتى 12:00 زوالاً في الأيام الثلاثة، ففي اليوم الأول بلغت كمية الماء المقطر قيمتها العظمى عند هذه الساعة بقيمة قدرت بـ 95ml، ثم بدأت في الانخفاض التدريجي، بينما شهد اليوم الثاني والثالث انخفاضاً طفيفاً بعد الساعة 12:00 قبل أن تعود إلى التزايد ابتداءً من الساعة 14:00 لتبلغ قيمتها القصوى عند الساعة 15:00، فكانت 140 ml في اليوم الثاني و 135 ml في اليوم الثالث، ثم تنخفض تدريجياً بسبب تراجع شدة الإشعاع الشمسي.

### 2.3.4.3 تغيرات كمية الماء المنتجة من المقطر المحسن:

يوضح الشكل (9.3) تغيرات كمية الماء المقطر المنتجة من المقطر المحسن خلال أيام التجربة (04، 20 و 21 ماي 2026) بدلالة الزمن.



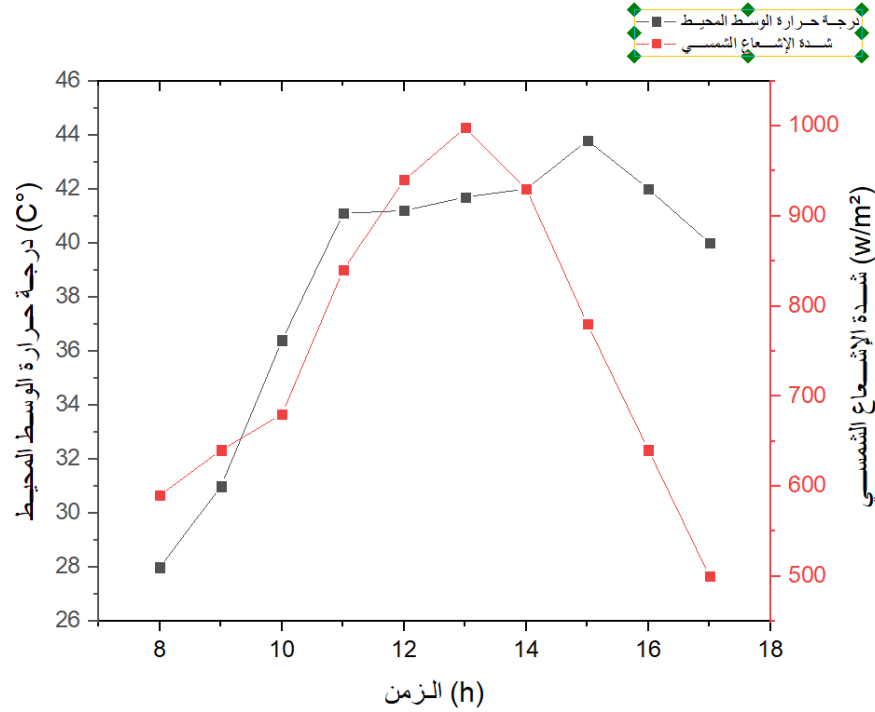
الشكل (9.3): منحنى تغيرات كمية الماء المقطر المنتجة من المقطر المحسن خلال أيام التجربة بدلالة الزمن.

نلاحظ أن كمية الماء المنتجة خلال الأيام الثلاثة شهدت تغيرات خلال فترات القياس. فقد سجلت الكمية ارتفاعاً تدريجياً ابتداءً من الساعة 08:00 إلى غاية الساعة 13:00 زوَالاً في الأيام الثلاثة. ففي اليوم الأول بلغت كمية الماء المقطر أعلى قيمة لها عند هذه الساعة، وقدرت بـ 150ml، ثم بدأت بالانخفاض التدريجي بعد ذلك. أما في اليومين الثاني والثالث وقع انخفاض طفيف بعد الساعة 13:00، قبل أن تعود الكمية إلى الارتفاع مجدداً ابتداءً من الساعة 14:00 لتصل إلى القيمة القصوى عند الساعة 15:00، حيث سُجلت 165ml في اليوم الثاني و 150ml في اليوم الثالث. وبعد ذلك بدأت الكمية في التراجع تدريجياً خلال الفترة المسائية نتيجة انخفاض شدة الإشعاع الشمسي.

