



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العالمي  
جامعة قاصدي مرباح ورقلة  
كلية الرياضيات و علوم المادة  
قسم الفيزياء

N° d'ordre:

N° de série:

أطروحة دكتوراه الطور الثالث

مجال : علوم المادة

شعبة : الفيزياء

تخصص : فيزياء طاوقية

مقدمة من طرف الطالبة : شلغام منيرة

بـعنوان:

إستعمال اللاقط الشمسي لتحسين أداء المقطر الشمسي

يوم 2023 / 10 / 09 أمام لجنة المناقشة المكونة من:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عالي	لزهر بن مبروك
مناقشا	غرداية	مدير البحث	قدور عبد المجيد
مناقشا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر قسم "أ"	سوداني محمد البار
مناقشا	جامعة الوادي	أستاذ تعليم عالي	عطية محمد الهادي
مناقشا	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عالي	معريف ياسين
مشرفا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر قسم "أ"	بالحاج محمد مصطفى

الموسم الجامعي: 2023/2022

# الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

نحمد الله عز وجل على منه وكرمه و عونه لإتمام هذا العمل  
إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة .. ونصح الأمة .. إلى نبي الرحمة ونور العالمين..  
سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم .

إلى كل من في الوجود بعد الله ورسوله إلى الوالدين الكريمين.

إلى العائلة الكريمة ( شلغام ) .

إلى كل الإخوة والأخوات .

ونخص بهذا الإهداء الأستاذ الفاضل بالحاج محمد مصطفى الذي صبر معنا و اعننا  
بكل ما يستطيع على قيام بهذه العمل جزيل الشكر والعرفان

إلى كل الزميلات والصدقات

إلى كل الأساتذة الكرام

## التشكرات

تم بحمد الله تعالى إتمام هذا العمل الذي يندرج في إطار الحصول على شهادة الدكتوراه ، تخصص فيزياء طاقوية بكلية الرياضيات وعلوم المادة بجامعة قاصدي مرباح ورقلة، وبالتعاون مع مخبر تطوير الطاقات الجديدة والمتجددة بالمناطق الجافة والصحراوية L.E.N.R.E.Z.A .

بداية ومن باب من لم يشكر الناس لم يشكر الله، أود أن أتوجه بالجزيل الشكر إلى الأستاذ المشرف على هذه الأطروحة، الأستاذ الدكتور بالحاج محمد مصطفى الذي كان نعم الداعم والموجه في مختلف جوانب هذا العمل، وخلال مختلف مراحل له . و بالإضافة إلى ذلك، فإن النصائح التي قدمها لي كانت دائما واضحة ودقيقة جدا، مما كان يسهل لي إيجاد الحلول المناسبة لكثير من العقبات التي اعترضت مسار هذا العمل، وبالتالي إتمام هذا المشروع في أحسن الظروف وفي وقته المحدد له ، كما أود أيضا أن أشكر الأستاذة الدكتورة شلغام فتيحة على مساعدتها في إتمام هذا العمل، فلها مني أسمي عبارات الشكر والتقدير .

كما أتقدم بالشكر الجزيل لكل أعضاء لجنة المناقشة و هم على التوالي :الأستاذ الدكتور معريف ياسين من جامعة ورقلة، الأستاذ الدكتور عطية محمد الهادي من جامعة الوادي، الأستاذ الدكتور سوداني محمد البار من جامعة ورقلة ، الأستاذ الدكتور قدور عبد المجيد من وحدة البحث غرداية ، أشكرهم على قبولهم المشاركة بأوقاتهم الثمينة في تقييم هذا العمل، فلهم مني أسمي عبارات الامتنان، و أيضا اشكر جزيل الشكر الأستاذ لزهري بن مبروك الذي قبله رئاسة اللجنة .

وكذلك نشكر كل من ساعد على إتمام هذا البحث وقدم لنا العون ومد لنا يد المساعدة وزودنا بالمعلومات اللازمة لإتمام هذا العمل نذكر منهم " شرابي رضا" و " تحة محمد " وكل مسؤولي المخبر الفيزياء والعاملين بها ونخص بالذكر "حوتي أحمد" و "بوحفص كوثر ." و"زيادي أسماء ." و إلى من زرعو التفاهل في درينا وقدموا لنا المساعدات والتسهيلات والأفكار والمعلومات فلهم منا كل الشكر والتقدير .  
الشكر موصول لكل الأساتذة بكلية الرياضيات وعلوم المادة بجامعة ورقلة.

شلغام منيرة

## الملخص :

في إطار تطوير وتحسين منظومة التقطير الشمسي بإستعمال الطاقة الشمسية و السعي لتحسين المردود اليومي لإنتاج الماء المقطر حيث تم الاعتماد في هذه الدراسة على المقطر البسيط ذو التركيبة التجريبية السهلة و البسيطة من جهة ، والذي يعمل بالطاقة الشمسية لكونها متجددة و غير مكلفة من جهة أخرى. والهدف من هذه الدراسة هو تحسين أداء المقطر الشمسي البسيط بإستعمال لاقط الشمسي عبر إنشاء حركة للهواء من خلال ربط دائرة دوران طبيعية بين لاقط الشمس ومقطر الشمسي ، و المساهمة في تحسين الإنتاجية الكفاءة الطاقوية و كانت التجارب تعتمد على مقطرين ؛ الأول (شاهد) قمنا بطلاء مبخره بالأسود غير البراق و الجدران تم تغطيتها بالألمنيوم، والثاني تمت عليه تحسينات بالنسبة لعملية التبخير ، تمت المقارنة بين مقطرين خلال فصل الشتاء بزوايا ميل المقطر  $16^{\circ}$  ، وتم عرض النتائج في هذا البحث لمدة ثلاثة أيام نموذجية لعمل التجريبي ومقارنتها بالمحاكاة العددية. ويتراوح الفقد الحراري للشاهد بين  $3.732 \text{ w} - 230.89 \text{ w}$  ، و المحسن يتراوح من  $9.738 \text{ w}$  إلى  $122.553 \text{ w}$  وكانت نسبة تحسين الانتاجية  $82\%$  ، و تم تسمين العمل التجريبي بالمحاكاة العددية مع تغير الزوايا لي  $30^{\circ}$  .

**الكلمات المفتاحية:** المقطر الشمسي ، الإشعاع الشمسي، انتقال الحرارة ، لاقط الشمسي , ضياع الحرارة .

## Résumé

Les distillateurs solaires constituent l'équipement de dessalement le plus élémentaire pour produire de l'eau douce avec la source d'énergie la plus respectueuse de l'environnement. L'effet de circulation naturelle à l'intérieur de l'alambic est utilisé dans cet article pour proposer une nouvelle stratégie expérimentale visant à améliorer les performances d'un alambic solaire conventionnel. Le concept consiste à créer un mouvement d'air en fixant un cercle de circulation naturelle rectangulaire à l'arrière de l'alambic. Les expériences ont été basées sur deux distillateurs. L'étude comparative entre l'alambic solaire et l'alambic solaire avec avance (cercle rectangulaire de circulation naturelle) a été mise à l'épreuve pendant l'hiver, et les résultats sont présentés dans cet article pour trois jours typiques. La perte thermique conventionnelle varie entre  $3,732 \text{ W}$  et  $230,89 \text{ W}$ , avec un taux allant de  $9,738 \text{ W}$  à  $-122,553 \text{ W}$ , selon les résultats, et l'amélioration du pourcentage de production a été de  $82\%$ . Évaluation du travail expérimental par simulation numérique avec un changement d'angle de  $30^{\circ}$ .

**Mots clés:** distillat solaire, rayonnement solaire, transfert de chaleur, capteur solaire, perte de chaleur.

## Abstract

Solar distillers are the most basic desalination equipment for producing fresh water with the most environmentally friendly energy source. The natural circulation effect inside the still is used in this paper to propose a new experimental strategy for improving the performance of a conventional solar still. The concept is to create air movement by attaching a rectangular natural circulation circle to the back side of the still. The experiments were based on two distillater distillates . The first (is a conventional solar still), and the second is a modified one(modify), Comparative investigation among between the solar still and solar still with advance (rectangular natural circulation circle), it was put to the test during the winter, and the results are presented in this paper for three typical days. The conventional's thermal loss ranges from between  $3.732 \text{ W}$  - and  $230.89 \text{ W}$ , with a rate ranging from  $9.738 \text{ W}$  to  $-122.553 \text{ W}$ , according to the findings, and the improvement of production percentage were  $82\%$  . Evaluated the experimental work by numerical simulation with a change in angle of  $30^{\circ}$  .

**Keywords:** solar still, solar radiation, heat transfer , solar collector, heat loss



## فهرس العناوین

I	تشكرات
II	إهداء
III	الملخص
V	فهرس العناوین
X	فهرس الجداول
IV	فهرس الأشكال
IV	قائمة الرموز والمصطلحات

### المقدمة العامة

1	مقدمة العامة
5	المراجع

### الفصل الأول: بحث في المراجع حول الماء و أنواع المقطرات الشمسية المقطرات

7	(1-I) المقدمة
7	(2-I) الماء وأنواعه
8	(1-2-I) المياه المراد تحليتها
8	(1-1-2-I) مياه البحر
8	(2-1-2-I) مياه معتدلة الملوحة
8	(3-1-2-I) مياه الصالحة لشرب
9	(3-I) مشكلة نقص المياه
9	(1-3-I) مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب وحلول المقترحة في العالم
10	(2-3-I) مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في إفريقيا وحلول المقترحة
11	(3-3-I) مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في الجزائر وحلول المقترحة
12	(4-3-I) مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في ورقلة وحلول المقترحة
13	(4-I) تحليه المياه في الجزائر
13	(1-4-I) تحليه المياه البحر في حالة الطوارئ

14	المحطات الكبيرة لتحلية المياه (2-4-I)
13	محطات إزالة المعادن (3-4-I)
15	التقطير الشمسي (5-I)
15	تاريخ التقطير الشمسي (1-5-I)
16	أنواع المقطرات الشمسية (2-5-I)
17	المقطرات الشمسية بدون تحسينات (1-2-5-I)
18	المقطرات الشمسية المحسنة (2-2-5-I)
18	المقطرات الشمسية تحسين مكثفه (1-1-2-5-I)
20	المقطرات الشمسية تحسين مبخره (2-1-2-5-I)
22	المقطرات الشمسية بإضافة لاقط (3-1-2-5-I)
25	تقنيات استغلال الحرارة (6-I)
28	خاتمة (7-I)
29	المرجع

## الفصل الثاني: الإشعاع الشمسي والظواهر الفيزيائية لعملية التقطير الشمسي

33	المقدمة (1-II)
33	الطاقة الشمسية (2-II)
34	الشمس (3-II)
35	الإشعاع الشمسي (4-II)
35	الإشعاع الشمسي على الأرض (1-4-II)
38	الزوايا الشمسية (5-II)
38	زاوية الميل الشمسية (1-5-II)
38	زاوية الساعة الشمسية (1-5-II)
38	زاوية دائرة العرض (1-5-II)
38	زاوية الارتفاع الشمسية (1-5-II)
39	زاوية السميت الرأسى (1-5-II)

39	.....(6-II) انتقال الحرارة
39	.....(1-6-II) أشكال انتقال الحرارة
39	.....(1-1-6-II) التوصيل الحراري
39	.....(1-1-1-6-II) قانون فوري
40	.....(2-1-6-II) الحمل الحراري
40	.....(1-2-1-6-II) قانون نيوتن
40	.....(3-1-6-II) الإشعاع الحراري
41	.....(1-3-1-6-II) قانون ستيفان بولتزمان
41	.....(7-II) انتقال الكتلة
42	.....(1-7-II) أنواع انتقال الكتلة
42	.....(1-1-7-II) قانون فيك الأول :
42	.....(2-1-7-II) قانون فيك الثاني :
42	.....(8-II) انتقال كمية الحركة :
43	.....(1-8-II) تعريف انتقال كمية الحركة:
43	.....(9-I) خاتمة
44	.....المرجع

### الفصل الثالث: العمل التجريبي و المحاكاة العددية للمقطر الشمسي البسيط

47	.....(1-III) مقدمة
47	.....(2-III) عرض عام لمنطقة التجربة ( ورقلة)
48	.....(3-III) المقطر الشمسي البسيط
49	.....(4-III) التصميم المقطر الشمسي
50	.....(5-III) تصميم لاقط الشمسي
51	.....(6-III) العمل التجريبي
51	.....(1-6-III) النماذج الأولية ( المقطرات الشمسية).
53	.....(2-6-III) أجهزة المستعملة في التجارب
55	.....(3-6-III) الأدوات المستعملة في التجارب
56	.....(7-III) المحاكاة العددية
56	.....(1-7-III) تعريف برنامج Fortran

56	.....Rong -Kutta (2-7 -III) مبدأ طريقة
57	.....Rong -Kutta (3-7 -III) تطبيق طريقة
58	.....Rong -Kutta (4-7 -III) طريقة من اجل زمن غير اختياري
59	..... (5-7 -III) خوارزمية اختيار الزمن $h$
61	..... (3-III) التوازن الحراري في المقطر الشمسي البسيط
61	..... (1-3-III) التدفقات الحرارية في المقطر الشمسي البسيط
61	..... (1-1-3-III) التدفقات الحرارية الخارجية
61	..... (2-1-3-III) التدفقات الحرارية الداخلية
63	..... (4-III) التوازن الحراري على مستويات أجزاء المقطر
63	..... (1-4-III) معادلات حفظ الطاقة للمقطر (1) لكل مستوياته:
63	..... (1-1-4-III) معادلة حفظ الطاقة حول الغطاء الزجاجي $g$
63	..... (2-1-4-III) معادلة حفظ الطاقة حول الماء $w$
65	..... (3-1-4-III) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود $b$
65	..... (1-4-III) معادلات حفظ الطاقة للمقطر (2) لكل مستوياته:
65	..... (1-2-4-III) الإجراءات المتبعة:
65	..... (3-2-4-III) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود $b$
66	..... (5-III) التوازن الحراري في المستويات الحرارية لاقط الشمسي:
66	..... (1-1-5-III) معادلة حفظ الطاقة حول الزجاج $gc$
67	..... (2-1-5-III) معادلة حفظ الطاقة حول الماء $a_{in}$
67	..... (3-1-5-III) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود $bc$
67	..... (5-I) الخاتمة
68	..... المرجع

## الفصل الرابع: تحليل ومناقشة النتائج

70	..... (1-IV) مقدمة
70	..... (2-IV) التجارب
70	..... (1-2-IV) التجربة: مقارنة بين مقطرين شمسين الشاهد والمحسن (العمل التجريبي)
70	..... (1-1-2-IV) وصف التجربة:

70	.....(2-1-2-IV)النماذج الأولية للأجهزة التجريبية :
71	.....(3-1-2-IV) الظروف الجوية الخاصة بالأيام الذي تمت فيه التجربة
72	.....(4-1-2-IV) المنحنيات التجريبية للتجربة للزاوية $16^\circ$
72	.....(1-4-1-2-IV) منحنيات الإشعاع الشمسي خلال أيام التجربة
74	.....(2-4-1-2-IV) مقارنة درجات حرارة المدخل والمخرج الصندوق الخشبي مع لاقط الشمسي
77	.....(3-4-1-2-IV) مقارنة ضياع في الحرارة بين المقطر (1) و المقطر (2) الشمسين
79	.....(4-3-1-2- IV) مقارنة كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين الشمسين
82	.....(5-1-2- IV) النتائج المستخلصة من التجربة
82	.....(6-1-2- IV) التحليل الماء المقطر الناتج من التجربة
83	.....(2-2-IV) المحاكاة العددية: مقارنة بين مقطرين شمسين الشاهد والمحسن زاوية
83	.....(1-2-2-IV) تميم النتائج التجريبية بالمحاكاة العددية:
83	.....(2-2-2-IV)النماذج الأولية للمحاكاة العددية
84	.....(3-2-2-IV)المنحنيات المحاكاة العددية زاوية $16^\circ$
84	.....(1-3-2-2-IV)منحنيات الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطية
85	.....(2-3-2-2-IV)مقارنة درجات الحرارة بين مقطرين شمسين بسيطين ودرجة حرارة لاقط الشمسي
87	.....(3-3-2-2-IV) مقارنة ضياع في الحرارة بين المقطر (1) و المقطر (2) الشمسين
88	.....(4-3-2-2- IV) مقارنة كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين الشمسين
90	.....(4-2-2-IV)المنحنيات المحاكاة العددية زاوية $30^\circ$
90	.....(1-4-2-2-IV)منحنيات الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطية
92	.....(2-4-2-2-IV)مقارنة درجات الحرارة بين مقطرين شمسين بسيطين ودرجة حرارة لاقط الشمسي
97	.....(3-4-2-2-IV) مقارنة ضياع في الحرارة بين المقطر (1) و المقطر (2) الشمسين
102	.....(4-4-2-2- IV) مقارنة كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين الشمسين
107	.....(5-2-2- IV) النتائج المستخلصة من المحاكاة العددية:

109 ..... المرجع

### الخلاصة العامة

110 ..... الخلاصة العامة

### الملاحق

114 ..... الملحق A (الخواص الحرارية فيزيائية و التكلفة المواد المستعملة)

116 ..... الملحق B (الأرقام اللاحقة)



## فهرس الأشكال

### الفصل الأول: بحث في المراجع حول الماء وأنواع المقطرات الشمسية المقطرات

- 11 ..... النمو الديموغرافي في القارة الإفريقية..... الشكل (1-I)
- 12 ..... توزيع المياه الجوفية المخزنة في كامل التراب الجزائري..... الشكل (2-I)
- 13 ..... خريطة توضح موقع مدينة ورقلة في الجزائر..... الشكل (3-I)
- 17 ..... المقطر البسيط بميل واحد..... الشكل (4-I)
- 17 ..... المقطر البسيط بميلين..... الشكل (5-I)
- 18 ..... المقطر شمسي بسريان الماء فوق المكثف..... الشكل (6-I)
- 19 ..... المقطر شمسي بسريان الهواء فوق المكثف..... الشكل (7-I)
- 20 ..... المقطر شمسي مربوط بمضخة حرارية..... الشكل (8-I)
- 20 ..... المقطر الشمسي بوجود طبقة من الإسفنج..... الشكل (9-I)
- 21 ..... المقطر الشمسي بوجود الطبقة من الحصى ملون بالأسود..... الشكل (10-I)
- 21 ..... المقطر الشمسي بوجود الأحواض المدرجة..... الشكل (11-I)
- 22 ..... المقطر الشمسي المرتبط باللاقط الشمسي المسطح..... الشكل (12-I)
- 23 ..... المقطر الشمسي المرتبط باللاقط النصف الدائري..... الشكل (13-I)
- 24 ..... اللاقط الشمسي السطحي الهوائي..... الشكل (14-I)
- 25 ..... المقطر الشمسي ذو الحلقة الدوران المغلقة..... الشكل (15-I)
- 26 ..... استغلال الحرارة الضائعة من المبادل الحراري..... الشكل (16-I)
- 26 ..... المقطر الشمسي المتعدد الطوابق..... الشكل (17-I)
- 27 ..... المقطر الشمسي بالخاصية الشعرية متعدد الصفائح..... الشكل (18-I)