وبعد المقارنة بين النتائج التجريبية خلال أيام التجربة الثلاثة، من حيث الإشعاع الشمسي، والظروف الجوية السائدة، وكمية الماء المقطر المنتجة، كان يوم 20 ماي الأفضل، لذلك سوف نفضل في دراسة النتائج المسجلة خلال هذا اليوم.

### 3.4.3 تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوسط المحيط :

يبين الشكل (10.3) منحنى تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوسط المحيط خلال فترة القياس الممتدة من 08:00 إلى 17:00، بدلالة الزمن.

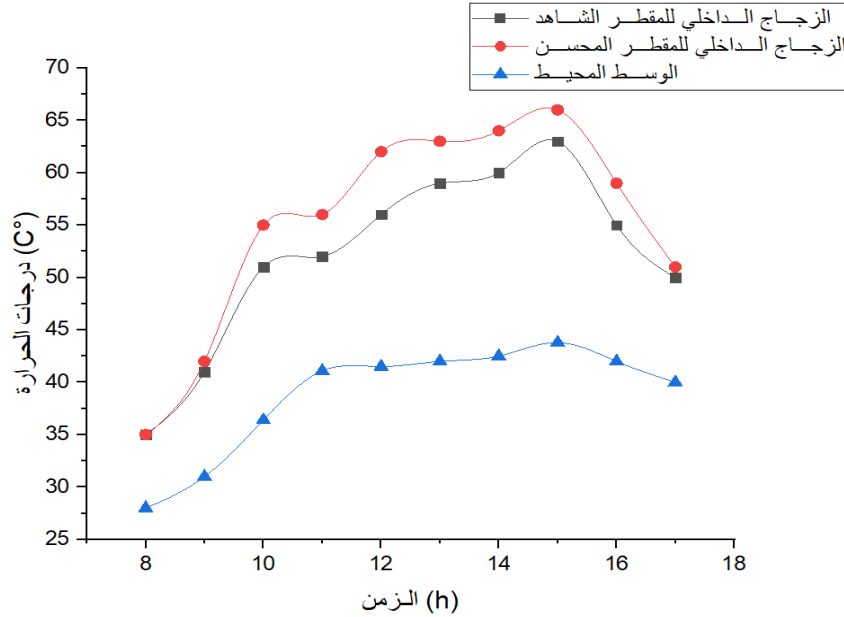


الشكل (10.3) منحنى تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوسط المحيط بدلالة الزمن.

نلاحظ أن شدة الإشعاع الشمسي تتزايد تدريجياً من الساعة 08:00 حتى بلغت ذروتها عند الساعة 13:00 زوالاً والتي قدرت بـ  $998w/m^2$  ، ثم تبدأ بالتناقص تدريجياً إلى أن تصل إلى أدنى قيمة لها على الساعة 17:00 والتي قدرت بـ  $500w/m^2$  ، كذلك يبين الشكل تزايد درجة حرارة الوسط المحيط من الفترة الممتدة من الساعة 08:00 إلى 15:00 حيث سجلنا أقصى قيمة قدرت بـ  $43.8^{\circ}C$  ، ثم تنخفض إلى أن تصل إلى القيمة المقدرة بـ  $40^{\circ}C$  عند الساعة 17:00. من الواضح وجود فارق زمني بين ذروة شدة الإشعاع الشمسي وذروة درجة حرارة الوسط المحيط، حيث بلغ الإشعاع الشمسي أقصاه عند الساعة 13:00، بينما تصل درجة الحرارة إلى قيمتها العظمى بعد ذلك بحوالي ساعة. ويرجع هذا الفارق إلى أن الوسط المحيط لا ترتفع درجة حرارته مباشرة عند استقبال الإشعاع الشمسي، بل يحتاج إلى مدة زمنية لاكتساب الطاقة الإشعاعية وتخزينها ثم تحويلها إلى طاقة حرارية، مما يؤدي إلى تأخر درجة حرارة المحيط في بلوغ ذروتها مقارنة بذروة الإشعاع الشمسي.

#### 5.4.3 تغيرات درجة حرارة الزجاج الداخلي والوسط المحيط:

الشكل (11.3) يبين منحنى تغيرات درجة حرارة الوجه الداخلي للزجاج لكلا المقطرين، ودرجة حرارة الوسط المحيط بدلالة الزمن.

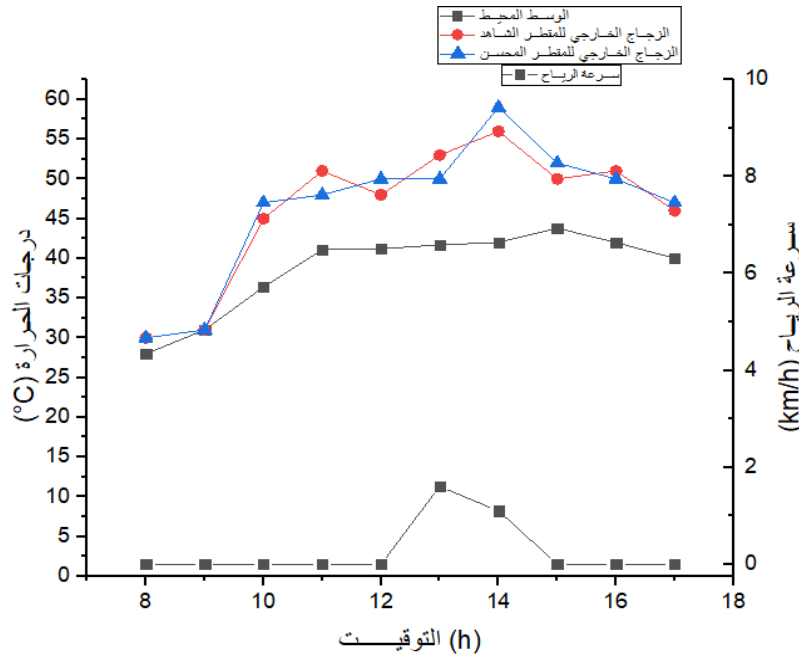


الشكل (11.3): منحنى تغيرات درجة حرارة الزجاج الداخلي والوسط المحيط بدلالة الزمن.

نلاحظ أن درجة حرارة الزجاج الداخلي لكلا المقطرين تتزايد تدريجياً بداية من الساعة 09:00 إلى أن تبلغ أقصى قيمة لها على الساعة 15:00، فكانت  $66^{\circ}\text{C}$  بالنسبة للمقطر المحسن، و  $63^{\circ}\text{C}$  بالنسبة للمقطر الشاهد، وهو ما يتوافق مع تزايد الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوسط المحيط خلال هذه الفترة، ثم بدأت درجات الحرارة في الانخفاض إلى أن تبلغ أقل قيمة لها على الساعة 17:00 نتيجة تناقص درجة حرارة الوسط المحيط وشدة الإشعاع الشمسي، وقدرت هذه القيمة بـ  $51^{\circ}\text{C}$  بالنسبة للمقطر المحسن، و  $50^{\circ}\text{C}$  للمقطر الشاهد. كما أظهرت النتائج التجريبية تفوقاً حرارياً مستمراً لدرجة حرارة الزجاج الداخلي للمقطر المحسن مقارنة بالمقطر الشاهد طوال فترة القياس، حيث بلغت الفجوة الحرارية ذروتها على الساعة 12:00 وقدرت بفارق  $6^{\circ}\text{C}$ . ويرجع هذا التباين الحراري إلى دور العدسات المقوية المستعملة في المقطر المحسن التي عملت على تركيز الإشعاع الشمسي على الماء داخل الحوض، مما ساهم في زيادة الاحتباس الحراري ورفع معدل التبخر داخل المقطر، وعند تصادم هذا البخار الساخن بالسطح الداخلي للزجاج البارد يحدث تكاثف يرافقه تحرير للطاقة الحرارية وهي المسؤولة عن رفع درجة حرارة الزجاج الداخلي للمقطر المحسن عن الشاهد.

#### 6.4.3 تغيرات درجة حرارة الزجاج الخارجي، الوسط المحيط وسرعة الرياح:

يوضح الشكل (12.3) منحنى تغيرات درجة حرارة الوسط المحيط والغطاء الزجاجي الخارجي لكلا المقطرين (المحسن والشاهد) وسرعة الرياح بدلالة الزمن .