### الفصل الثاني: الإشعاع الشمسي والظواهر الفيزيائية لعملية التقطير الشمسي

- 34 ..... مخطط يوضح هيكلية و مكونات الشمس..... الشكل (1-II)
- 37 ..... رسم الإشعاع المباشر و المنتشر..... الشكل (2-II)
- 41 ..... مخطط ظاهرة نقل الحرارة..... الشكل (3-II)

### الفصل الثالث: العمل التجريبي و المحاكاة العددية للمقطر الشمسي البسيط

48	..... خريطة ولاية ورقلة.	الشكل (III-1)
49	..... مخطط يوضح المقطر الشمسي.	الشكل (III-2)
51	..... مخطط يوضح لاقط الشمسي.	الشكل (III-3)
52	..... رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة.	الشكل (III-4)
53	..... صورة فوتوغرافية توضح كيفية تجهيز التجربة.	الشكل (III-5)
54	..... يوضح كيفية تجهيز لاقط الشمسي.	الشكل (III-6)
55	..... أجهزة القياس المستعملة في التجارب.	الشكل (III-7)
56	..... الأدوات المستعملة في التجارب.	الشكل (III-8)
60	..... مخطط يوضح الخوارزمية الأساسية للمقطر الشمسي المحسن.	الشكل (III-9)

### الفصل الرابع: تحليل و مناقشة النتائج

72	..... تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة المحيطية بدلالة الزمن ليوم 08 فيفري 2021	الشكل (IV-1)
72	..... تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة المحيطية بدلالة الزمن ليوم 09 فيفري 2021	الشكل (IV-2)
73	..... تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة المحيطية بدلالة الزمن ليوم 10 فيفري 2021	الشكل (IV-3)
73	..... تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة المحيطية بدلالة الزمن ليوم 07 جويلية 2020	الشكل (IV-4)
74	..... تغيرات درجات الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 08 فيفري 2021	الشكل (IV-5)
75	..... تغيرات درجات الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 09 فيفري 2021	الشكل (IV-6)
75	..... تغيرات درجات الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 10 فيفري 2021	الشكل (IV-7)
76	..... تغيرات درجات الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 07 جويلية 2020	الشكل (IV-8)
77	..... تغيرات الضياع الحراري للمقطرين ليوم 08 فيفري 2021	الشكل (IV-9)
77	..... تغيرات الضياع الحراري للمقطرين ليوم 09 فيفري 2021	الشكل (IV-10)
78	..... تغيرات الضياع الحراري للمقطرين ليوم 10 فيفري 2021	الشكل (IV-11)
78	..... تغيرات الضياع الحراري للمقطرين ليوم 07 جويلية 2020	الشكل (IV-12)
79	..... تغيرات المياه المنتجة للمقطرين بدلالة الزمن ليوم 08 فيفري 2021	الشكل (IV-13)

80	تغيرات المياه المنتجة للمقطرين بدلالة الزمن ليوم 09 فيفري 2021	الشكل (14-IV)
80	تغيرات المياه المنتجة للمقطرين بدلالة الزمن ليوم 10 فيفري 2021	الشكل (15-IV)
80	تغيرات المياه المنتجة للمقطرين بدلالة الزمن ليوم 07 جويلية 2020	الشكل (16-IV)
48	منحنى تغيرات الإشعاع الشمسي (G) ودرجة حرارة محيطية (Ta) بدلالة الزمن ليوم 15 فيفري 2022 بالحاكاة العددية ( $16^{\circ}$ )	الشكل (17-IV)
85	تغيرات درجات الحرارة المقطر (1) ليوم 15 فيفري 2022	الشكل (18-IV)
86	تغيرات درجات الحرارة المقطر (2) ليوم 15 فيفري 2022	الشكل (19-IV)
87	تغيرات الضياع الحراري للمقطر (1) ليوم 15 فيفري 2022	الشكل (20-IV)
87	تغيرات الضياع الحراري للمقطر (2) ليوم 15 فيفري 2022	الشكل (21-IV)
88	تغيرات المياه المنتجة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 فيفري 2022	الشكل (22-IV)
89	تغيرات المياه المنتجة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 فيفري 2022	الشكل (23-IV)
90	تغيرات الإشعاع الشمسي (G) ودرجة حرارة محيطية (Ta) بدلالة الزمن ليوم 15 ديسمبر 2022	الشكل (24-IV)
90	تغيرات الإشعاع الشمسي (G) ودرجة حرارة محيطية (Ta) بدلالة الزمن ليوم 15 جانفي 2022	الشكل (25-IV)
91	تغيرات الإشعاع الشمسي (G) ودرجة حرارة محيطية (Ta) بدلالة الزمن ليوم 15 فيفري 2022	الشكل (26-IV)
91	تغيرات الإشعاع الشمسي (G) ودرجة حرارة محيطية (Ta) بدلالة الزمن ليوم 15 مارس 2022	الشكل (27-IV)
92	تغيرات درجات الحرارة المقطر (1) بدلالة الزمن ليوم 15 ديسمبر 2022	الشكل (28-IV)
93	تغيرات درجات الحرارة المقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 15 ديسمبر 2022	الشكل (29-IV)
93	تغيرات درجات الحرارة المقطر (1) بدلالة الزمن ليوم 15 جانفي 2022	الشكل (30-IV)
94	تغيرات درجات الحرارة المقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 15 جانفي 2022	الشكل (31-IV)
94	تغيرات درجات الحرارة المقطر (1) بدلالة الزمن ليوم 15 فيفري 2022	الشكل (32-IV)
95	تغيرات درجات الحرارة المقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 15 فيفري 2022	الشكل (33-IV)
95	تغيرات درجات الحرارة المقطر (1) بدلالة الزمن ليوم 15 مارس 2022	الشكل (34-IV)
96	تغيرات درجات الحرارة المقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 15 مارس 2022	الشكل (35-IV)
97	تغيرات الضياع الحراري للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 ديسمبر 2022	الشكل (36-IV)

98	تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 ديسمبر 2022	الشكل (37-IV)
98	تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 جانفي 2022	الشكل (38-IV)
99	تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 جانفي 2022	الشكل (39-IV)
99	تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 فيفري 2022	الشكل (40-IV)
100	تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 فيفري 2022	الشكل (41-IV)
100	تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 مارس 2022	الشكل (42-IV)
101	تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 مارس 2022	الشكل (43-IV)
102	تغيرات المياه المنتجة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 ديسمبر 2022	الشكل (44-IV)
103	تغيرات المياه المنتجة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 ديسمبر 2022	الشكل (45-IV)
103	تغيرات المياه المنتجة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 جانفي 2022	الشكل (46-IV)
104	تغيرات المياه المنتجة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 جانفي 2022	الشكل (47-IV)
104	تغيرات المياه المنتجة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 فيفري 2022	الشكل (48-IV)
105	تغيرات المياه المنتجة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 فيفري 2022	الشكل (49-IV)
105	تغيرات المياه المنتجة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 مارس 2022	الشكل (50-IV)
106	تغيرات المياه المنتجة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 مارس 2022	الشكل (51-IV)

## فهرس الجداول

### الفصل الأول: بحث في المراجع حول الماء و أنواع المقطرات الشمسية المقطرات

6	تصنيف المياه حسب الملوحة.....	جدول(1-I)
9	نسبة الاستهلاك العالمية لمياه.....	جدول(2-I)
10	إمكانات المياه في الجزائر.....	جدول (3-I)
12	المصانع المنجزة لتحلية المياه في الجزائر.....	جدول(4-I)
13	المحطات تحلية في الشمال الجزائر.....	جدول(5-I)
14	أهم المحطات تحلية في الجنوب الجزائر.....	جدول (6-I)
17	أنواع من المقطرات الشمسية البسيطة.....	جدول(7-I)

### الفصل الثاني: الإشعاع الشمسي والظواهر الفيزيائية لعملية التقطير الشمسي

37	قيم معامل الاضطراب ومعامل ارتفاع الماء المكثف.....	الجدول(1- II)
----	--	---------------

### الفصل الثالث: العمل التجريبي و المحاكاة العددية للمقطر الشمسي البسيط

50	تصنيف أنواع العوازل المستعملة في المقطرات الشمسية.....	جدول (1-III)
51	تصنيف أنواع العوازل المستعملة في لاقط الشمسي.....	جدول (2-III)

### الفصل الرابع: تحليل ومناقشة النتائج

83	مقارنة المياه المالحة بالماء المقطر لمنطقة ورقلة-الجزائر	جدول (1-IV)
107	نتائج العمل التجريبي.....	جدول (2-IV)
108	نتائج المحاكاة العددية.....	جدول (2-IV)

### ملحق A : الخواص الحراروفيزيائية و التكلفة المواد المستعملة

115	الخواص الحراروفيزيائية لبعض المواد الصلبة.....	جدول(1-A)
115	التكلفة المواد المستعملة في التجربة.....	جدول(2-A)

## قائمة الرموز و الاصطلاحات

الرموز	الاصطلاحات (الرموز اللاتينية)	الوحدة
$G$	التدفق الإشعاعي الشمسي الساقط.....	$W/m^2$
$\alpha$	زاوية ميل لشعاع الساقط ( الشعاع المنتشر)	بالدرجات °
$h$	معامل الحمل الحراري.....	$W/m^2 . K$
$\lambda$	معامل التوصيل الحراري.....	$W/m . K$
$D$	معامل الانتقال الكتلي(الانتشارية الكتلية).....	$m^2/s$
$L$	طول الصفيحة المستوية.....	$m$
$P_g$	الضغط الجزئي للغاز.....	$Pa$
$P_v$	الضغط الجزئي للبخار.....	$Pa$
$P_g(L)$	الضغط الجزئي للغاز عند الارتفاع.....	$Pa$
$P_g(0)$	الضغط الجزئي للغاز عند السطح الحر للماء.....	$Pa$
$P_{atm}$	الضغط الجوي.....	$Pa$
$P_{vap(Sat)}$	الضغط الجزئي للبخار المشبع.....	$Pa$
$Q$	الاستطاعة الحرارية.....	$W$
$Q_s$	الطاقة المشعّة للشمس.....	$W$
$R$	ثابت الغازات المثالية.....	$J/mol . K$
$Ra$	رقم رايلي(RAYLEIGH)لانتقال الحرارة بالحمل الحر.....	-
$R_s$	القطر المتوسط للشمس.....	$m$
$t$	الزمن.....	$s$
$T$	درجة الحرارة.....	°C
$f$	دالة لمتغيرات.....	
$h$	الزمن المحاكاة العددية.....	$s$
$h_{opt}$	الزمن المثالي.....	$s$
$Tol$	الزمن المحلي.....	$s$
$TSV$	الزمن الشمسي الحقيقي.....	$s$
$U$	السرعة.....	$m/s$



$m^3$	.....الحجم	$V$
<b>الرموز الإغريقية</b>		
—	.....معامل الامتصاص الإشعاعي	$\alpha$
—	.....معامل الانبعاث الإشعاعي للسطح الباث	$\varepsilon$
—	.....معامل الإمرار الضوئي	$\tau$
$W/m \cdot ^\circ C$	.....التوصيلية الحرارية	$\lambda$
$Kg/m^3$	.....الكتلة الحجمية	$\rho$
—	.....معامل الانعكاس الحراري	$\rho$
$W/m^2 \cdot K^4$	.....ثابت ستيفان-بولتزمان	$\sigma$
بالدرجات $^\circ$	.....زاوية دائرة العرض	$\varphi$
بالدرجات $^\circ$	.....زاوية ميل الشمس	$\delta$
بالدرجات $^\circ$	.....زاوية الساعة الشمسية (الزاوية الزمنية)	$\omega$
بالدرجات $^\circ$	.....زاوية السمت الرأسية	$a$
<b>الدليل السفلي</b>		
—	.....الوسط الخارجي ( المحيط) Ambiente	$a$
—	.....الهواء الرطب داخل خلية التقطير	$ah$
—	.....حوض الماء المالح (Bassin)	$b$
—	.....التبادل الحراري بالحمل بين الغطاء الزجاجي و الهواء	$c, g - a$
—	.....التبادل الحراري بالحمل بين الماء و الغطاء الزجاجي	$c, w - g$
—	.....التبادل الحراري بالحمل بين الغطاء الزجاجي و الماء	$c, b - w$
—	.....المنتشر (diffusion)	$diff$
—	.....المباشر (direct)	$dir$
—	.....الغطاء الزجاجي (glass)	$g$
—	.....التبادل الحراري بالتبخير بين الماء و الغطاء الزجاجي	$ev, w - g$
—	.....السطح الفعال	$eff$
—	.....الضياعات الحرارية عبر الطبقات السفلية (البوليستيران)	$loss1$
—	.....الضياعات الحرارية عبر الطبقات الجانبية العوازل الخشبية	$loss2$

-	.....الصندوق الخشبي	$cov$
-	.....التبادل الحراري بالإشعاع بين الغطاء الزجاجي و الهواء	$r, g - a$
-	.....التبادل الحراري بالإشعاع بين الماء و الغطاء الزجاجي	$r, w - g$
-	.....القبة السماوية	$sky$
-	..... الكلي (Total)	$t$
-	..... الماء (Water)	$w$
-	.....الوسط الداخلي للاقط الشمسي	$a_{in}$

# المقدمة

يتزايد الطلب على مياه الشرب يوما بعد يوم بسبب التنمية الصناعية و الزراعة و زيادة عدد سكان العالم وتحسين مستويات المعيشة، حيث يعتبر حوالي 3 ٪ فقط من مياه العالم صالحة للشرب ويتم توزيع هذه الكمية بشكل غير متساوي على الأرض [1]. بحيث أصبح الطلب على مياه الشرب مشكلة متزايدة في معظم أنحاء العالم. أكثر من 80 دولة ، والتي تمثل في الوقت نفسه 40 ٪ من سكان العالم ، تعاني من هذه المشكلة المستعصية.

الماء العنصر الأساسي لجميع أشكال الحياة على كوكبنا وهو متوفر على شكل البحار والأنهار و البحيرات والمياه الجوفية ، و الإحصاءات التي تم الحصول عليها أن المياه العذبة على نطاق عالمي في تناقص سريع مثير للقلق بحيث حوالي 97 ٪ من مصادر المياه الموجودة هي مياه البحر والمياه المالحة حيث توجد البكتيريا الضارة بها و تم العثور على نسبة 2 ٪ فقط من الماء في شكل جليد، لذلك 1 ٪ فقط من جميع المياه في العالم قابلة للاستهلاك والاستخدامات المنزلية [2].

الجزائر من أفقر البلدان من حيث الإمكانيات المائية ، حيث موارد مياه الشرب محدودة للغاية وتتكون غالبية احتياطي المياه من المياه قليلة الملوحة، ومع ذلك تعتبر أكبر احتياطي للمياه الجوفية في العالم. حيث يمكن أن تشكل هذه الإمكانيات ناقلا للتنمية المستدامة إذا تم استغلالها اقتصاديا و بشكل جيد، و في منطقة ورقلة يمكن اعتبار التقطير الشمسي ليس فقط كحل اقتصادي و صديق للبيئة ، ولكن أيضا حل حقيقي لتلبية احتياجات السكان في مياه الشرب [3] .

يعتبر استخدام الطاقة الشمسية لتقطير المياه المالحة أو مياه البحر أحد الحلول الموصى بها لتزويد مياه الشرب في المناطق الصحراوية أو النائية [4]، من بين الأنظمة التقطير الأكثر شهرة عبر تاريخ البشرية هو جهاز التقطير الشمسي هو الحل الواعد لتلبية نقص مياه الشرب في المناطق القاحلة والصحراوية. يعمل جهاز التقطير الشمسي وفقا لمبدأ تأثير الاحتباس الحراري الذي يعتمد على إنتاج بخار الماء من محلول ملحي ، يتم تسخينه بواسطة الإشعاع الشمسي و يتم بعد ذلك تكثيف البخار الناتج وتخزينه للاستخدامات المستقبلية.

على عكس تقنيات تحلية المياه التقليدية (التناضح العكسي، التحليل الكهربائي ،... الخ.) التي تستهلك كمية كبيرة من الطاقة وتنبعث منها غازات الدفيئة ، تتمتع أجهزة التقطير الشمسية بميزة كونها بسيطة وسهلة الإنتاج وغير مكلفة، ومع ذلك لديهم عيب كبير من حيث انخفاض في الإنتاج اليومي. لذلك فإن زيادة إنتاجية جهاز التقطير

الشمسي هو هدف يجب تحقيقه، حيث عمل الباحثون اختبارات من اجل تطوير أجيال جديدة من المقطر أكثر تقدما.

الهدف من هذا العمل هو دراسة وتصميم نوع جديد من مقطرات الشمسي من أجل تحسين الأداء الحراري للمقطر الشمسي التقليدي وتحقيق إنتاجية أفضل طول السنة، تم اقتراح دراسة تجريبية مدعومة بالمحاكاة العددية من أجل تقييم أداء جهاز التقطير. يتمثل العمل التجريبي في وضع مقطر شمسي بسيط أحادي الميل داخل صندوق من الخشب مربوط مع لاقط شمسي في حالة اختلاف زاوية المقطر الشمسي.

تم تنظيم الأطروحة المقدمة في أربعة فصول (04)، بالإضافة إلى مقدمة وخاتمة عامة نلخص فيها النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها و ملاحق ( ملحق (A) و ملحق (B) ) .

يقدم الفصل الأول دراسة بحث في المراجع حول التقطير الشمسي كحل مناسب لمكافحة نقص المياه في العالم و القارة الإفريقية و الجزائر و ولاية ورقلة على وجه الخصوص ( منطقة الدراسة )، ويمثل البحث المراجع ملخص للأعمال النظرية والتجريبية التي تم التواصل لها من قبل الباحثين ، بحيث يتم عرض الأنواع الرئيسية من المقطر الشمسي ومبدأ تشغيلها وكذلك التقنيات المستخدمة لزيادة الإنتاجية .