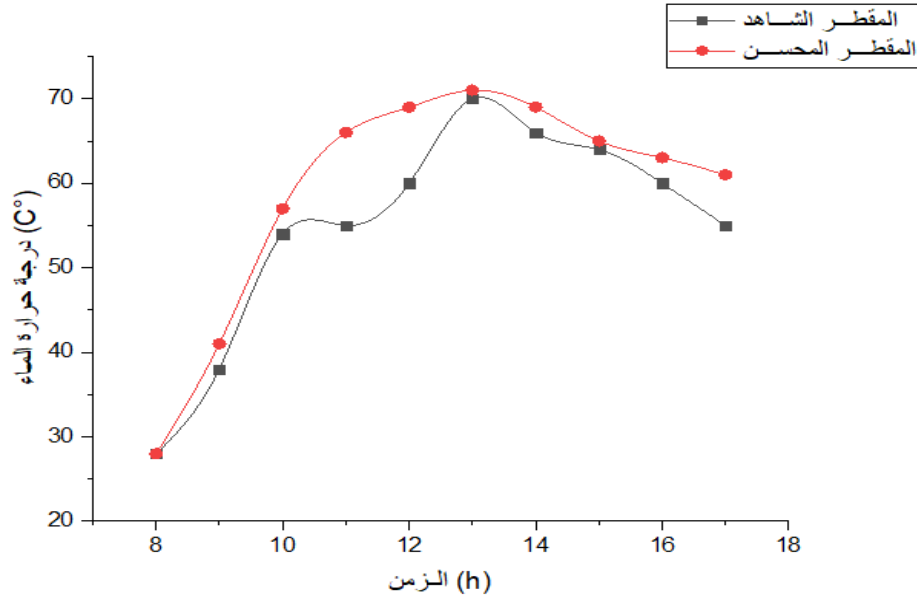


الشكل (12.3): منحنى تغيرات درجة حرارة الزجاج الخارجي والوسط المحيط وسرعة الرياح بدلالة الزمن

نلاحظ أن درجات حرارة الزجاج الخارجي لكلا المقطرين شهدت تغيراً مستمراً خلال فترة القياس الممتدة من الساعة 8:00 إلى 17:00، تبعاً لتغيرات شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوسط المحيط وسرعة الرياح. حيث أن درجة حرارة الزجاج الخارجي للمقطرين عرفت تزايداً من الساعة 8:00 إلى 10:00، ثم تبدأ بالارتفاع والانخفاض حتى الساعة 16:00، حيث بلغت أعلى قيمة لها على الساعة 14:00 زواياً وقدرت بـ  $56^{\circ}\text{C}$  بالنسبة للمقطر الشاهد، و  $59^{\circ}\text{C}$  بالنسبة للمقطر المحسن، ثم تبدأ درجات الحرارة بالانخفاض تدريجياً حتى الساعة 17:00، وهذا راجع إلى تغير شدة الإشعاع الشمسي والظروف الجوية المحيطة مما يؤثر مباشرة في كمية الحرارة المكتسبة والمفقودة من سطح الزجاج الخارج. كما تظهر النتائج أن تغير سرعة الرياح تساهم في زيادة فعالية التبادل الحراري بين الهواء والزجاج. فعند ارتفاع سرعة الرياح تنخفض درجة حرارة الزجاج الخارجي بسبب زيادة التبادل الحراري بين الزجاج والهواء المحيط، ويرجع ذلك لظاهرة الحمل الحراري القسري، إذ تزداد كمية الحرارة المنتقلة من الزجاج إلى الهواء كلما ازدادت سرعة الرياح. لذلك نلاحظ أن الفترات التي تعرف سرعات رياح أكبر تقابلها قيم أقل لدرجة حرارة الزجاج الخارجي.

#### 7.4.3 تغيرات درجة حرارة الماء:

الشكل (13.3) يمثل منحنى تغيرات درجة حرارة الماء داخل الحوض في المقطر المحسن والمقطر الشاهد بدلالة الزمن.