الفصل الثاني مخصص لدراسة النظرية للمقطر الشمسي البسيط و يتم عرض مختلف العلاقات النظرية الخاصة بالظواهر الفيزيائية الأساسية في عملية التقطير (الإشعاع الشمسي و الزوايا الشمسية و انتقال الحرارة و انتقال الكتلة و..... إلخ )، وإعطاء تفسيرات لم يحدث من ظواهر فيزيائية مرتبطة مع بعضها البعض.

الفصل الثالث مخصص لدراسة الدراسة التجريبية و محاكاة العددية (FORTRAN) بين جهاز التقطير الشمسي البسيط و جهاز التقطير الشمسي المحسن خلال أيام نموذجية ويوضح الأجهزة المستعملة في ذلك ، وأيضاً دراسة السلوك الحراري للمقطر الشمسي البسيط و المحسن ، بحيث تم عرض المعادلات الرئيسية (طريقة Runge-Kutta) التي تصف السلوك الحراري للمقطر (أي درجات حرارة السطح الأسود والماء المالح والزجاج) وكذلك كمية نواتج التقطير المنتجة لكل اختبار.

ويخصص الفصل الرابع لشرح النتائج التجريبية و المحاكاة العددية المتحصل عليها للمقطر الشمسي البسيط و المقطر الشمسي المربوط بلاقط الشمسي ( زاوية  $16^{\circ}$  ) ( تجريبياً ) و الزاوية  $30^{\circ}$  ( بالمحاكاة العددية )) الذي هو موضوع أطروحتنا. يمثل هذا المقطر الشمسي المحسن شكلاً آخر من أشكال تحسين المقطر البسيط، والذي تم تفصيله في

الفصول السابقة من خلال دمج لاقط شمسي. العناصر الرئيسية التي تتميز المقطر الشمسي (درجات الحرارة و الضياع الحراري والإنتاجية)، يتم تقييمها ومقارنتها مع تلك الخاصة بالمقطر البسيط لظروف مماثلة .



المراجع :

- [1] Velmurugan V and Srithar K 2011 Performance analysis of solar stills based on various factors affecting the productivity—a review *Renewable and sustainable energy reviews* **15** 1294–304
- [2] Velmurugan V, Gopalakrishnan M, Raghu R and Srithar K 2008 Single basin solar still with fin for enhancing productivity *Energy Conversion and Management* **49** 2602–8
- [3] Sadi A and Kehal S 2003 Retrospectives and potential use of saline water desalination in Algeria *Desalination* **152** 51–6
- [4] Ayoub G M and Malaeb L 2012 Developments in Solar Still Desalination Systems: A Critical Review *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* **42** 2078–112

# الفصل الأول

عموميات حول الماء ومختلف المقطرات  
الشمسية

**1-I المقدمة**

الماء هو المصدر الرئيسي للحياة على كوكب الأرض ، كما هو أنه مطلوب لجميع العمليات البيولوجية الحيوية ، نظرًا لطبيعتها الوفيرة وخصائصها الفيزيائية والكيميائية، فإن المياه ليست مهمة فقط للحياة ولكن أيضًا للصناعة والزراعة ، و بالتالي فإن الحياة بدون ماء ستكون مستحيلة، فالمياه موجودة في كل مكان بحيث تغطي 72٪ من سطح الأرض و 97٪ منها ماء مالح و 3٪ ماء عذب ، و يكون في شكل غاز (بخار الماء) و سائل و صلب ، ويتواجد بشكل كبيرة في المحيطات والبحار والبحيرات والمياه الجوفية والغلاف الجوي والأنهار الجليدية. [1].

**2-I الماء وأنواعه**

يتم تحديد نوع الماء من خلال نسبة المادة المذابة (الملوحة) التي تحتويها، حيث غالبًا ما تحتوي المياه المالحة من 2000 mg/L إلى 10000 mg/L من المواد المذابة و التي تأتي عادةً من المياه الجوفية ، فالماء يحتوي على العديد من المكونات الصلبة غير العضوية ، لأن ملوحة الماء لا تقتصر على نوع واحد من الأملاح بل هي نسبة التركيز الكلي للأملاح الذائبة معًا مثل البوتاسيوم و المغنيسيوم و الكالسيوم و الصوديوم [2] [3]. يتم قياس ملوحة مياه الشرب بوحدات mg/L، ويتم تقسيمها في الجدول (1-I) على النحو التالي:

الجدول (1-I): تصنيف المياه حسب الملوحة [3]

أنواع المياه	نسبة الملوحة (mg/L)
مياه عذبة	500 >
مياه قليلة الملوحة	1000-5000
مياه معتدلة الملوحة	5000-15000
مياه كثير الملوحة	15000-35000
مياه البحر	35000-42000

**1-2-I المياہ المراد تحلیتها****1-1-2-I مياہ البحر**

تشکل المياہ فی البحار والمحيطات حوالي 97٪ من حجم المياہ علی سطح الأرض ، لكن هذه المياہ مالحة غير مناسبة للاستخدام البشري مثل الشرب أو استغلالها فی الزراعة وما إلى ذلك. [4] مياہ البحر عبارة عن سائل يتنوع تكوينه بشكل غير عادي، حيث يوجد حوالي خمسين جسمًا بسيطًا، بعضها موجود بكميات ضئيلة فقط. لكن المحتوى الملحي لمياہ البحر هو ما يثير اهتمامنا هنا. الملح السائد هو كلوريد الصوديوم (حوالي 27 g/L). يوجد أيضًا كلوريد المغنيسيوم (حوالي 3.8 g/L) وكبريتات المغنيسيوم (حوالي 1.7 g/L) وكبريتات الكالسيوم (حوالي 1.3 g/L) وكبريتات البوتاسيوم (حوالي 0.8 g/L) وكربونات الكالسيوم (حوالي 0.1 g/L) ، و يوجد أيضًا بروميد المغنيسيوم (حوالي 0.08 mg/L) ، بإضافة نجد حوالي 35 g/L من الملح ، ولكن فی الواقع يجب مراعاة أن مياہ البحر بشكل عام تحتوي علی 35 g/L إلى 42 g/L من الأملاح المعدنية المذابة ، وتختلف الملوحة وفقًا للبحار [5] .

**2-1-2-I المياہ معتدلة الملوحة**

المياہ معتدلة الملوحة هي غير صالحة للشرب وذات ملوحة أقل من مياہ البحر، و تكون متمثلة فی المياہ السطحية أو المياہ الجوفية مالحة ذات درجة ملوحة مختلفة أو مياہ البحيرات التي تتصل بالبحر إلى حد ما . كما توجد أيضًا بحيرات مالحة فی المناطق الداخلية من القارات ، من ناحية أخرى إذا قمنا بفحص المياہ الجوفية المليئة بالأملاح الموجودة فی مناطق مختلفة من العالم ، نجد أن ملوحتها متنوعة للغاية وتصنف درجة الملوحة إلى الفئات الثلاث التالية [5]:

- المياہ قليلة الملوحة 1000 > نسبة الملوحة > 3000
- المياہ معتدلة الملوحة 8.000 > نسبة الملوحة > 10.000
- المياہ شديدة الملوحة 8.000 > نسبة الملوحة > 33.000

**3-1-2-I المياہ الصالحة للشرب**

المياه التي يمكن شربها دون مخاطر على الصحة و يجب أن تكون عديمة الرائحة و عديمة اللون و لا طعم لها ولا تحتوي على منتجات سامة، ولكنه يحتوي على بعض الأملاح المعدنية ذات التركيزات المنظمة والتي يجب احترامها. كما أنها يجب أن تتوفر على بعض الخصائص وهي كل من مادة الكلور و درجة الحموضة Ph و درجة الحرارة المناسبين .

من اجل جعلها مياه صالحة للاستهلاك البشري أصدرت منظمة الصحة العالمية (WHO) معايير دولية لمياه الشرب ، والتي تشمل مخططاً عاماً للمواد الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية والبيولوجية والإشعاعية. يجب أن تكون درجة ملوحة المياه المخصصة للأغراض المنزلية أقل من أو تساوي 0.5g/L ، مع صلابة (T.H) بين 1.5 و 3 درجات ، ويجب ألا تحتوي على أكثر من 200g/L من الكلور ، ولا تزيد عن 75 g/L من الكالسيوم ولا أكثر من 50 g/L من المغنيسيوم ولا أكثر من 150 mg/L من الكبريتات [6]

**3-I مشكلة نقص المياه**

منذ القدم ارتبط الماء بالحياة، وما لاشك فيه أن الماء كان ولا يزال أول أساسيات بقاء البشرية وتطورها وازدهارها. فكل الحضارات القديمة أو الحديثة نشأت حول منابع الماء (الحضارة المصرية و حضارة بلاد الرافدين و حضارة بلاد فارس و حضارة الروم القديمة ) أيضا من ناحية أخرى معظم النزعات وحروب البشرية كما تشير الأبحاث والدراسات بسبب تقلص مصادر المياه العذبة بمرور الوقت.

**1-3-I مشكلة نقص المياه الصالحة لشرب و حلول المقترحة في العالم:**

يتزايد الطلب على مياه الشرب ذات النوعية الجيدة على الصعيد العالمي ، حيث زادت أحجام المياه التي يستخدمها الإنسان عشرة أضعاف منذ بداية القرن العشرين. إن ارتفاع المستوى المعيشي والتطور في جميع المجالات نجم عنه تزايد كبير في عدد السكان نتج عنه نقص في مصادر المياه الصالحة لشرب وزيادة تلوثه الناتج من التطور الصناعي , حيث أن بلغ عدد سكان العالم حوالي 2.5 مليار شخص في عام 1950 ، وتجاوز 6.0 مليار شخص في عام 1999 ومن المتوقع أن يتجاوز 8.3 مليار شخص في عام 2025 و 10.0 مليار شخص في عام 2060 [7] ، وفقاً لمنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية ، هناك حوالي 340 مليون شخص في 28 دولة في العالم يواجه حالياً صعوبة في الحصول على ما يكفي من المياه العذبة و النظيفة ، ومن المتوقع أن يصل هذا الرقم إلى حوالي 3 مليارات شخص في 52 دولة بحلول عام 2025 [8] ، بحيث توافر الماء في جميع أنحاء العالم في الانخفاض نتيجة للنمو السكاني وتغير المناخ. في السنوات القادمة ، ستكون سلعة نادرة بشكل متزايد. بالنسبة لعصرنا الحديث الذي يتميز

بنمو ديموغرافي وصناعي و زراعي غير مسبوق ، فإن موارد مياه الشرب مقسمة بين ثلاثة أنواع من الاحتياجات ، تمثل الاحتياجات الزراعية 70٪ من الموارد المائية المستخدمة ، تليها الاحتياجات الصناعية بنسبة 22٪ ، وأخيراً تقدر الاحتياجات المحلية بنسبة 8٪ [9].

الجدول(2-I): نسبة الاستهلاك العالمية لمياه [10]

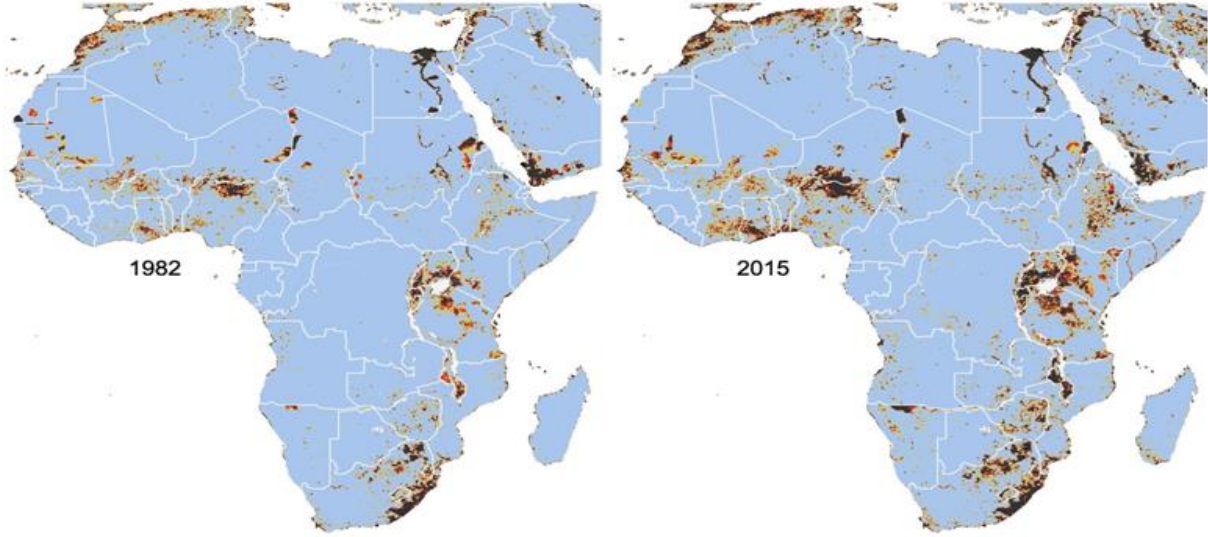
المنطقة	نسبة الاستهلاك m <sup>3</sup> / الفرد في السنة	نسبة الاستهلاك L / الفرد في اليوم
إفريقيا	17	47
آسيا	31	87
أوروبا	122	334
الولايات المتحدة الأمريكية	210	578
اليابان	210	578
المتوسط العالمي	50	137

### I-3-2) مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في إفريقيا وحلول المقترحة:

يعتبر العمل على ضمان المياه العذبة من أهم الاحتياجات الأساسية للبشرية. على الرغم من أن كوكب الأرض غني بالمياه من بعض المسطحات ، إلا أن مصادر المياه العذبة المتاحة للاستهلاك البشري والاستخدامات المفيدة محدودة للغاية. بسبب النمو السكاني السريع والتنمية الصناعية إلى جانب تحسين مستويات المعيشة و الشكل (I-1) يوضح ذلك ، في حاجة غير مسبوق في جميع أنحاء العالم وخاصة القارة الإفريقية أن المناطق التي كانت غنية بالموارد المائية تكافح من أجل تلبية الطلبات المتزايدة باستمرار في السنوات الأخيرة. بالإضافة إلى ذلك ، انتشار الفقر و تغير المناخ (ارتفاع موجة الحرارة الشديدة) وممارسات الإدارة غير المستدامة إلى حالة تسمى "الجفاف" في العديد من المناطق، يؤثر سلبا على الأمن الغذائي و يهدد حياة الملايين من الناس. حيث قدر ب 256.3 مليون شخص قد تضرروا من الجفاف الشديد في إفريقيا بين عامي 2000 و 2020 ، على الرغم من أنها تمثل 11٪ فقط من المخاطر الطبيعية التي ضربت المنطقة خلال هذه الفترة الزمنية ، إلا أن حالات الجفاف تسببت في 46٪ من جميع الوفيات . من التحديات هي توجه القارة الإفريقية هي محافظة على الأمن الغذائي و مواكبة التطور والتحضر و محارب الجفاف و التصحر، و تفتح معالجة ندرة المياه فرصًا جديدة للمجتمعات الإفريقية لتعزيز التنمية الاجتماعية



والاقتصادية وتقديم آفاق جديدة فيما يتعلق بصحة الإنسان والزراعة والاقتصاد والسلام والاستقرار الإقليمي و من الحلول التي ساهم أيضا في حفظ هذه المشكلة عويصة تتمثل في إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة وتحلية المياه وتغيير السلوك [11][12].



الشكل (I-1) النمو الديموغرافي في القارة الافريقية [12]

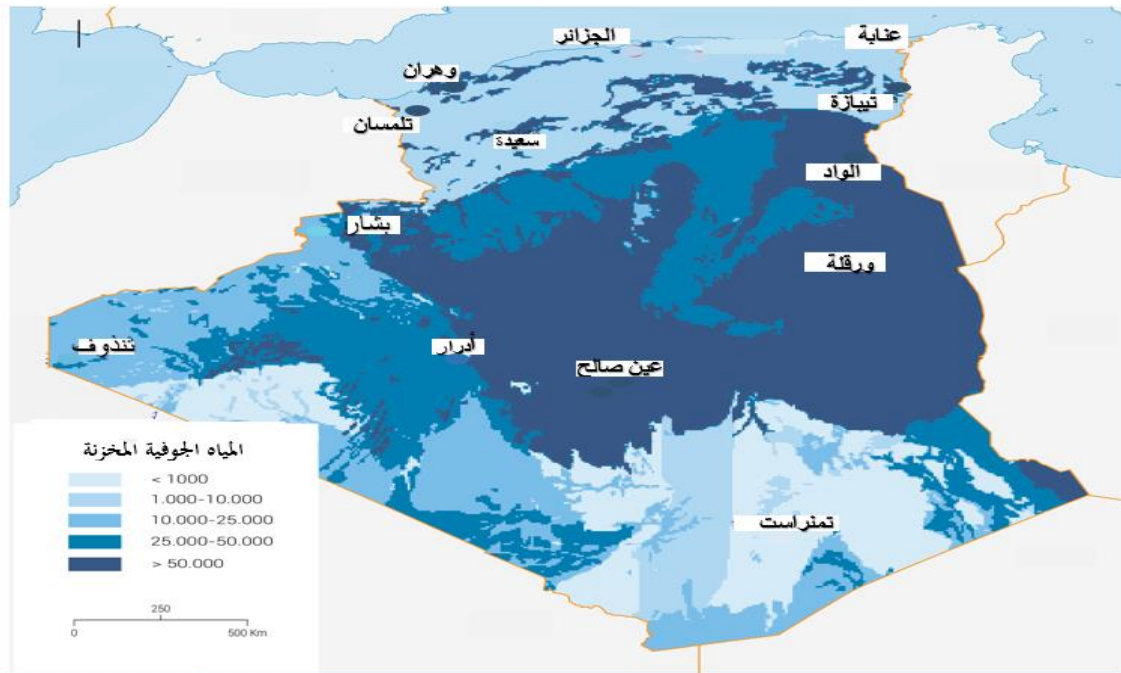
### I-3-3) مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في الجزائر وحلول المقترحة:

إن مشكلة نقص مياه صالحة لشرب في الجزائر نفسها الموجودة في العالم حيث أنه تشكو معظم مناطق الجزائر من النقص الحاد في معدلات توفير المياه الصالحة لشرب لفلا يتجاوز تساقط المياه 50 mm في السنة ، و يزداد هذا العجز يوما بعض يوم نتيجة للطلب المتزايد على المياه وذلك لتطور الصناعي ، إذ تنقسم موارد المائية الطبيعية في الجزائر إلى قسمين هما مياه السدود و مياه الجوفية، إن الحاجة لإيجاد مصادر للمياه الصالحة للشرب في الجزائر في تزايد مستمر وذلك راجع لنقص المياه السطحية وخاصة في المناطق الجافة، والمناطق شبه الجافة، ونجده في المناطق الحضرية مطروحا بشكل واضح وذلك راجع لأسلوب الحياة و تزايد عدد السكان في هذه المناطق، حيث تحتل الجزائر حاليا المرتبة 14 عالميا من بين البلدان التي تعاني من نقص المياه و يزداد الطلب على المياه العذبة بنسبة 4 إلى 5٪ كل عام ، وإذا لم تكن هناك مقاربات فعالة ، فإنها ستقفز إلى المركز السادس بحلول عام 2025 [13] و الجدول يوضح نسبة استهلاك المياه عبر السنوات .