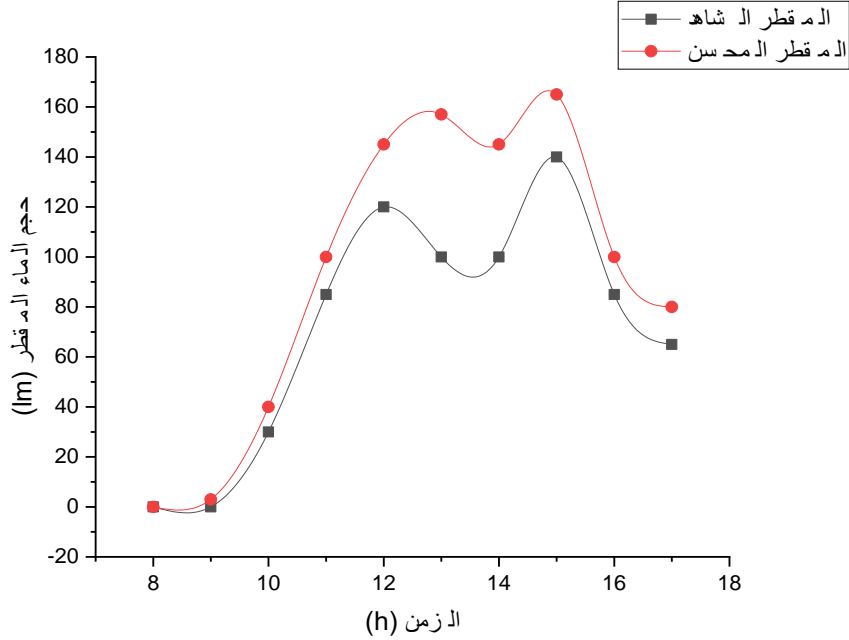


الشكل (13.3): منحنى تغيرات درجة حرارة الماء بدلالة الزمن.

نلاحظ أن درجات حرارة الماء في كلا المقطرين تتزايد مع تقدم ساعات النهار إلى غاية الساعة 13:00 زوالاً، ثم تبدأ بالانخفاض التدريجي إلى 17:00 وهو ما يتناسب مع تغير شدة الإشعاع الشمسي في هذه الفترة، وقد بلغ المقطر المحسن قيمة عظمى قدرت بـ  $71^{\circ}\text{C}$  مقابل  $70^{\circ}\text{C}$  للمقطر الشاهد على الساعة 13:00، بينما سجلت القيم الدنيا على الساعة 09:00 صباحاً، وقدرت بـ  $41^{\circ}\text{C}$  للمقطر المحسن، و  $38^{\circ}\text{C}$  للمقطر الشاهد. كما نلاحظ أن درجات حرارة الماء في المقطر المحسن كانت أعلى من المقطر الشاهد طوال فترة التجربة مما يدل على فعالية العدسات المقربة في تركيز الإشعاع الشمسي ورفع درجات الحرارة داخل المقطر، حيث سجل أقصى فارق على الساعة 11:00 بقيمة قدرت بـ  $10^{\circ}\text{C}$ .

#### 8.4.3 تغيرات كمية الماء المنتجة تجريبياً في المقطرين الشمسيين:

يظهر المنحنى (14.3) تطور كمية الماء المقطر المنتجة في كلا المقطرين (الشاهد والمحسن) خلال فترة القياس بدلالة الزمن.



الشكل (14.3): منحنى تغيرات كمية الماء المقطر المنتجة بدلالة الزمن

نلاحظ وجود تزايد تدريجي في الإنتاج في كلا المقطرين بدايةً من الساعة 08:00 إلى 13:00 زوالاً، نتيجة الارتفاع التدريجي في شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوسط الداخلي للمقطر، كما نلاحظ وجود انخفاض طفيف في كمية الماء المقطر عند الساعة 14:00 بالنسبة للمقطرين، ويرجع هذا الانخفاض رغم ارتفاع شدة الإشعاع الشمسي، إلى ارتفاع درجة حرارة الزجاج الخارجي وتقلبها مع درجة حرارة الماء، مما أدى إلى انخفاض فرق درجات الحرارة الضرورية لعملية التكتيف، ثم أخذت في الارتفاع مجددًا إلى أن تتبلغ ذروتها عند الساعة 15:00، فكانت بالنسبة للمقطر المحسن 165ml و في المقطر الشاهد 140 ml. بعد الساعة 15:00 تبدأ كمية الماء المقطر بالانخفاض التدريجي في المقطرين، ويعود ذلك إلى تراجع شدة الإشعاع الشمسي مع اقتراب الفترة المسائية، مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الماء داخل الحوض وتراجع معدل التبخر، وبالتالي انخفاض كمية الماء المتكثف والمجمع. وتؤكد هذه النتائج أن المقطر المحسن يمتلك كفاءة أعلى مقارنة بالمقطر الشاهد، ويعود هذا الفارق بين كمية الماء المجمعة من المقطر المحسن والمقطر الشاهد إلى دور العدسات المقربة في زيادة تركيز الإشعاع الشمسي على الماء داخل الحوض، مما أدى إلى رفع درجة حرارة الماء وزيادة معدل التبخر، وبالتالي يتكاثف مقدار أكبر من البخار على الزجاج الداخلي.