الجدول (I-3): إمكانيات المياه في الجزائر [13]

السنة	1962	1990	1995	1998	2000	2020
كمية الماء لكل للفرد (m <sup>3</sup> )	1500	720	680	630	500	430

هذا الوضع يؤدي للبحث عن مصادر للمياه لا تنفذ حتى وإن كانت مالحة مثل المياه الجوفية ومياه البحر والتفكير في الطرق التي تجعل المياه المالحة أو الملوثة صالحة للشرب، وللتغلب على مشكلة نقص المياه كان لزاما إنشاء علي مستوى التراب الجزائري عدد كافي من السدود مثل سد بن هارون وتكون في الشمال، وإنشاء محطات تصفية المياه الملوثة أو تدعيم القاعدة الصناعية بمصانع لتصفية المياه الملوثة أو تحلية مياه البحر أما على مستوى الجنوب تحلية المياه الجوفية وأيضا من خلال أيضا تغيير الأنابيب التي يعود تاريخها إلى عام 1960، ويمثل الشكل (I-2) توزيع المياه الجوفية المخزنة في كامل التراب الجزائري.



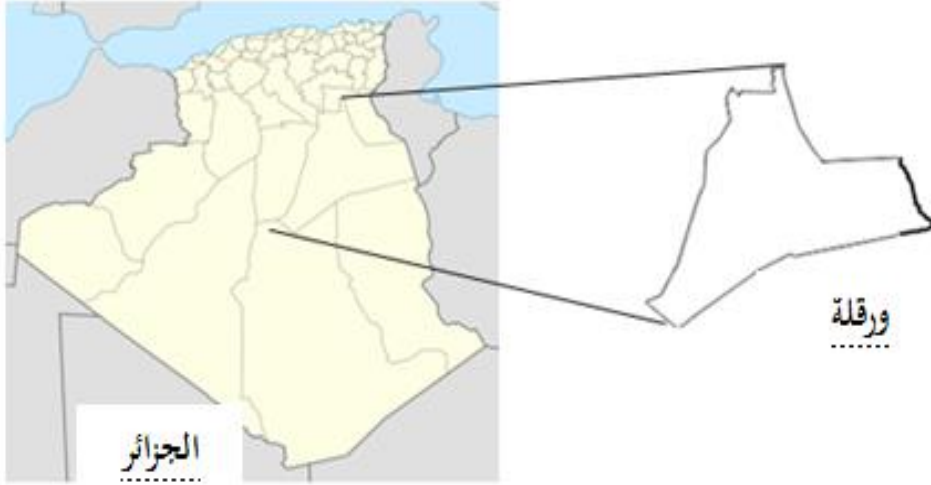
الشكل (I-2) توزيع المياه الجوفية المخزنة في كامل التراب الجزائري

### I-3-4) مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في ورقلة وحلول المقترحة :

تعتبر ولاية ورقلة إحدى ولايات جنوب الجزائر حيث تقع في الشرق و تبلغ مساحتها 105 2.7 km<sup>2</sup>، والتي تعاني من ندرة مياه الشرب ولكن توفر المياه المالحة على شكل مياه جوفية .

تتميز هذه المياه بدرجة الحرارة مرتفعة والملوحة الكبيرة بحيث تصل إلى 5 mg/l ، لذا فإن المورد الوحيد هو المياه الجوفية التي يتم استغلالها في ولاية ورقلة. أما مجاري الولاية فهي السبخات الكبيرة مثل: سبخة مروان وسبخة صفيون ، فهذه المجاري المائية لها تأثير على طبقات المياه الجوفية وتعتبر موردا نادرا وثمينا ، وهذا يتطلب وضع سياسة تضمن استدامة المورد ، من خلال استغلال المياه الجوفية وحمايتها من الزوال وضمان الإدارة الرشيدة للموارد المياه من خلال شبكة مراقبة موجودة على مستوى المسطحات المائية في جميع أنحاء المنطقة ، يجب الانتباه إلى الحفاظ على الموارد الجوفية من خلال جمع وتحليل العينات للحفاظ عليها واكتشاف التلوث المحتمل [14][15] .

ومن الحلول هي استغلال المياه الجوفية المتصاعدة التي لا تستغل عبر إنشاء سد في منطقة رويسات الحدب من اجل تحليتها أو استغلالها في الزراعة ومنع تصاعد المياه الجوفية التي تسبب في هشاشة العمران .



الشكل (3-I) خريطة توضح موقع مدينة ورقلة في الجزائر

#### (4-I) تحلية المياه في الجزائر

##### (1-4-I) تحلية المياه البحر في حالات الطوارئ

ركزت الجزائر على تطوير الموارد المائية عبر بناء عدد من السدود بعد الجفاف الشديد الذي حدث في العقد الماضي ، حيث اضطر صناع القرار إلى دراسة المزيد من إمكانية استخدام تقنية تحلية المياه ، ولم يتم قبول الفكرة بسهولة في ذلك الوقت، وتم إطلاق برنامج طارئ للاستجابة للعجز الهائل الذي كان يعاني منه البعض المناطق ، و يتضمن هذا البرنامج بناء 12 مصنعا صغيرا بسعة إجمالية  $5300 \text{ m}^3/\text{j}$  كانت قدرات هذه المصانع إما  $2500 \text{ m}^3/\text{j}$

أو  $5000 \text{ m}^3/\text{J}$ . لم يكن هذا الإجراء الطارئ كافيا لحل نقص المياه ، والجدول يوضح (4-I) المصانع المنجزة مع سعة الإنتاج [16].

الجدول (4-I): المصانع المنجزة لتحلية المياه في الجزائر [17]

الولاية	السعة ( $\text{m}^3/\text{J}$ )	المستهلكين
الجزائر (زيرالدة)	5000	33330
الجزائر (سطاوالي )	2500	16660
الجزائر (عين بنيان)	5000	33330
تلمسان	5000	33330
تبيازة	5000	33330
سكيكدة	7000	47000
تيزي وزو	2500	16660
وهران (بوسفير)	5000	33330
وهران (عين ترك)	2x2500	33330
عين تموشنت (مصنعين)	5000	33330
بومرداس	5000	33330

#### 2-4-I) المحطات الكبيرة لتحلية المياه

منذ الستينات بدأت الجزائر في الاستثمار في مختلف تقنيات تحلية المياه لتلبية الاحتياجات المائية للقطاع الصناعي ، هذا هو السبب في أن معظم محطات تحلية المياه كانت مملوكة إما من قبل شركة الوطنية للنفط سوناطراك أو من قبل شركة الوطنية للكهرباء و الغاز سونلغاز [18][19]. و برنامج تحلية المياه الجديد الذي أطلقته الحكومة الجزائرية وهو مشروع مشترك مع شركة الطاقة الجزائرية وشركة المياه و كجزء من هذا البرنامج تم إطلاق 13 محطة لتحلية المياه في جميع أنحاء الجزائر على طول الساحل الجزائري (انظر الجدول (I-5)) [17] ، من بين المحطات 13 المجدولة هناك 9 محطات قيد التشغيل بالفعل وهي محطة الكرمة (وهران) و الحامة (الجزائر) و سكيكدة و بني صاف (عين تيموشنت).

الجدول (I-5): أهم المحطات تحلية المياه في الشمال الجزائر [20]

المنطقة	السعة (m <sup>3</sup> /J)	سنة الإنشاء (an)
عنابة	14100	1978
الجزائر	2000	1979
مرسى حجاج	500	1987
جيجل	2000	1992
سكيكدة	5760	1993
بن طوى	3000	1994
الغزوات	2000	1994
أرزيو	5678	1994

### I-4-3 محطات إزالة المعادن

شرعت الحكومة الجزائرية في برنامج واسع لبناء محطات إزالة المعادن من المياه المالحة ، حيث نجد هذه المياه المالحة في الغرب من البلاد (7 g/l) وفي جنوب البلاد (من 3.5 g/l إلى 5 g/l) ، إذا كانت هذه المحطات تعمل بشكل طبيعي، فإنها سوف تقلل من ملوحة هذه المياه المالحة إلى مستويات مقبولة أي ما بين 0.5 g/l و 0.8 g/l ، و من بنها محطة ورقلة تروي أكثر من ثلاثة الملايين من أشجار النخيل بالإضافة إلى إمداد السكان المجاورين والجدول (I-6) يوضح أهم المحطات في الجنوب الشرقي وخاصة منطقة ورقلة.

الجدول (I-6): أهم محطات تحلية المياه في الجنوب الجزائر [17]

المنطقة	السعة
عين صالح	100000
ورقلة	27000
غريوز	5000
عين الخير	90000
حي بوزيد	10000
مخادمة	3000
بامنديل (خفجي)	7500

3000	حي بامنديل
10500	إيفري (قارة)
3000	سكرة
27000	رويسات (الحدب)
34500	تقرت
30000	الودي سوف

## 5-I) التقطير الشمسي

### 1-5-I) تاريخ التقطير الشمسي

منذ القدم عرف الإنسان أن للشمس طاقة هائلة، وحاول إيجاد أساليب هذه الطاقة لاستغلالها بالشكل الذي يجعلها مفيدة له ، فمن أولى الاكتشافات هو إدراك الإنسان لظاهرة تسخين مياه الأحواض المعروضة مباشرة لأشعة الشمس وبعد ذلك اختراع مادة الزجاج لِمَا لديها من خواص، بحيث يمكن تصنيع عدسات ومرايا تساهم في استغلال هذه الأشعة ، ظهرت أول فكرة لتقطير الشمسي في القرن 16م من قبل العالم الكيميائي العربي المسلم جابر بن حيان والمتمثل بالإنبيق [21]، وتجسدت هذه الفكرة بشكل تصميم لطاقة الشمس في التقطير كان سنة 1872 في صحراء شمال تشيلي حيث مساحتها تبلغ  $5000 \text{ m}^2$  تقريبًا و ينتج هذا المقطر 1 23000 من الماء النقي أو  $23 \text{ m}^3$  يوميًا ، وكان على شكل أحواض سوداء مغطاة بالزجاج فالقاعدة السوداء تستعمل كـمصاص لأشعة الشمس، ويوضع في هذا الحوض الساخن ماء ، فيعمل السطح الأسود عمل المبخر و يستقبل البخار المتصاعد من طرف السطح الداخلي للزجاج المائل بزاوية  $20^\circ$ ، ذو درجة حرارة أقل من السطح الأسود نسبيًا مما يؤدي إلى تكاثفه مباشرة، ويتجمع في قناة خاصة بتجميع الماء المقطر [22]. ومنذ 1950 بدأت أبحاث نحو تحسين تقنيات الحصول على المياه العذبة بالطاقة الشمسية باستخدام المقطرات الشمسية. وتصنف المقطرات الشمسية إلى والمقطرات الشمسية التقليدية و المقطرات الشمسية المركبة.

I (2-5-2) أنواع المقطرات الشمسية

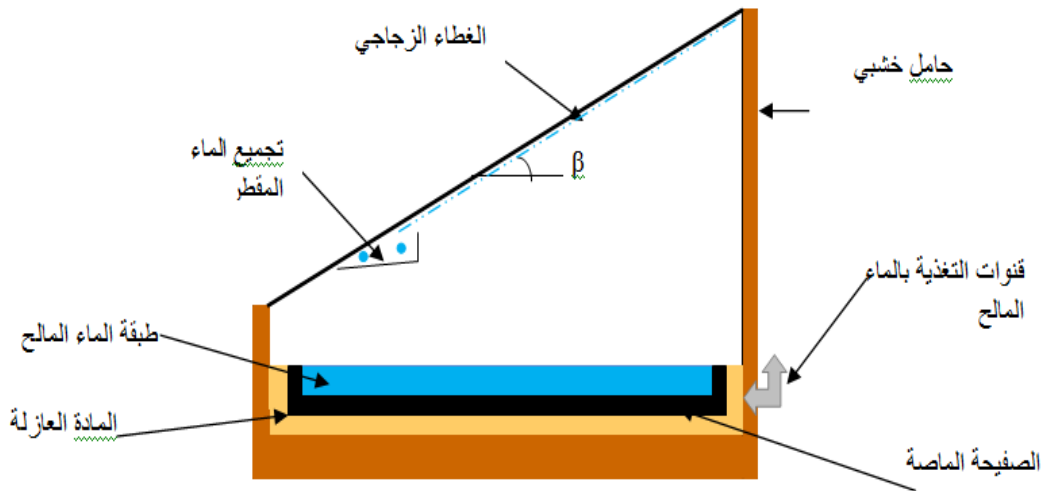
I (1-2-5-1) المقطرات الشمسية بدون تحسينات (التقليدية)

I (1-1-2-5-1) المقطرات البسيطة

المقطر الأكثر استعمالاً في العالم، بحيث يحتوي على حوض مملوء بالماء المالح ومصبوغ باللون لأسود من أجل امتصاص أكبر كمية من الإشعاع الشمسي ويغطي بلوح من الزجاج ويجب أن يكون هذا الأخير مائلاً ليتكاثف البخار في الجزء الداخلي للغطاء، ومن بين إيجابياته تصميمه هو صيانته بسهولة و ثمنه نوعاً ما منخفض، وتوجد عدة نماذج لهذا النوع [23] من بينها: مقطر بميل واحد، مقطر بميلين وأيضاً عدة أنواع أخرى كثيرة وتم وضع بعث نماذج موضحة في الجدول [24] [25].

(a) المقطر الشمسي بميل واحد:

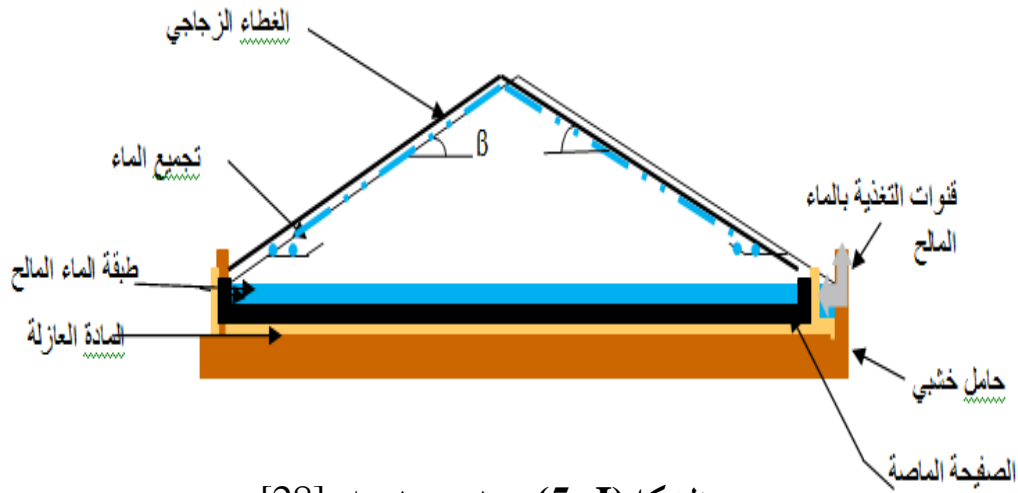
مقطر بلاقط واحد بمائل بزاوية ( $\beta$ )، وهو سهل التنظيف نظراً لسهولة تركيبه و يحتوي على حوض مصبوغ بالأسود وبه ماء مالح ويغطي بلوح من زجاج مائل بزاوية معينة وهذا ليكثف البخار على الجزء الداخلي له وهو سهل التنظيف نظراً لسهولة تركيبه موضح في الشكل (I-4) [26] [27].



الشكل (I-4): مقطر بسيط بميل واحد [26] [27].

(b) المقطر الشمسي بميلين:

مقطر بلاقطين هو مقطر يحتوي على مكثفين بحيث كل واحد منها يميل بزاوية ( $\beta$ )، ومن ميزاته أنه إحداها يوجه للشمس والآخر للظل لتسريع عملية التكثيف [28]، الشكل (I-5). و أيضا عدة أنواع أخرى موضحة في الجدول (I-7) .



الشكل (I-5): مقطر بسيط بميلين [28]

الجدول (I-7): أنواع من المقطرات الشمسية البسيطة [24] [25]

			<p>الرسم التخطيطي الموضح له</p>
<p>المقطر الشمسي النصف الدائري</p>	<p>المقطر الشمسي الكروي بالماسح</p>	<p>المقطر شمسي ارض - زجاج</p>	<p>أنواع المقطرات</p>

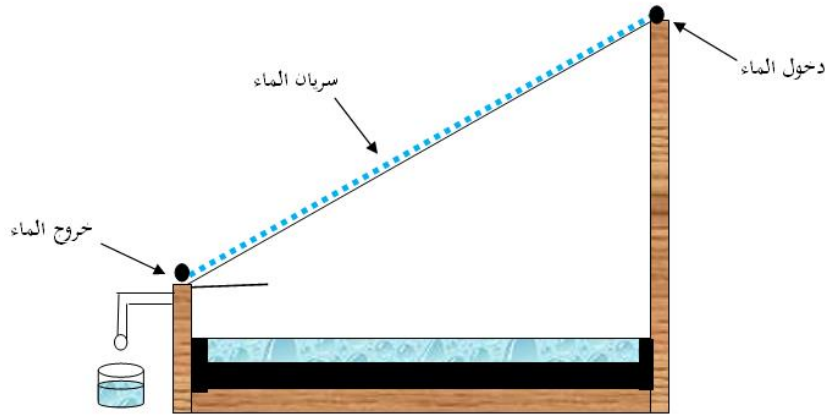


## I-2-5-2) المقطرات الشمسية المحسنة

## I-2-2-5-1) مقطر شمسي تم تحسين مكثفه

## a) تمرير الماء على المكثف:

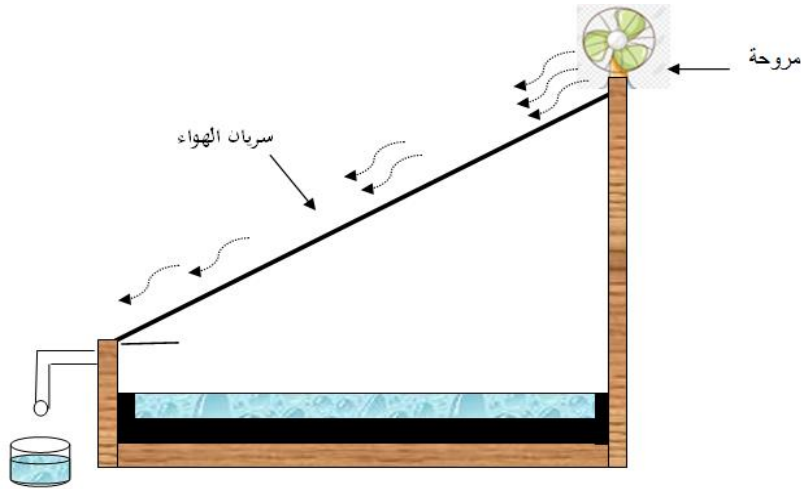
يعمل الجهاز عبر استخدام الماء فوق الزجاج لما له من مميزات في زيادة تبريد المكثف، ومضاعفة كمية البخار المتكاثف على سطحه وكذا لقلة تكلفته، نقوم بتبريد المكثف بالماء وذلك بتمرير الماء فوق السطح الخارجي الزجاج من الأعلى نحو الأسفل بكميات قليلة بشكل طبقة رقيق من الماء موضح في الشكل (I-6). [29] [30] [31].