ويمكن أن نحسب نسبة التحسين للمقطر المحسن بالنسبة للمقطر الشاهد بالعلاقة التالية :

$$P_{imp} = \frac{(p_d)_I - (p_d)_T}{(p_d)_T} \times 100 \quad (1.3)$$

$(p_d)_I$  : الإنتاجية اليومية للمقطر المحسن.

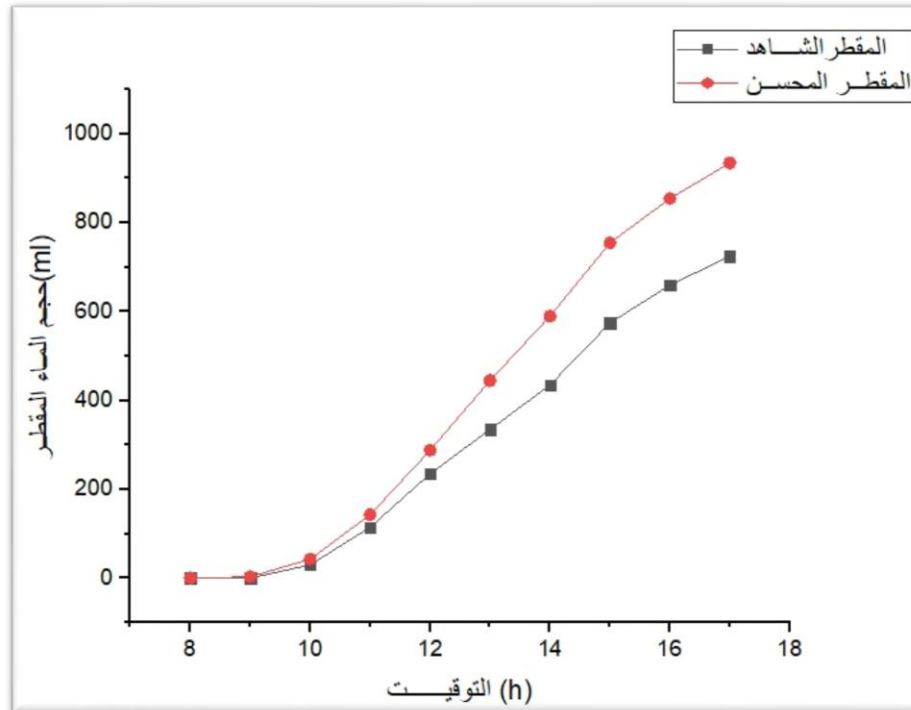
$(p_d)_T$  : الإنتاجية اليومية للمقطر الشاهد.

$P_{imp}$  : نسبة التحسين في أداء المقطر الشمس [2].

لقد بلغت نسبة التحسين في أداء مقطرننا الشمسي المحسن باستخدام العدسات المقربة نسبة 27.02%.

### 9.4.3 تطور كمية الماء المقطر المنتجة:

يمثل الشكل (15.3) تطور كمية الماء المقطر المنتجة خلال مدة القياس بدلالة الزمن.



الشكل (15.3) تطور كمية الماء المقطر المنتجة.

## 5.3 دراسة اقتصادية:

قمنا بحساب التكلفة الإجمالية للمقطر المحسن باستعمال العدسات المقربة من خلال دراسة اقتصادية أولية لأجزاء المقطر الشمسي التقليدي ومن ثم إضافة تكلفة العدسات المستعملة.

الهدف من هذه الدراسة الاقتصادية هو مقارنة تكلفة العدسات المضافة بالعائد المتوقع من إنتاج الماء المقطر.

## الجدول (9.3): تكلفة أجزاء المقطر الشمسي.

التكلفة DA	الكمية	العنصر
3000	1	خزان معدني
2000	1	هيكل خشبي وعازل حراري
4000	1	الغطاء الزجاجي
700	1	طلاء أسود ماص للحرارة
300	1	أدوات تثبيت ولواصق
3800	15	العدسات المقربة

ومنه فإن تكلفة المقطر التقليدي تساوي 10000 DA.

وتكلفة المقطر المحسن باستعمال العدسات المقربة تساوي 13800DA.