الشكل (I-6): المقطر شمسي بسريان الماء فوق المكثف [29] [30] [31]

## b) الزيادة في سرعة الرياح لتبريد الزجاج:

سرعة الرياح لها تأثير كبير على درجة حرارة الزجاج، بسبب ارتفاع انتقال الحرارة بالحمل الحراري من الغطاء الزجاجي للغلاف الجوي مما يؤدي الزيادة في إنتاجية اليومية لتقطير الشمسي، لأن الإنتاجية تعتمد بشكل أساسي على درجة الحرارة الفرق بين ماء الحوض والغطاء الزجاجي (المكثف) الشكل (I-7) [32].

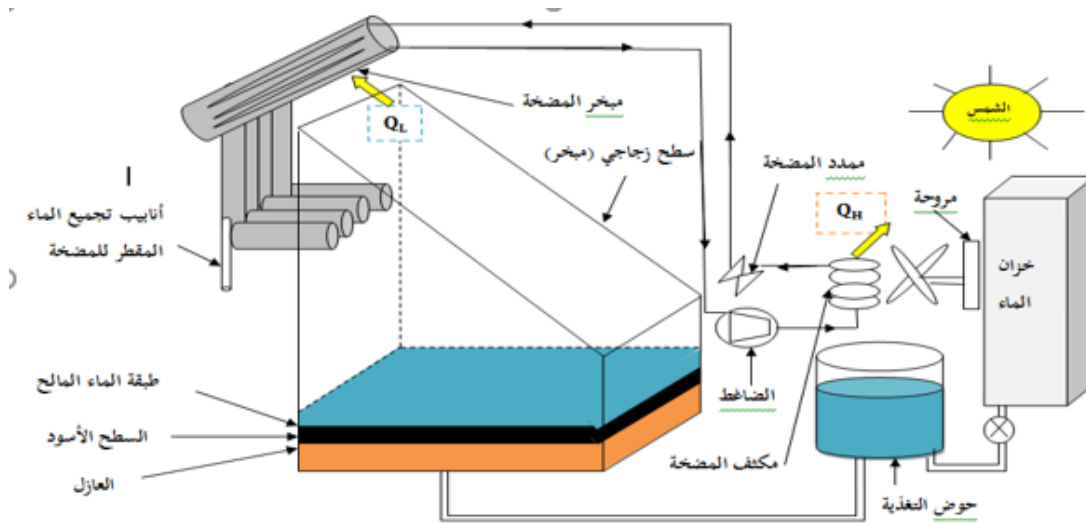


الشكل (I-7): المقطر شمسي بسريان الهواء فوق المكثف [32]

(C) استعمال المضخة الحرارية:

تم تحسين مردود المقطر الشمسي عن طريق مضخة حرارية وذلك عبر إضافة مبخر مضخة حرارية (مكثف 2) إلى الجزء الخلفي من خلية التقطير، حيث يتم وضع مبخر المضخة و هو عبارة عن أنبوب ملتف من النحاس داخل أنبوب بلاستيكي قطره (110mm) موصول بخلية التقطير من الخلف بأربع أنابيب ذات قطر (110mm) ، ووضع مكثف المضخة في حوض التغذية الأولي للمقطر، أي بمعنى يوجد مكثفين (مكثف 1 (المقطر الشمسي) ومكثف 2 (المضخة الحرارية)). أظهرت النتائج أن متوسط الإنتاج اليومي من المقطر البسيط حوالي  $2.75\text{kg/m}^2$ . تم تحسين هذه الكمية إلى  $9.60\text{kg/m}^2$  وتقدر إنتاجية المياه بحوالي 2.5 مرة أعلى من المقطر البسيط [33]

كما موضح في الشكل (I-8).

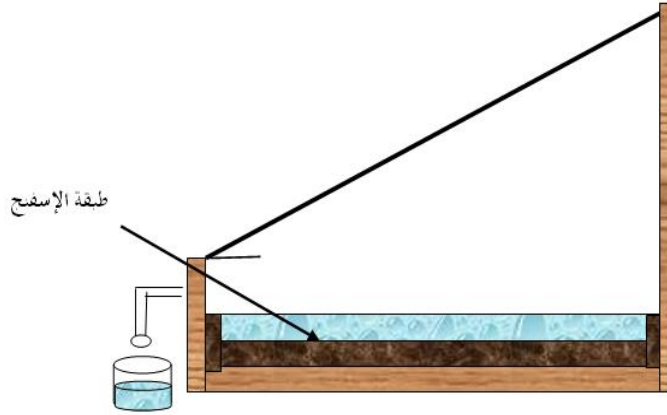


الشكل (I-8): المقطر شمسي مربوط بمضخة حرارية [33]

I-5-2-2-1-2) المقطر الشمسي تم تحسين مبخره:

(a) باستخدام الإسفنج:

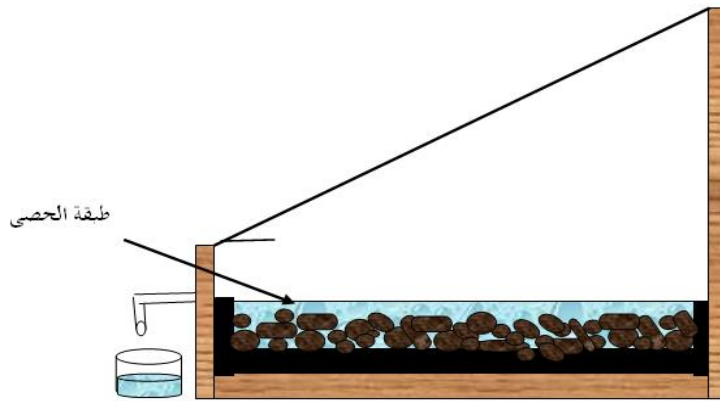
يتم تحسين أداء المقطر البسيط بإجراء تعديلات على المبخر كإضافة الإسفنج لسطح المبخر المصبوغ باللون الأسود، فهو يساعد على الحفاظ على كمية من المياه المالحة وأيضا الحرارة حيث يقوم بتسخين المياه الموجودة بداخله بواسطة الأشعة الشمسية التي امتصها موضحا الشكل (I-9) [34].



الشكل (I-9): المقطر الشمسي بوجود طبقة من الإسفنج [34]

(b) باستخدام الحصى:

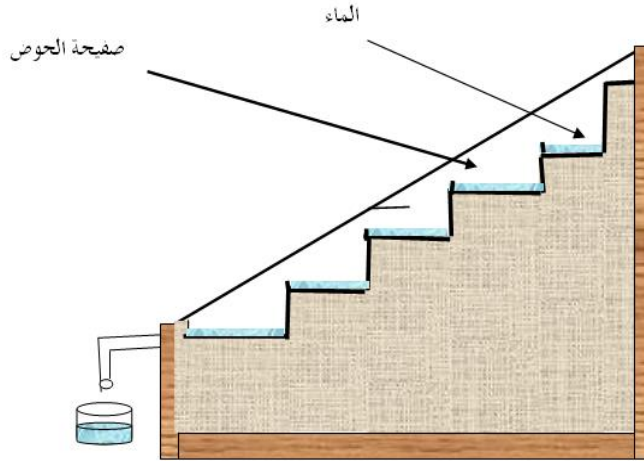
توفر الشمس إمدادًا وفيرًا من الطاقة ولكنها متقطعة ولا يمكن التنبؤ بها. لذلك نقوم باستخدام بعض أنواع مواد التخزين ، لتخزين الطاقة الحرارية الزائدة خلال أوقات سطوع الشمس واستخدامها لاحقًا أثناء الليل. و من بين مواد تخزين الطاقة البسيط، هي بإضافة الحصى لسطح المبخر بحجم 20-30مم وكانت الإنتاجية بنسبة 19%. حيث يعمل الحصى على اكتساب حرارة وهي بدورها تقوم بتسخين الماء وجليانه مما يؤدي إلى تبخره و الشكل (I-10) يوضح ذلك. [35].



الشكل (I-10): المقطر الشمسي بوجود الطبقة من الحصى ملون بالأسود [35]

(C) متعدد الأحواض :

أغلب الأشعة التي تسقط على المقطر الشمسي لا تستغل بشكل جيد، ومن اجل زيادة في امتصاص الإشعاع الشمسي وذلك عبر استخدام عدة أحواض مائية على مستويات مختلفة مدرجة مع تركيب مرآة عاكسة على الجوانب المقطر لزيادة انعكاس في الإشعاع الشمسي وذلك ساهم في تحسين بشكل كبير وكانت إنتاجية بنسبة 73% من الإنتاجية اليومية للمقطرات الشمسية التقليدية والشكل (I-11) يوضح ذلك [36].



الشكل (I-11): المقطر الشمسي بوجود الأحواض المدرجة [36]

I-5-2-2-2) إضافة اللاقط الشمسي:

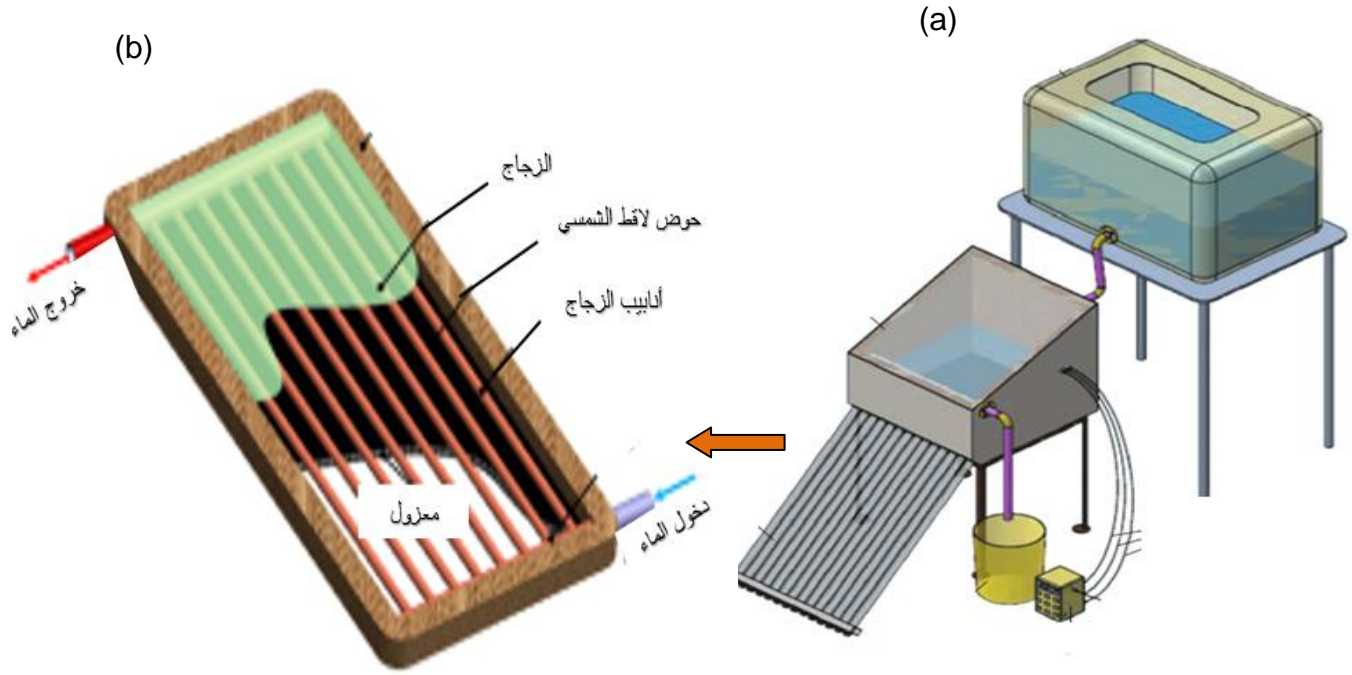
(a) دمج بلاقط بوجود الماء:

❖ مجمعات الألواح المسطحة

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 صحيفة رقيقة للامتصاص مصنوعة من الألمنيوم أو النحاس ذات طلاء أسود لامع، توضع في غلاف معزول من الزجاج. وفي ألواح تسخين المياه، عادة ما يتم تمرير السائل خلال أنابيب لنقل الحرارة من لوح الامتصاص إلى خزان مياه معزول. [37].

ويتم فيها ربط مقطر شمسي أحادي مائل أو بميلين بلاقط شمسي ذو الصفيحة المسطحة، و يحدث فيها دوران الماء من مقطر الشمسي إلى لاقط الشمسي بمساعدة مضخة حرارية لضخ الماء ، لزيادة في درجات حرارة حوض لمساهمة في زيادة عملية التبخير في مقطر الشمسي و في الأخير زيادة الإنتاجية اليومية لمياه المقطرة متمثلة في الشكل (I-12-a)، و لاقط عبارة عن مجموعة من الأنابيب كل أنبوب يحتوي على الماء المالح، يسخن الأنابيب الذي استقبل الحرارة عن

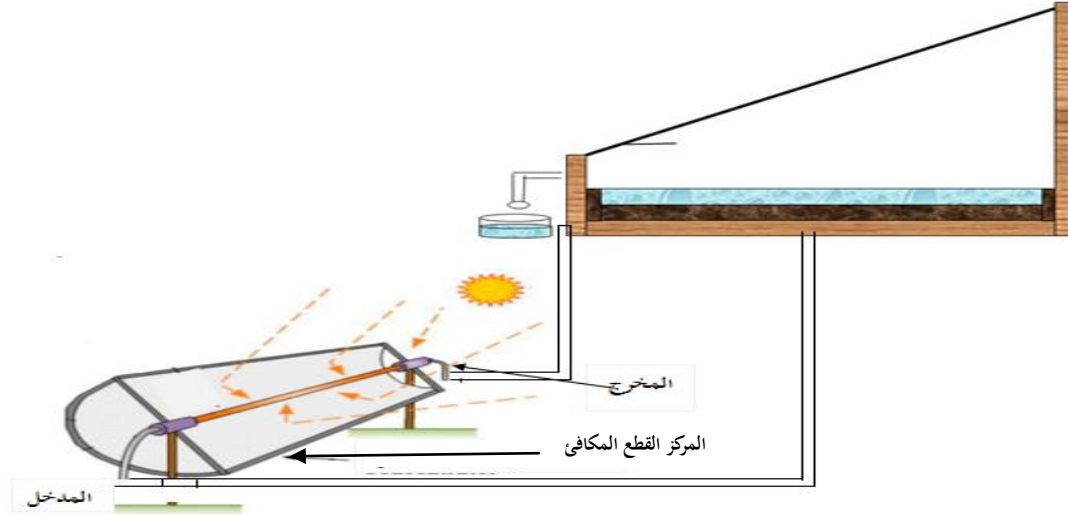
طريق الإشعاع الشمسي، فيسخن الماء المالح ويصعد إلى الحوض وينزل الماء البارد في الحوض حسب مبدأ دفعة ارخميدس. وهذا مما يساهم في زيادة درجة حرارة الحوض ومنه الزيادة في مردود اليومي للماء المقطر و الموضحة في الشكل (b-12-I).



الشكل (I-12): المقطر الشمسي المرتبط باللاقط الشمسي المسطح [37]

#### ❖ مجمعات الألواح القطوع المكافئة:

يعتبر نفس مبدأ عمل المقطر الشمسي مع اللاقط ذو صفيحة مسطحة لكن استبدال لاقط ذو صفيحة مسطحة بلاقط الدائري للزيادة في إستقبال الأشعة الشمسية ويتم فيه ربط مقطر شمسي أحادي مائل أو بميلين بلاقط شمسي الدائري , وحيث فيها يتم دوران الماء من مقطر الشمسي إلى لاقط باعتماد على مبدأ دافعة ارخميدس متمثلة في الشكل (I-13), [38][39][40].

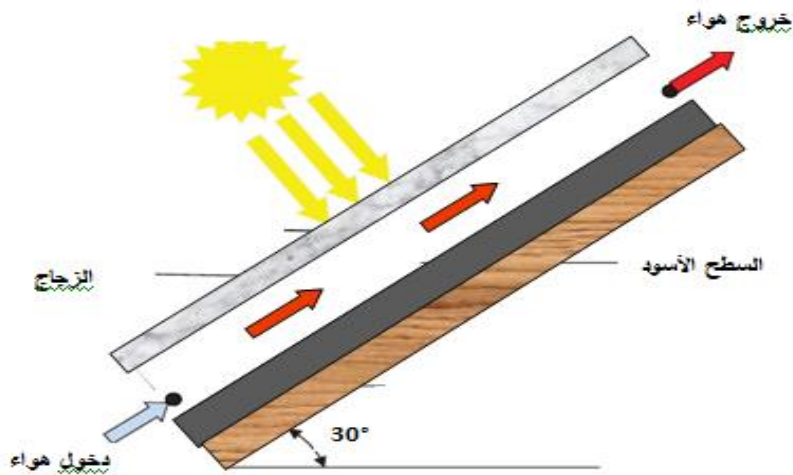


الشكل (13-I): المقطر الشمسي المرتبط باللاقط القطوع المكافئة [38][39][40].

(b) دمج بلاقط بوجود هواء:

❖ لوح مسطح مفتوح

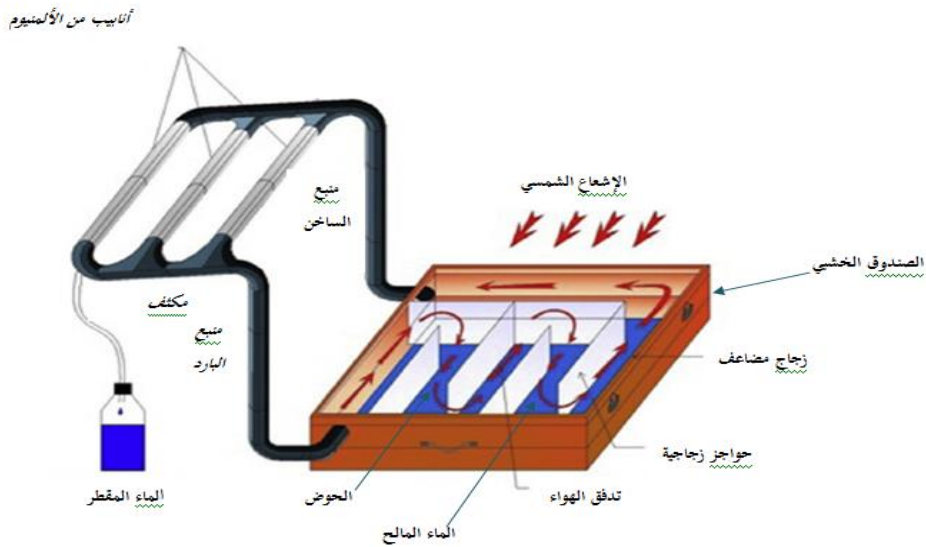
عبارة صفيحة مسطحة معزولة حرارياً بزاوية ميل  $30^\circ$  ذو غطاء زجاجي شفاف يسمح بنقل الإشعاع الشمسي، يتدفق الهواء داخله معتمداً على مبدأ دافعة أرخميدس بحيث صعود الهواء الساخن إلى الأعلى ونزول الهواء البارد إلى الأسفل حيث بفضل الإشعاع الشمسي يسخن الهواء المتدفق من الخارج إلى داخل لاقط الشمسي والشكل (14-I) يوضح ذلك [41].



الشكل (14-I): اللاقط الشمسي السطحي الهوائي [41]

❖ مقطر الشمسي في حالة دوران هواء في حلقة مغلقة

يتكون من صندوق الخشبي محكم الإغلاق له شكل مستطيل (0.7 m × 0.5 m) مطلي بطلاء بخاخ أسود لزيادة امتصاص لإشعاع الشمسي غطاء زجاجي مزدوج و به منبعين ساخن وبارد ، يتدفق الهواء داخله بشكل دائري في حلقة مغلقة و الشكل (I-15) يوضح ذلك.[42]. بحيث يمر الإشعاع الشمسي من خلال غطاء زجاجي يتم امتصاصه بواسطة لوحة مجلفنة ثم نقلها إلى مياه المالح في الحوض للصندوق الخشب فيتشكل لنا بخار يمر عبر منبع الساخن فيرفع درجة حرارته ثم يتكاثف وتتشكل لنا قطرات من الماء المقطر ثم يقوم المنبع البارد بخفض درجة حرارة البخار أي ماينقص درجة حرارة البخار ومما يساهم في عدم وصول البخار إلى حالة التشبع .



الشكل (I-15): المقطر الشمسي ذو الحلقة الدوران المغلقة [42]

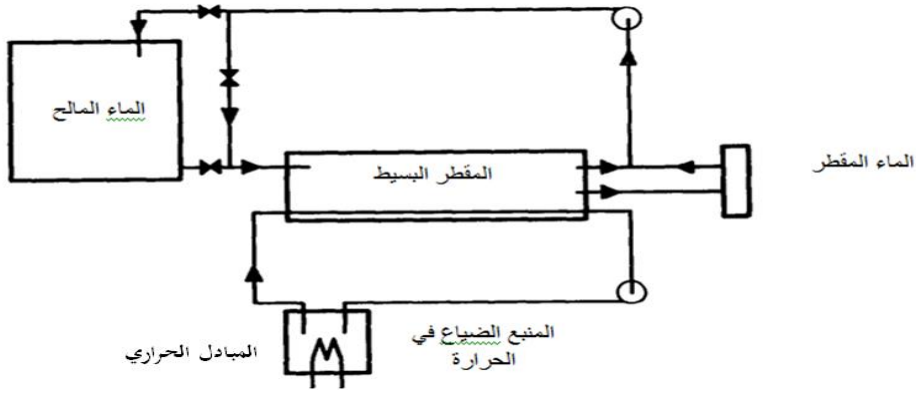
I-6) تقنيات استغلال الحرارة الضائعة

من أجل رفع مردود، كان لبدأ من تحسن الأجهزة الحرارية عبر استرجاع الحرارة الضائعة منهم لأنها تعتبر سبب من أسباب ضعف في الإنتاجية اليومية.

(a) استغلال الحرارة الضائعة من مبادل حراري

عبارة عن مقطر شمسي بسيط يحتوي على الماء المالح، يسخن حوض المقطر عن طريق المبادل الحراري (منبع حراري) الذي عند ارتفاع حرارته يفقد حرارة فيستقبل الماء المالح الحرارة ويرفع من درجة حرارته ، فيتبخر الماء المالح ويتكاثف على السطح البارد المكثف و يزيد من الإنتاجية اليومية [43] و يوضح الشكل (I-16) ذلك

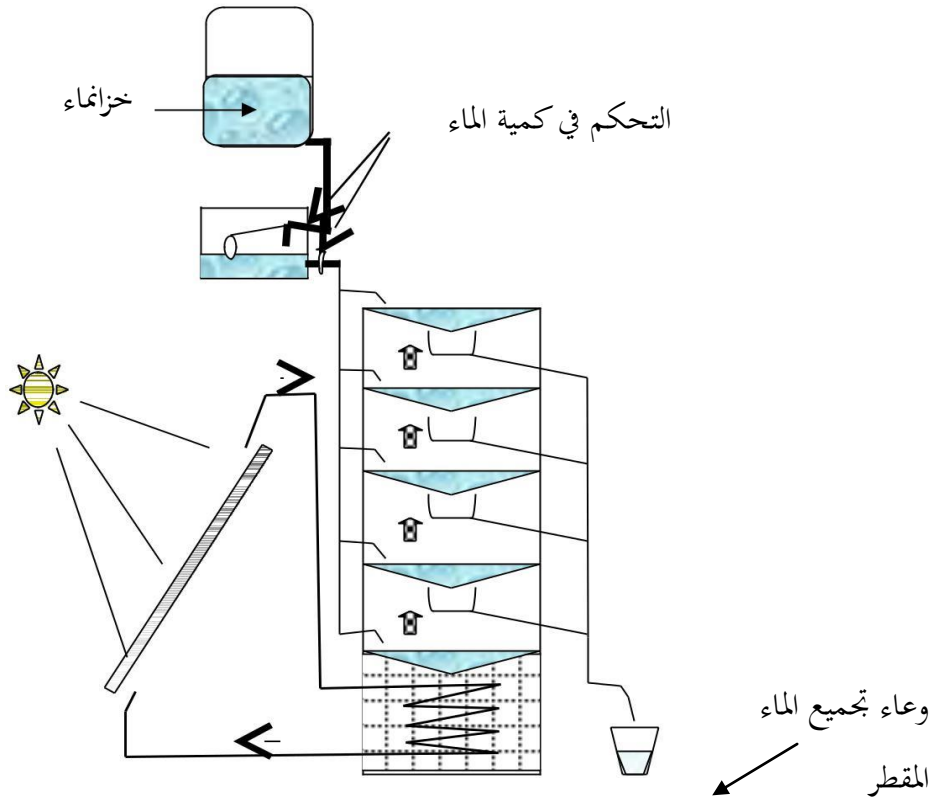




الشكل (I-16): استغلال الحرارة الضائعة من المبادل الحراري [43]

### (b) المقطر الشمسي متعدد الطوابق

هو عبارة عن مجموعة من الطوابق كل طابق يحتوي على الماء المالح، يسخن الطابق الأول عن طريق المبادل الحراري الذي استقبل الحرارة من المائع المسخن باللاقط الشمسي - فيتبخر الماء المالح ويتكاثف على السطح البارد المقابل وحرارة التكثيف بدورها تقوم باسترجاع البخار لتسخين الماء الموجود فوق سطح التكثيف وهكذا تتكرر العملية حتى الطابق الأخير [28] [44] ، الشكل (I-17) .

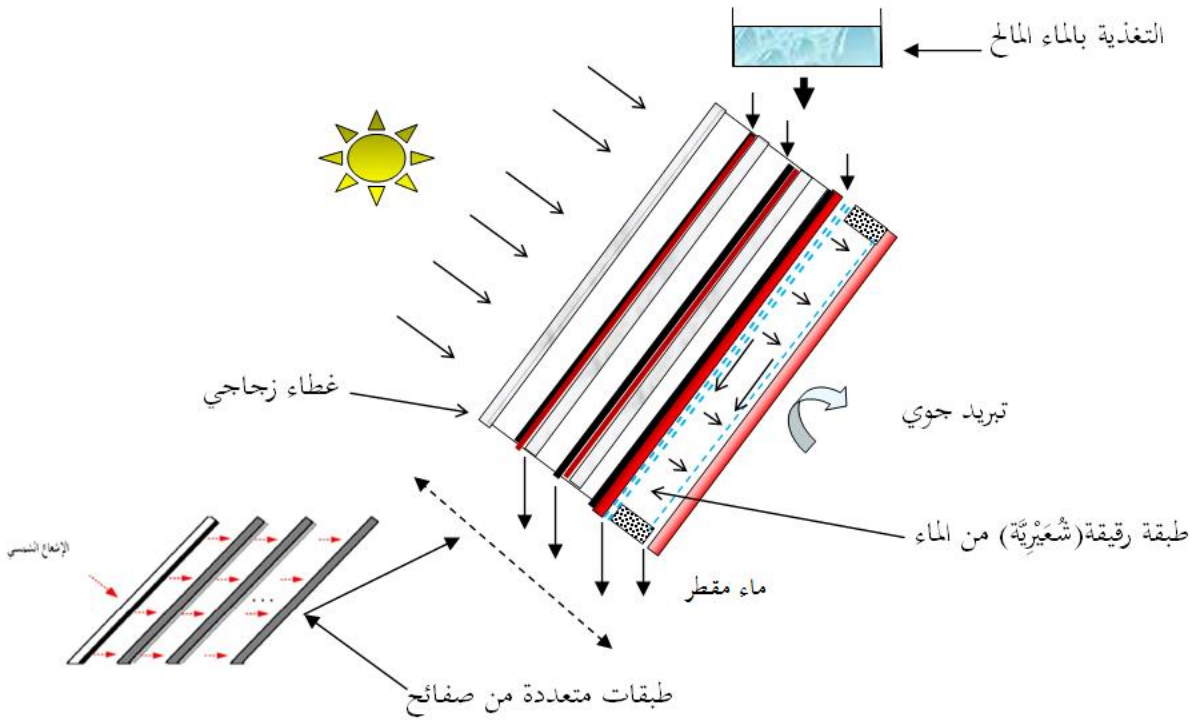


الشكل (I-17): المقطر الشمسي المتعدد الطوابق [28] [44]



## (c) المقطر الشمسي بالخاصية الشعيرية متعدد الصفائح

أول من اقترح هذا النوع من المقطر هم الباحثين بمنخر العلوم والهندسة الكيميائية بجامعة الجزائر، وهو عبارة عن مجموعة من الطوابق المعدنية (من الألمنيوم مثلا) متقابلة ومتوازية عموديا، مركبة داخل إطار خشبي معزول حراريا جيدا من الجهات الجانبية، كما يوجد غطاء زجاجي في الجهة العليا، إن الطابق الأول مطلي باللون الأسود لامتصاص أكبر قدر من الطاقة الشمسية الساقطة عليه، وجميع الطوابق مغطات من الخلف بقماش من نوع الشاش للامتصاص و الإحتفاظ بالماء المراد تحليته، والذي بدوره يمتص الحرارة من الطابق الأول فيتبخر الماء بفعل الحرارة المكتسبة من الإشعاع الحراري، ويتكاثف على السطح المقابل البارد يتمثل في الطابق الثاني، كما أن الحرارة المكتسبة من التكثيف تقوم بتسخين الماء السائل على الشاش المتصق خلف سطح التكثيف، وهكذا تتكرر العملية حتى الطابق الأخير [7][45]، الشكل (I-18) يوضح ذلك.



الشكل (I-18): المقطر الشمسي بالخاصية الشعيرية متعدد الصفائح [49][50]

**I-7) خلاصة**

تم التطرق في هذا الفصل الى مشكلة الماء وماهي التقنيات من اجل توفّر ماء صالح لشرب حسب المعايير العالمية ، خاصة اذا كانت هذه التقنيات بسيطة وغير مكلفة ، وذلك عبر مبدأ عمل التقطير الشمسي و أهم الأجهزة المستعمله ، و أيضا التحسينات من اجل رفع في الانتاجية اليومية ، و من ناحية اخرة مشكلة الضياع الحراري في المقطر الشمسي .

## المراجع :

- [1] Chandrashekara M and Yadav A 2017 Water desalination system using solar heat: A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **67** 1308–30
- [2] Desjardins R 1997 *Le traitement des eaux* (Presses inter Polytechnique)
- [3] Peng J, Kumar K, Gross M, Kunetz T and Wen Z 2020 Removal of total dissolved solids from wastewater using a revolving algal biofilm reactor *Water Environment Research* **92** 766–78
- [4] Spanton P I and Saputra A A 2017 Analysis of sea water pollution in coastal marine district tuban to the quality standards of sea water with using storet method *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology* **10** 103–12
- [5] Maurel A 2001 *Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce* (Éditions Tec & Doc)
- [6] Sellami M H, Belkis T, Aliouar M L, Meddour S D, Bouguettaia H and Loudiyi K 2017 Improvement of solar still performance by covering absorber with blackened layers of sponge *Groundwater for Sustainable Development* **5** 111–7
- [7] Lim B-J, Yu S-S, Chung K-Y and Park C-D 2018 Numerical analysis of the performance of a tiltable multi-effect solar distiller *Desalination* **435** 23–34
- [8] Avezova N R, Vokhidov A U, Farmonov A A and Dalmuradova N N 2019 Renewable Energy: Challenges and Solutions *Appl. Sol. Energy* **55** 149–52
- [9] Hichem B and L H 2017 Etude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole
- [10] Sellami M H, Guemari S, Touahir R and Loudiyi K 2016 Solar distillation using a blackened mixture of Portland cement and alluvial sand as a heat storage medium *Desalination* **394** 155–61
- [11] Leal Filho W, Totin E, Franke J A, Andrew S M, Abubakar I R, Azadi H, Nunn P D, Ouweneel B, Williams P A and Simpson N P 2022 Understanding responses to climate-related water scarcity in Africa *Science of the Total Environment* **806** 150420
- [12] Gude V G 2017 Desalination and water reuse to address global water scarcity *Rev Environ Sci Biotechnol* **16** 591–609
- [13] Kettab A 2001 Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision *Desalination* **136** 25–33
- [14] Tigrine Z, Belgroun Z, Abbad B, Dali H and Aburideh H 2012 The reduction of water irrigation salinity by solar distillation for the STEP of Ouargla *Procedia engineering* **33** 92–7
- [15] Tabouche N and Achour S 2010 Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*

- [16] Anon Accueil - Algérienne des Eaux
- [17] Anon Ministère des Ressources en Eau (Algérie) | CARI
- [18] Anon AEC | Algerian Energy Company
- [19] Sadi A and Kehal S 2003 Retrospectives and potential use of saline water desalination in Algeria *Desalination* **152** 51–6
- [20] Drouiche N, Ghaffour N, Naceur M W, Mahmoudi H and Ouslimane T 2011 Reasons for the Fast Growing Seawater Desalination Capacity in Algeria *Water Resour Manage* **25** 2743–54
- [21] Malik M A, Tiwari G N, Kumar A and Sodha M S 1982 Solar distillation (a practical study of a wide range of stills and their optimum design, construction, and performance)
- [22] Harding J 1883 Apparatus for Solar Distillation. *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers* vol 73 (Thomas Telford-ICE Virtual Library) pp 284–8
- [23] Cooper P I 1973 The maximum efficiency of single-effect solar stills *Solar energy* **15** 205–17
- [24] Mahdi K and Bellel N 2014 Development of a Spherical Solar Collector with a cylindrical receiver *Energy Procedia* **52** 438–48
- [25] Sodha M S, Mishra D R and Tiwari A K 2014 Solar earth water still for highly wet ground *J Fundam Renew Energy Appl* **4** 1–2
- [26] Sharma M, Tiwari A K and Mishra D R 2016 A review on desalination of water using single slope passive solar still *International Journal of Development Research* **6** 10002–12
- [27] Voropoulos K, Mathioulakis E and Belessiotis V 2003 Experimental investigation of the behavior of a solar still coupled with hot water storage tank *Desalination* **156** 315–22
- [28] Khedim A, Schwarzer K, Faber C and Müller C 2004 Production décentralisée de l'eau potable à l'énergie solaire *Desalination* **168** 13–20
- [29] Manokar A M, Murugavel K K and Esakkimuthu G 2014 Different parameters affecting the rate of evaporation and condensation on passive solar still—A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **38** 309–22
- [30] Tiwari G N and Garg H P 1985 Effect of water flow over the glass cover of a single basin solar still with an intermittent flow of waste hot water in the basin *Energy Conversion and Management* **25** 315–22
- [31] Tiwari G N and Rao V B 1984 Transient performance of a single basin solar still with water flowing over the glass cover *Desalination* **49** 231–41
- [32] El-Sebaili A A 2000 Effect of wind speed on some designs of solar stills *Energy Conversion and Management* **41** 523–38

- [33] Tekha M, Bechki D, Bentouila O, Bouguettaia H, Soudani M E, Belhadj M M, Cherraye R and Zine A 2022 Effect of heat pump on single basin solar stills: an experimental and theoretical study *International Journal of Ambient Energy* **43** 7727–37
- [34] El-Sebaili A A, Aboul-Enein S and El-Bialy E 2000 Single basin solar still with baffle suspended absorber *Energy conversion and management* **41** 661–75
- [35] Nafey A S, Abdelkader M, Abdelmotalip A and Mabrouk A A 2001 Solar still productivity enhancement *Energy conversion and management* **42** 1401–8
- [36] Kabeel A E, Khalil A, Omara Z M and Younes M M 2012 Theoretical and experimental parametric study of modified stepped solar still *Desalination* **289** 12–20
- [37] Panchal H N and Thakkar H 2016 Theoretical and experimental validation of evacuated tubes directly coupled with solar still *Thermal Engineering* **63** 825–31
- [38] Fathy M, Hassan H and Ahmed M S 2018 Experimental study on the effect of coupling parabolic trough collector with double slope solar still on its performance *Solar Energy* **163** 54–61
- [39] Subhedar D G, Chauhan K V, Patel K and Ramani B M 2020 Performance improvement of a conventional single slope single basin passive solar still by integrating with nanofluid-based parabolic trough collector: an experimental study *Materials Today: Proceedings* **26** 1478–81
- [40] Panchal H, Sadasivuni K K, Suresh M, Israr M and Sengottain S 2022 A concise review on Solar still with parabolic trough collector *International Journal of Ambient Energy* **43** 4812–9
- [41] Lati M, Boughali S, Bechki D, Bouguettaia H, Mennouche D, Gana N and Ghetas S 2019 Experimental investigation on effect of an absorber plate covered by a layer of sand on the efficiency of passive solar air collector *International Journal of Green Energy* **16** 413–22
- [42] Rahmani A, Boutriaa A and Hadeif A 2015 An experimental approach to improve the basin type solar still using an integrated natural circulation loop *Energy conversion and management* **93** 298–308
- [43] Proctor D 1973 The use of waste heat in a solar still *Solar energy* **14** 433–49
- [44] Fernández J and Chargoy N 1990 Multi-stage, indirectly heated solar still *Solar energy* **44** 215–23
- [45] Boucekima B, Gros B, Ouahes R and Diboun M 2000 Etude théorique et application pratique du distillateur solaire à film capillaire *International journal of thermal sciences* **39** 442–59

# الفصل الثاني

الإشعاع الشمسي والظواهر الفيزيائية  
لعملية التقطير الشمسي

**1-II) مقدمة**

نتطرق في هذا الفصل أولاً لتعريف الطاقة الشمسية و الإشعاع الشمسي ثم نبدأ في الدراسة النظرية لعملية التقطير التي تعطي العلاقة بين المقادير الفيزيائية الداخلة في هذه العملية، وتعطي تفسيرات لما يحدث من ظواهر فيزيائية مرتبطة مع بعضها البعض، وسندرس الظواهر المُتَزَامِنَة منها وغير المُتَزَامِنَة من حيث الحُدُوث، ومن تلك الظواهر الفيزيائية نجد: انتقال الحرارة (بالتوصيل و بالحِمل و بالإشعاع) ، انتقال المادة ، انتقال كمية الحركة .