## 1.5.3 المردود الاقتصادي:

سنقوم بتقييم المردود الاقتصادي للمقطر المحسن باستعمال العدسات المقربة، ثم نحسب مدة استرداد التكلفة بمقارنة العائد المحقق مع تكلفة العدسات المضافة.

تجدر الإشارة إلى أنه تم ضرب قيم الإنتاجية والعائد الاقتصادي في أربعة للحصول على القيم المكافئة لمقطر بمساحة (1m<sup>2</sup>)، وذلك تماشيًا مع المنهج المتبع في الأبحاث و الدراسات الخاصة بالتقطير الشمسي.

- المقطر المحسن ينتج 800 ml في اليوم زيادة عن المقطر الشاهد.
- سعر اللتر الواحد من الماء المقطر 100DA.
- تكلفة العدسات المضافة 15200 DA.
- المردود الإضافي للمقطر المحسن 80DA.
- مدة استرداد تكلفة العدسات يتم خلال 190 يوم.

## مراجع الفصل الثالث:

[1] <https://share.google/xz9ttCwVqNifOGHt8> 6:00 a.m 2/4/2026

[2] مُجَدُّ تَحَهُ، دراسة ومقارنة وتحسين لمختلف المقطرات الشمسية لإنتاج المياه الصالحة للشرب في المناطق الجافة الصحراوية، مذكرة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، الجزائر، 2004.

خاتمة عامة



## خاتمة عامة :

تعاني الصحراء الجزائرية من ندرة مياه الشرب رغم توفر كميات كبيرة من المياه المالحة، الأمر الذي دفع إلى البحث عن تقنيات فعالة لاستغلال هذه الموارد المائية. ومن بين أهم هذه التقنيات التقطير الشمسي، الذي يُعد من أبسط وسائل تحلية المياه وأكثرها ملاءمة للمناطق الصحراوية، نظراً لاعتماده على الطاقة الشمسية باعتبارها مصدراً متجدداً ومتوفراً بكثرة، إضافة إلى انخفاض تكلفته وسهولة تشغيله. ورغم المزايا التي يوفرها هذا النظام، إلا أن المقطرات الشمسية التقليدية ما تزال تعاني من ضعف الإنتاجية.

تهدف دراستنا إلى معالجة مشكلة ضعف إنتاجية المقطر الشمسي البسيط أحادي الميل، وذلك من خلال استخدام مقطر محسن مزود بعدسات مقربة. أجرينا التجربة باستعمال مقطرين بنفس الأبعاد ونفس نوع المواد المصنعة وتحت نفس الظروف الجوية، قمنا بتزويد المقطر الأول بعدسات مقربة على مستوى غطاءه الزجاجي تعمل على زيادة تركيز الإشعاع الشمسي داخل المقطر. بينما أبقينا الثاني دون أي تعديل ليعمل كشاهد

و بعد القيام بالتجربة يمكننا تلخيص أهم النتائج المتوصل إليها في النقاط التالية :

- الإشعاع الشمسي يتحكم في زيادة و انخفاض درجات حرارة أجزاء المقطر وبالتالي يتحكم في الإنتاجية الساعية للمقطر.
- درجة حرارة الوسط المحيط وسرعة الرياح تؤثر على درجة حرارة الزجاج الخارجي للمقطر مما يؤثر على إنتاجية المقطر.
- أدى تزويد غطاء المقطر المحسن بعدسات مقربة إلى رفع درجات حرارة الأجزاء الداخلية للمقطر، فعند منتصف النهار، سجل المقطر المحسن  $66^{\circ}\text{C}$  للماء، و  $62^{\circ}\text{C}$  للزجاج الداخلي، و  $50^{\circ}\text{C}$  للزجاج الخارجي . في حين كانت درجات حرارة المقطر الشاهد أقل، حيث بلغت  $60^{\circ}\text{C}$  للماء، و  $56^{\circ}\text{C}$  للزجاج الداخلي، و  $48^{\circ}\text{C}$  للزجاج الخارجي . مما أسفر عن زيادة إنتاجية الماء المقطر للمقطر المحسن مقارنةً بالمقطر الشاهد.

• من خلال النتائج، كمية المياه المقطرة المتحصل عليها خلال 9 ساعات هي  $740ml$  بالنسبة للمقطر الشاهد و  $940ml$  بالنسبة للمقطر المحسن ومنه نلاحظ تحسن في انتاجية الماء المقطر بنسبة تقدر  $27,02\%$  ويمكننا القول أن العدسات المقربة المضافة لها تأثير معتبر على مردود المقطر الشمسي أحادي الميل.

• أظهرت الدراسة الاقتصادية أن المقطر المحسن أعلى انتاجية من المقطر الشاهد بفارق  $800 ml$  ، حيث تبلغ مساحة المقطرين  $1m^2$ . هذا الفارق الإنتاجي يترجم إلى عائد مالي إضافي قيمته  $80DA$  يوميا (بحساب  $100DA$  للتر الواحد). ووفقا لهذه المعطيات، فإن المدة الزمنية اللازمة لاسترداد تكلفة شراء العدسات المقربة هي 190 يوم فقط.

تأسيساً على ما أسفرت عنه هذه الدراسة من نتائج، وفي ظل التطورات المتسارعة التي يشهدها التقطير الشمسي، نرى أن هذه المذكرة لا تمثل نهاية المطاف، بل تشكل أرضية صلبة ومنطلقاً واعداً لفتح آفاق بحثية مستقبلية كفيلة ب تطوير استخدام العدسات المقربة لتحسين انتاجية المقطر الشمسي. وعليه نوصي بما يلي:

- ✓ دراسة أثر زيادة عدد العدسات المقربة لرفع كفاءة تجميع الأشعة .
- ✓ إدراج نظام تتبع شمسي ذكي للعدسات المقربة لضمان أعلى تركيز طيلة النهار.
- ✓ دمج استخدام العدسات المقربة مع مواد متغيرة الطور (PCM) للاحتفاظ بالطاقة العالية الناتجة عن تعدد العدسات واستغلالها ليلاً.

## الملخص :

في إطار تطوير وتحسين منظومة التقطير الشمسي المعتمدة على الطاقة الشمسية ، وحرصا على رفع المردود اليومي لإنتاج الماء المقطر تم في هذه الدراسة الاعتماد على المقطر الشمسي البسيط أحادي الميل باعتباره من أكثر النماذج استعمالا في مجال التقطير الشمسي نظرا لبساطة تصميمه واعتماده على مصدر طاقتي متجدد ومنخفض التكلفة . والهدف من هذه الدراسة هو تحسين أداء المقطر الشمسي البسيط والمساهمة في زيادة كفاءته ومروده. استخدمنا في هذه التجربة مقطرين شمسيين أحدهما شاهد بدون أي تعديل (تقليدي) والثاني محسن بإضافة عدسات مقربة على مستوى غطاءه الزجاجي تعمل على تركيز الإشعاع الشمسي داخل حوض الماء المالح، وأدت هذه الإضافة إلى زيادة درجة حرارة الأجزاء الداخلية للمقطر، مما زاد من معدل عملية التبخير، وبالتالي تكتيف أكثر، وقد بينت النتائج التجريبية أن المقطر المحسن حقق إنتاجية أعلى مقارنة بالمقطر الشاهد، حيث ساهمت العدسات المقربة في تحسين مردود التقطير، حيث بلغت نسبة التحسين 27% ، مما يؤكد فعالية هذه التقنية في تطوير أداء المقطرات الشمسية البسيطة .

الكلمات المفتاحية:

التقطير الشمسي، المقطر الشمسي أحادي الميل، العدسات المقربة، الإشعاع، تركيز الإشعاع .

## Abstract:

As part of the development and improvement of the solar distillation system based on solar energy, and with the aim of increasing the daily productivity of distilled water, this study focused on the single-slope simple solar still, as it is considered one of the most widely used models in the field of solar distillation due to its simple design and its dependence on a renewable and low-cost energy source. The objective of this study is to improve the performance of the simple solar still and contribute to increasing its efficiency and productivity.

In this experiment, two solar stills were used: a conventional still without any modification (reference still) and an improved still enhanced by adding converging lenses on its glass cover. These lenses concentrate solar radiation inside the saline water basin, leading to an increase in the temperature of the internal parts of the still, which enhanced the evaporation rate and consequently increased the condensation process. The experimental results showed that the improved still achieved higher productivity compared to the conventional still, as the converging lenses contributed to improving the distillation yield, with an improvement rate reaching 27%. These findings confirm the effectiveness of this technique in enhancing the performance of simple solar stills.

Keywords:

Solar Distillation, Single Slope Solar Still, Converging Lenses, Radiation, Concentration of Radiation .

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