**2-II) الطاقة الشمسية**

الطاقة الشمسية هي أصل الدورات البيولوجية والمناخية ، وبعبارة أخرى فهي مصدر جميع أشكال الطاقة على كوكب الأرض ، سواء الطاقات التقليدية ذات الأصل الأحفوري مثل الهيدروكربونات أو للطاقات المتجددة وأهمها الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والكتلة الحيوية ، الطاقة الشمسية هي الأكثر هيمنة على جميع الطاقات المتجددة ، وهي واحدة من أكثر الطاقات التي يمكن استغلالها بسهولة مثل معظم الطاقات المتجددة ، فهي تمنح المستخدم الفرصة لتلبية جزء من احتياجاته دون وسطاء ، و على المستوى العالمي تعتبر الشمس ذات أهمية قصوى لأنها أصل الحياة على الأرض ، حيث تزودها بكميات هائلة من الطاقة ، مما يسمح بوجود الماء في حالة سائلة والتركيب الضوئي للنباتات و الطاقة الشمسي مسؤول أيضا عن ظواهر المناخ والأرصاد الجوية [1].

خلال القرن العشرين تم استخدام الوقود ومصادر الطاقة القائمة على الهيدروكربون على نطاق واسع ، مما أدى إلى انبعاث كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون والغازات الأخرى المضرة بالبيئة ، تظهر البيانات المتراكمة حتى الآن بشكل قاطع أن التغيرات المناخية التي تسببها الأنشطة البشرية في بدايتها ، وأنه إذا أردنا التخفيف من الآثار الخطيرة التي يمكن أن تسبب تغيرات مناخية كبيرة ، فسيتعين علينا تقليل الانبعاثات المرتبطة باحتراق الهيدروكربونات بشكل كبير .

تمتلك الجزائر إمكانات كبيرة في الطاقة الشمسية حيث تتماز ب 3500 h من أشعة الشمس سنويا، على سبيل المثال تبلغ الطاقة الشمسية الحرارية 169440 TWh/an وهو ما يعادل 38000 milliards m<sup>3</sup>/an تمثل ما يقرب من 4 أضعاف استهلاك الطاقة في العالم ، أشعة الشمس القوية التي يتمتع بها بلدنا والمشاكل التي يمكن أن تولد استخدام الطاقة المنتجة بالوقود الأحفوري (التلوث ، ارتفاع درجة حرارة الأرض) شيء يشجع على استخدام الطاقة الشمسية بسبب مؤثوقيتها على المستوى الاقتصادي ، يمكن أن توفر حولا مثل الإضاءة و التدفئة المنزلية و ضخ المياه تقطير المياه قليلة المالحه أو المالحه [2].

## 3-II) الشمس

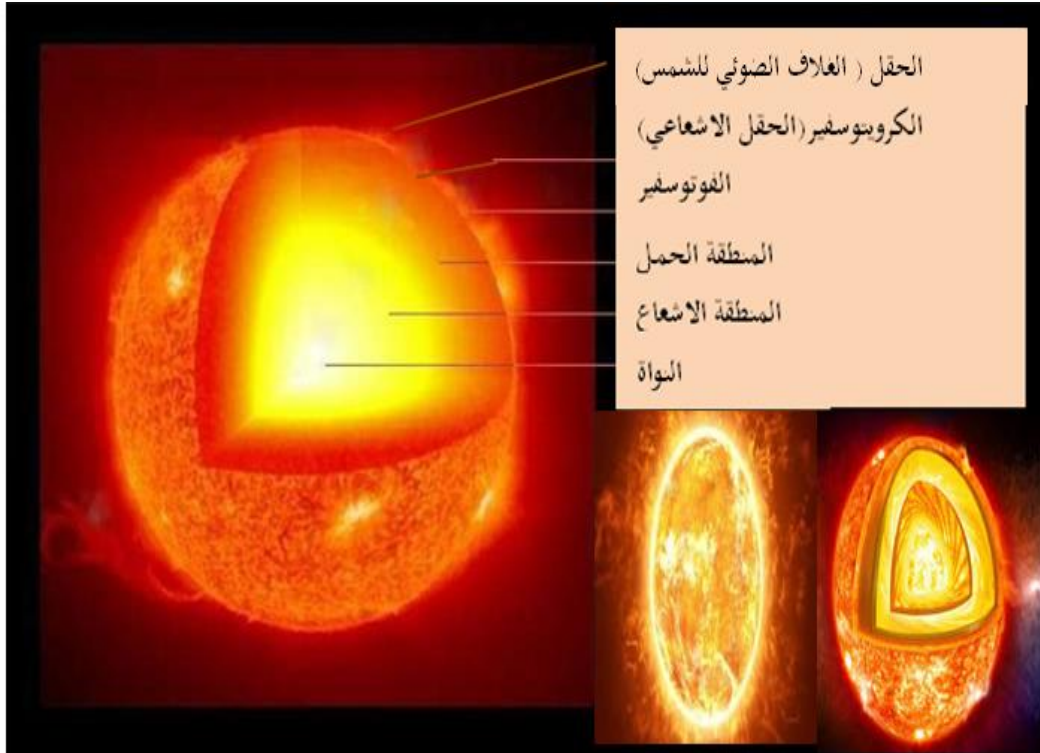
الشمس نجم كروي يصل قطره إلى  $13.91 \times 10^5$  km (100 مرة من الأرض) ، كتلته في حدود  $2 \times 10^{20}$  Kg ، وهي تقع على مسافة من الأرض تساوي حوالي  $1.496 \times 10^8$  km ، وهذه المسافة كبيرة لدرجة أن ضوءها يصل إلينا بعد 8 min من انبعائه [3]. و يوضح الشكل (1-II) مخطط هيكله الشمس ويتكون من أربع مناطق وهي [4] :

– النواة : هو قلب الشمس و لها درجة حرارته عالية جدا تقدر ب  $15 \times 10^6$  K ، تنتشر الطاقة المنتجة في النواة عن طريق الإشعاع ثم عن طريق الحمل الحراري حتى الغلاف الضوئي للشمس حيث يتسرب في شكل إشعاع كهرومغناطيسي إلى الفضاء.

– الفوتوسفير : عبارة عن طبقة يبلغ سمكها حوالي 300 km ودرجة حرارتها 5770 K وتوفر الصورة المرئية للشمس.

– الكروموسفير: هو جو الشمس أو حقل الشمس ويبلغ سمكها حوالي 8000 km ودرجة حرارة 20000 K

– الغلاف الجوي للشمس : هو امتداد الكروموسفير ليس له حدود دقيقة ويتكون من طبقة غازية ليست كثيفة جدا والمتأينة ، درجة حرارته عالية جدا تتجاوز المليون درجة [5].



الشكل (1-II) مخطط يوضح هيكله ومكونات الشمس [5]



✓ يتم إنتاج الطاقة الشمسية من خلال تفاعلات الاندماج النووي الحراري للهيدروجين في الهيليوم داخل قلب الشمس المقدر بـ  $309 \times 10^{20}$  MW ، و هو ما يعادل حوالي 1 million مرة من طاقة تفاعل الاحتراق الكيميائي العادي [6].

✓ ينبعث الإشعاع الشمسي بشكل كروي والمسافة بين الشمس والأرض تقدر بمتوسط 150 million km و التدفق الشمسي في الجزء العلوي من الغلاف الجوي للأرض هو  $1350 \text{ W/m}^2$  ، عندما ينتشر الإشعاع الشمسي في الغلاف الجوي فإنه يتفاعل مع المكونات الغازية للغلاف ومع جميع الجسيمات الموجودة فيه (قطرات الماء وبلورات الجليد). على مستوى الأرض [7].

## II-4) الإشعاع الشمسي

الإشعاع الشمسي و الحراري هو إشعاع ذو طبيعة كهرومغناطيسية ينبعث في جميع الاتجاهات من قبل أي جسم تزيد درجة حرارته عن 0 K ، و أيضا هو المادة الخام للطاقة الشمسية بحيث له موجة انتشار طولها تتراوح ما بين 0.2 m و طول  $4.10^{-6}$  m دون الحاجة إلى دعم مادي للتحرك.

## II-4-1) الإشعاع الشمسي على الأرض

ينقسم الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى الأرض إلى قسمين: أحدهما يأتي مباشرة من الشمس (مباشرة) ، والآخر منتشر بواسطة الغلاف الجوي (منتشر). إن معرفة هذه الإشعاعات المختلفة تجعل من الممكن إنشاء توازن إشعاعي لنظام الغلاف الجوي للأرض.

✓ الإشعاع المباشر  $G_{dir}$ : إنه الإشعاع الذي يمر عبر الغلاف الجوي دون الخضوع لتعديلات ، يتم استقباله مباشرة من الشمس ، دون انتشار بواسطة الغلاف الجوي ، وأشعة موازية لبعضها البعض [8].

$$I_{dir} = I [a_0 + a_1 e^{-K \cdot AM}] \quad (1. II)$$

حيث تمثل كل من  $a_0$  و  $a_1$  و  $K$  ثوابت تجريبية تعطى من طرف Beckman و Duffie و بالعلاقات التالية [9] :

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

$$a_1 = 0.98[0.5055 - 0.00595(6.5 - Z)^2] \quad (3. II)$$

$$K = 1.02[0.2711 - 0.01858(2.5 - Z)^2] \quad (4. II)$$

حيث :

Z : ارتفاع المنطقة فوق سطح

AM : الكتلة الهوائية الضوئية

I : الثابت الشمسي

أما في حالة الإشعاع الشمسي المباشر الذي يرد بزاوية  $\theta$  على سطح مائل تعطى عبارته بالعلاقة :

$$I_{dir} = I_{dir(s)} \cdot \cos \theta \quad (5. II)$$

حيث :

$I_{dir}$  : الإشعاع الشمسي المباشر المستلم لكل وحدة مساحة.

$I_{dir(s)}$  : الإشعاع الشمسي الأفقي على مستوى مائل .

$\theta$  : زاوية سطح يميل مع الأفقي والموجهة إلى الجنوب .

✓ الإشعاع المنتشر  $G_{dif}$  : هي حصة الإشعاع الشمسي المنتشر بواسطة جزيئات صلبة أو سائلة معلقة في

الغلاف الجوي (هواء, الغيوم, .....). ليس لديه اتجاه متميز أو مكان واضح وتعطى عبارته في حالة

السطح الأفقي بالعلاقة [10].

$$I_{dif} = I \sinh [0.2710 - 0.2939 (a_0 + a_1 e^{-K \cdot AM})] \quad (6. II)$$

و أيضا

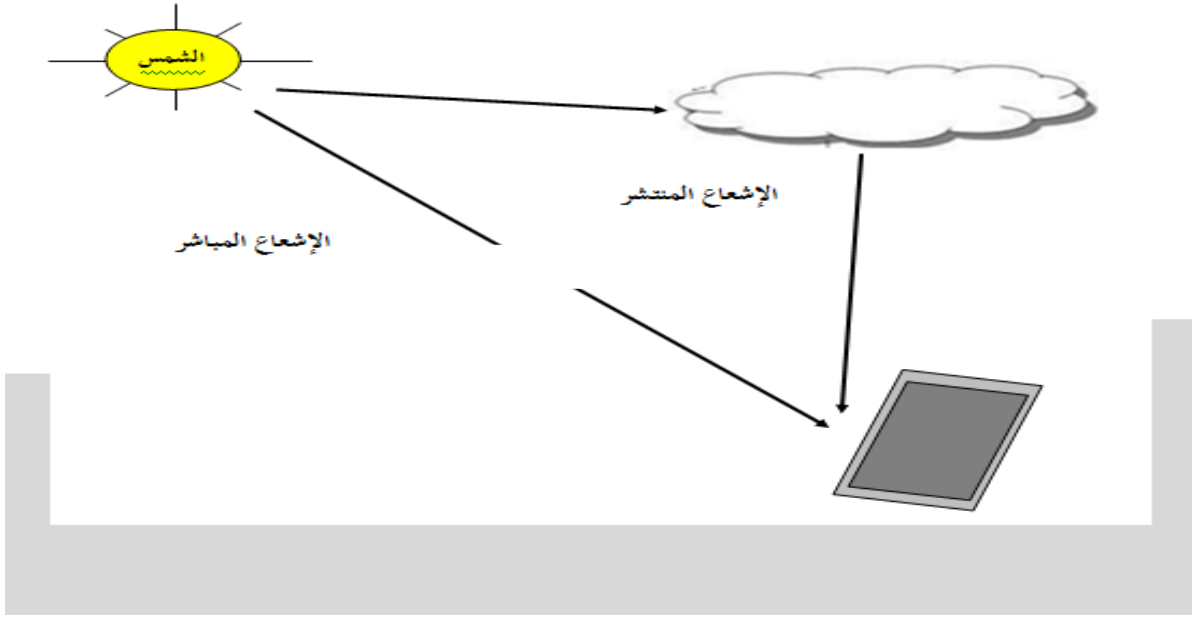
$$I_{dif} = I_{dif(s)} \cdot \frac{(1 + \cos \alpha)}{2} \quad (7. II)$$

حيث :

$I_{dif}$  : الإشعاع الشمسي المنتشر المستلم لكل وحدة مساحة.

$I_{dif(s)}$  : الإشعاع الشمسي المنتشر الأفقي على مستوى مائل .

$\alpha$  : زاوية ميل لاقط الأشعة.



الشكل (II-2) رسم الإشعاع المباشر والمنتشر [8] [10]

✓ الإشعاع الكلي  $G_g$ : عبارة عن مجموع الأشعة المباشرة والمنتشرة

$$G_g = G_{dir} + G_{dif} \quad (8. II)$$

و في حالة الإشعاع الناظمي معدوم تكتب [11] العلاقة :

$$G_g = (1270 - 56T_L)(\sinh)^{(T_L+36)/33} \quad (9. II)$$

$$T_L = 2.5 + 16\beta_A + 0.5 \ln \omega \quad (10. II)$$

حيث :

$T_L$  : معامل الاضطراب للغلاف الجوي

$\beta_A$  : معامل أنغيشتروم

و يمثل  $\omega$  ارتفاع الماء المكثف و قيمهما تتغير حسب الحالة الجوية كما هو موضح

الجدول (II-1): قيم معامل الاضطراب ومعامل ارتفاع الماء المكثف [11]

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

## 5-II) الزوايا الشمسية

يتأثر الإشعاع الشمسي الساقط في نقطة ما من سطح الأرض بحركة الأرض حول الشمس و التي تحدد

من عبر الزوايا الشمسية [12] [13] [14]

**1-5-II) زاوية ميل الشمس :** تدور الأرض حول الشمس في مسار غليلي حيث يصنع محور دوران الأرض

حول نفسها مع الناظم على المستوى غليلي زاوية  $\delta$  و تنعدم الزاوية في الربيع 21 مارس و الخريف 23 سبتمبر ،

بينما  $\delta = -23,45$  في الشتاء 22 ديسمبر و  $\delta = +23,45$  في الصيف 22 جوان تعطى علاقة زاوية  $\delta$

بالمعادلة التالية :

$$\delta = 23,45 \sin(0,980(n_j + 284)) \quad (11. II)$$

**2-5-II) زاوية الساعة الشمسية:** نتيجة دوران الأرض حول نفسها (دورة كاملة  $360^\circ$ ) ، مما يؤدي إلي

مسح كلي للإشعاع الشمسي كامل الأرض خلال 24h وفق دائرة العرض باعتبار الزوال هو المبدأ ( $\omega = 0$ ) ،

وتعطى عبارة زاوية  $\omega$  بالعلاقة :

$$\omega = \frac{360}{24} (TSV - 12) \quad (12. II)$$

**3-5-II) زاوية دائرة العرض :** هي زاوية تحدد موقع النقطة على سطح الأرض حيث تعرف بأنها الزاوية التي

يصنعها الناظم على سطح الأرض في المنطقة مع الناظم على سطح الأرض في خط الاستواء الواقع في نفس خط

الطول مع المنطقة ، وتكون الزاوية موجبة إذا كانت المنطقة شمال خط الاستواء بينما تكون سالبة إذا كانت

المنطقة جنوب خط الاستواء الشكل و يرمز لها ب  $\phi$ .

**4-5-II) زاوية الارتفاع الشمس :** هي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين نقطة على سطح الأرض و مركز

الشمس و الأفق الذي تمر فيه النقطة على الأرض، هذه الزاوية تساوي صفر عند غروب و شروق الشمس وتأخذ

القيمة العظمى عند وقت الزوال، إذا نكتب العلاقة التالية

$$\sin(h') = \sin\phi \cdot \sin\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega \quad (13. II)$$

**II-5-5) زاوية السميت الرأسية**

هي الزاوية التي يصنعها مسقط الشعاع الوارد للنقطة من سطح الأرض على المستوى الأفقي مع المحور المتجه للجنوب عند هذه النقطة، و تكون هذه الزاوية موجبة إذا كانت نحو الغرب و تكون سالبة إذا كانت نحو الشرق.

$$\cos(a) = \frac{\sinh' \cdot \sin\varphi - \cos\delta}{\cosh' \cdot \cos\varphi} \quad (14. II)$$

**II-6) انتقال الحرارة**

هو انتقال لكمية من الطاقة على شكل الحرارة من نقطة إلى نقطة بوجود تدرج في درجة الحرارة والانتقال يتم مهما كان نوع الوسط، حتى بعدم وجود وسط مادي (مثلا فراغ في حالة الإشعاع) و يحكمها مجموعة من القوانين الفيزيائية والعلاقات التجريبية المستخلصة من التجريب ، ويتم الانتقال ب:

- 1) التفاعل المباشر لجسيمات المادة المتقاربة.
- 2) الامتصاص أو البث للإشعاعات الكهرومغناطيسية.
- 3) وفي حالة الغازات أو السوائل تحمل جسيمات المادة الطاقة الحرارية بشكل عشوائي بين نقطتين من الوسط المادي. [15].

**II-6-1) أشكال انتقال الحرارة****II-6-1-1) التوصيل الحراري**

يعرف التوصيل بأنه طريقة انتقال الحرارة داخل وسط معتم (صلب أو سائل أو غازي) ، دون إزاحة المادة ، في وجود تدرج في درجة الحرارة. يتم تنفيذه وفقا لآليتين مختلفتين: انتقال عن طريق اهتزاز الجزيئات أو الذرات وانتقال بواسطة الإلكترونات الحرة [16]. وهو ناتج عن انتقال الطاقة الحركية من جزيء إلى جزيء مجاور آخر.

**II-6-1-1-1) قانون فورييه**

اقترح جوزيف فورييه في عام 1822 قانون التوصيل المعروف الآن باسم قانون فورييه. تشير هذه العلاقة إلى أن تدفق الحرارة يتناسب مع تدرج درجة الحرارة ويحدث في اتجاه انخفاض درجات الحرارة

يتم التعبير عن هذا القانون الذي يعطي تدفق الحرارة الذي يمر عبر السطح بالعلاقة [14] :

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot A \frac{dT}{dx} \quad (15. II)$$

بحيث المعامل  $\lambda$  خاصية ذاتية لمادة الوسط ، تسمى التوصيلية الحراريّة (تقاس بـ  $[\lambda]_{SI} = W/m \cdot ^\circ C$ )

### II-6-1-2) الحمل الحراري

تنتقل الحرارة عن طريق الحركة أو الإزاحة العيانية (عدد كبير من الجزيئات)، و عندها يسمى المائع بـ: المائع الحامل للحرارة، والحمل هو شكل من أشكال الانتقال سريع بالمقارنة بالتوصيل. هناك نوعان من الحمل الحراري [17] :

\* الحمل الحراري الطبيعي (الحمل الحراري الحر) حيث تكون حركة الجسيمات ناتجة عن اختلافات درجة الحرارة المفروضة على السائل، وينجم عن اختلاف درجة الحرارة إلى اختلاف في الكثافة، و على سبيل المثال (تسخين الهواء لمنطاد الهواء الساخن، تسخين الماء في وعاء).

\* الحمل القسري حيث تنتج حركة الجسيمات عن الضغط المطبق على السائل عبر الوسائل الميكانيكية ، (مضخة على سبيل المثال).

### II-6-1-1) قانون نيوتن :

نعتبر مائع حراري ذو درجة حرارة  $T_\infty$  في تماس مع سطح جسم صلب، مساحته  $A$  ودرجة حرارته  $T_s$ ، يحدث بينهما تبادل حراري (تسخين أو تبريد)، ويعبر عن بقانون نيوتن:

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A (T_\infty - T_s) \quad (16. II)$$

بحيث  $h$  معامل الانتقال الحراري السطحي أو معامل الحمل الحراري، ويعبر عن فعالية الحمل في نقل الحرارة (وحدته :  $[h]_{SI} = W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

### II-6-1-3) الإشعاع الحراري

الإشعاع هو نقل الطاقة الكهرومغناطيسية من وسط عند درجة حرارة عالية إلى وسط آخر عند درجة حرارة منخفضة دون أي دعم مادي (فراغ). بشكل عام ، وهذا النوع من انتقال الحرارة مماثل لانتشار الضوء ولا يتطلب

أي دعم مادي. و الأمثلة النموذجية لنقل الحرارة عن طريق الإشعاع هي: الإشعاع الشمسي ، وتسخين الأجزاء المعدنية في الأفران لإخضاعها للمعالجات الحرارية [17].

### II-6-1-3-1 قانون "ستيفان-بولتزمان"

يعبر عن التدفق الحراري [17] :

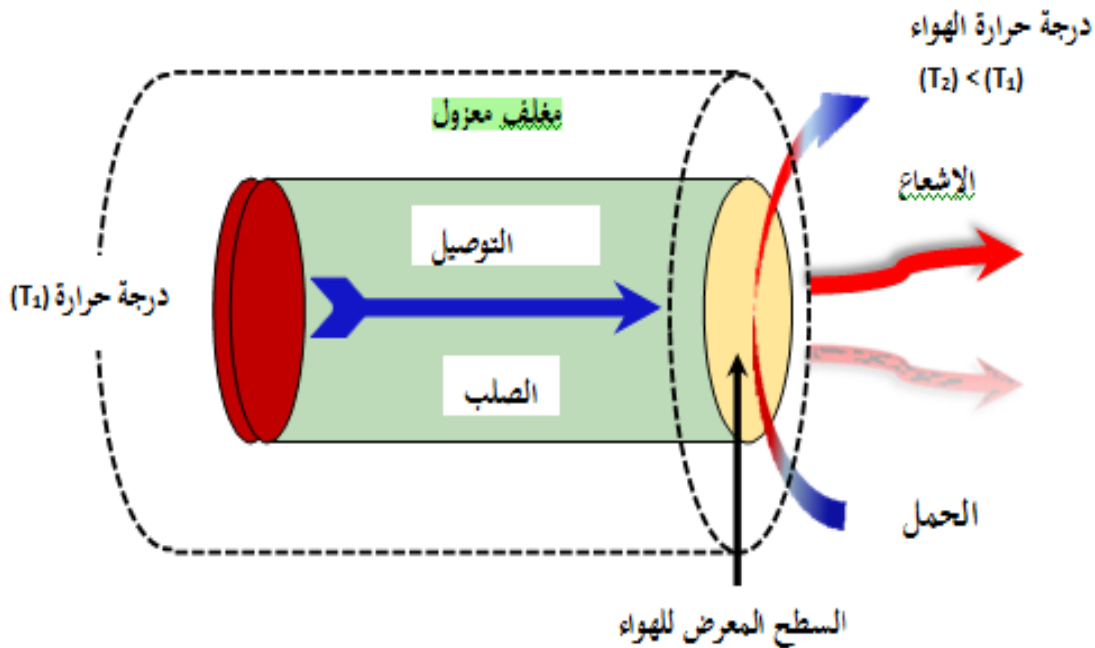
$$M = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (17. II)$$

بحيث :

M الانبعاثية الإشعاعية للسطح الباث ( $[M]_{SI} = W/m^2$ )

$\varepsilon$  معامل الانبعاث الإشعاعي للسطح الباث (بدون وحدة).

$\sigma$  ثابت ستيفان-بولتزمان ( $\sigma = 5.669 \cdot 10^{-8} (W/m^2 \cdot K^4)$ )



الشكل (II-3) مخطط ظاهرة نقل الحرارة [16] [17].

### II-7 انتقال الكتلة :

انتقال الكتلة هو كل الإجراءات التي يكون فيها فرق في التركيز (مولي أو كتلي) للمواد في وسط مادي ، ونتيجة الانتشار الجزيئي لهذه المواد إلى غاية تساوي التركيز بين النقاط المعتبرة لظاهرة الانتقال ، و يرافق هذا الانتقال انتقالا للحرارة ، أيضا هي ذات قيمة ثابتة في السكون (السرعة الصغيرة جدا أمام سرعة الضوء) [18].

## II-7-1) أنواع انتقال الكتلة:

عبارة عن انتقال الكتلة بأشكال منها الانتشار الجزيئي هو تشابه مباشر لانتقال الحرارة بالتوصيل ، والانتشار الجزيئي يتم في مائع بحركة منتظمة في سريان رقائقي و من أهم قوانينه قانون فيك الأول والثاني .

## II-7-1-1) قانون فيك الأول:

يعبر قانون فيك الأول على أنه ظاهرة نقل تؤدي إلى هجرة الأنواع الكيميائية في وسط تحت تأثير التحريض الحراري ، وهو مشابه مباشر لمعادلة انتقال الحرارة بالتوصيل ( قانون فورييه)، وينص قانون فيك الأول على ما يلي: التدرج في التركيز (كتلي  $C$  أو مولي  $C_{mol}$ ) لمادة المذابة بين نقطتين في المذيب و يؤدي إلى انتقالها من النقطة الأكثر تركيز إلى النقطة الأقل تركيز ، و نعتبر المسافة الفاصلة بين النقطتين  $dx$  ومساحة سطح التبادل هي  $A$  نكتب معادلة القانون على الشكل التالي [19] :

$$\frac{dm}{dt} = -D_c \cdot A \cdot \frac{dC}{dx} \quad (18. II)$$

بحيث المعامل  $D_c$  خاصية تسمى الانتشارية الكتلية الموافقة للتركيز الكتلي  $C$  وحدتها  $[D_c]_{SI} = m^2/s$  .

## II-7-1-2) قانون فيك الثاني:

نفس الطريقة التي تم بها إنشاء معادلة القانون الثاني ل فورييه في التوصيل الحراري مع استبدال درجة الحرارة  $T$  بالتركيز الكتلي أو المولي  $C$  أو الضغط  $P_g$  وينتج [19] [20] :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (19. II)$$

$$\frac{\partial P_g}{\partial t} = D_{P_g} \frac{\partial^2 P_g}{\partial x^2} \quad (20. II)$$

$$\frac{\partial C_{mol}}{\partial t} = D_{C(mol)} \frac{\partial^2 C_{mol}}{\partial x^2} \quad (21. II)$$

في حالة  $D_c = 0$  تسمى معادلة الانتشار في بمعادلة الاستمرار

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \text{div}(C\vec{U}) = 0 \quad (22. II)$$

## II-8) انتقال كمية الحركة :

### II-8-1) تعريف انتقال كمية الحركة:

كمية الحركة عكس الكتلة التي تعرف بأنها كمية المادة المصاحبة لجسم ما ، فهي مقدار فيزيائي ديناميكي يجمع بين كتلة وسرعة الجسم المتحرك ، وتتغير بتغير الكتلة و السرعة ، وهي جداء الكتلة  $m$  والسرعة  $U$  [21]:



$$\vec{P} = m \cdot \vec{U} \quad (23.II)$$

كمية الحركة مقدار متجه (شعاعي) له نفس اتجاه السرعة و تقاس بـ:  $[P]_S = Kg.m/s$

## II- 9) الخاتمة

في هذا الفصل كل الظواهر التي تمت درستها لها تأثير على التقطير الشمسي من الطاقة الشمسية الى الاشعاع الشمسي وخاصة الزوايا الشمسية و القونين المختلف الأساسية في الإنتقالات الحرارية داخل وخارج المقطر الشمسي ، الذي سوف يظهر تأثيرهم عبر العمل تجربي و بالحاكاة العددية في الفصل الموالي .

## المراجع :

- [1] Guney M S 2016 Solar power and application methods *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **57** 776–85
- [2] Sellami M H and Loudiyi K 2017 Electrolytes behavior during hydrogen production by solar energy *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **70** 1331–5
- [3] Lean J 2005 Living with a variable sun *Physics Today* **58** 32–8
- [4] Manuel O K 2009 Earth's Heat Source - The Sun *Energy & Environment* **20** 131–44
- [5] Akpootu D O, Salifu S I, Nnaemeka O C and Adesina S 2020 Comparative Study on Mass loss by the Sun and Energy Available for Utilization between two Tropical Stations in Nigeria *International Journal of Adv in Sci Res and Eng (ijasre)* **6** 82–91
- [6] Yousuf M U and Siddiqui M 2018 Solar energy potential estimation by calculating sun illumination hours and sky view factor on building rooftops using digital elevation model *Journal of Renewable and Sustainable Energy* **10**
- [7] Katiyar A K and Pandey C K 2013 A review of solar radiation models—Part I *Journal of Renewable Energy* **2013**
- [8] Ahmad M J and Tiwari G N 2011 Solar radiation models-A review *Int. J. Energy Res.* **35** 271–90
- [9] Iqbal M 2012 *An Introduction To Solar Radiation* (Elsevier)
- [10] Sidibba S and Bah E 2019 Characterization and modeling of solar radiation on the ground, application to the estimate of solar potential available on the coast of Nouakchott *OAJ Materials and Devices* **4**
- [11] Communay P-H 2002 *Héliothermique: le gisement solaire, méthodes et calculs* (Groupe de recherche et d'édition)
- [12] Sen Z 2008 *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques: Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy* (Springer Science & Business Media)
- [13] Goswami D Y 2022 *Principles of Solar Engineering* (CRC Press)
- [14] Markvart T 2000 *Solar Electricity* (John Wiley & Sons)
- [15] Lipiński W, Davidson J H, Haussener S, Klausner J F, Mehdizadeh A M, Petrasch J, Steinfeld A and Venstrom L 2013 Review of Heat Transfer Research for Solar Thermochemical Applications *Journal of Thermal Science and Engineering Applications* **5**
- [16] Fan J and Wang L 2011 Review of Heat Conduction in Nanofluids *Journal of Heat Transfer* **133**

- [17] Zhan N, Xu Y, Wang D, Zhou W and Lv H 2016 Research on the Heat Transfer Rules of Natural Convection in a Building with Single Heat Source *Procedia Engineering* **146** 75–82
- [18] Anon Energies | Free Full-Text | Performance Evaluation of Radiator and Radiant Floor Heating Systems for an Office Room Connected to a Ground-Coupled Heat Pump
- [19] Welty J, Rorrer G L and Foster D G 2020 *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer* (John Wiley & Sons)
- [20] Rietschel H 1973 *Traite de chauffage et de climatisation. Tome 1; Tome 2*
- [21] SACADURA J F 1982 *Initiation aux transferts thermiques (Technique et Documentation)*

# الفصل الثالث

العمل التجريبي و المحاكاة العددية  
للمقتر الشمسي البسيط

## III-1) المقدمة

تشكل المياه العذبة والتلوث البيئي تحديات كبيرة للتنمية المستدامة للعالم الحديث ، وعملية التقطير تحل هذه المشكلة حيث عمل الكثير من الباحثين على التقطير الشمسي وخاصة على أجهزة البسيطة من أجل تحسين كفاءتها وإنتاجيتها اليومية ، و الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة الأداء الحراري لمقطر الشمسي المقترن بلاقط الشمسي على انحفاظ الطاقة الحرارية باستغلال الضياع الحراري وعلى إنتاجية ، في هذا السياق تم إجراء دراستنا في جزأين من التجارب بشكل منفصل ( زاوية  $30^\circ$  و زاوية  $16^\circ$ ) عبر تجهيز نموذجين من أجهزة التقطير الشمسية البسيطة ذات المنحدر الواحد على مستوى مخابر التابعة لكلية علوم المادة بجامعة قسدي مرياح ورقلة.

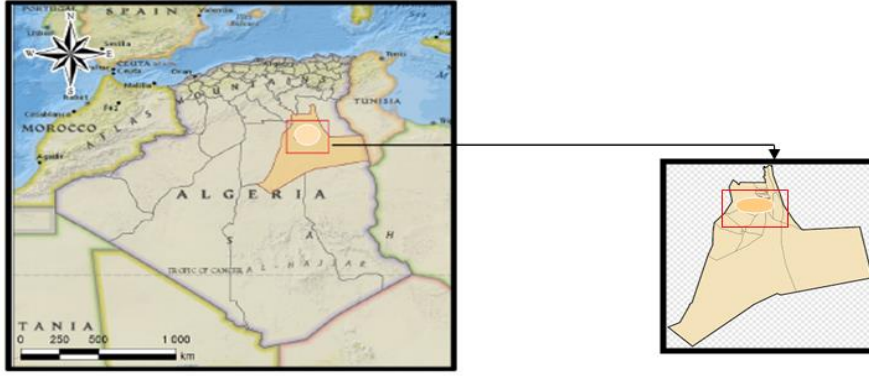
## III-2) عرض عام للمنطقة التجريبية (ورقلة)

يقع مكان تجربتنا في مدينة ورقلة إحدى الواحات الرئيسية في الصحراء الجزائرية حيث تقع في جنوب شرق الجزائر على مسافة 800 km من العاصمة، تبلغ مساحتها  $163238 \text{ km}^2$  ، إحداثياتها الجغرافية تقع عبر خط العرض  $31^\circ 57'$  شمالا و خط الطول  $5^\circ 21'$  شرقا و ارتفاع 164 m بالنسبة لمستوى سطح البحر.

تتمتع ولاية ورقلة بمناخ يشبه الصحراء مع شتاء بارد وصيف حار، و تتراوح درجة الحرارة المحيطة في هذه المنطقة بين  $5^\circ\text{C}$  و  $44^\circ\text{C}$  والرطوبة الجوية منخفضة للغاية بحيث تبلغ حوالي 25.79% في جويلية و لتصل إلى 61.07% كحد أقصى في جانفي و بمتوسط سنوي قدره 42.75% و من ناحية أخرى أيضا هطول الأمطار نادر جدا وغير منتظم ويتراوح من 20 mm إلى 60 mm.

الرياح تهب من الشمال و الأكثر شيوعا في الشتاء هي الرياح الغربية ، و بينما تهيمن الرياح الشمالية الشرقية والغربية في الربيع و في الصيف تهب من الشمال الشرقي وفي الخريف من الشمال الشرقي والجنوب الغربي و الرياح متكررة على مدار العام مع المتوسط السنوي  $3.9 \text{ m/s}$  ، و يبلغ متوسط مدة التشمس اليومية في ورقلة أكثر من

8 h/jour و يمكن أن يتجاوز قليلا 10 h/jour في الصيف، بشكل عام يبلغ متوسط المدة 3196 h/an ويولد حوالي  $2650 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$  [1].



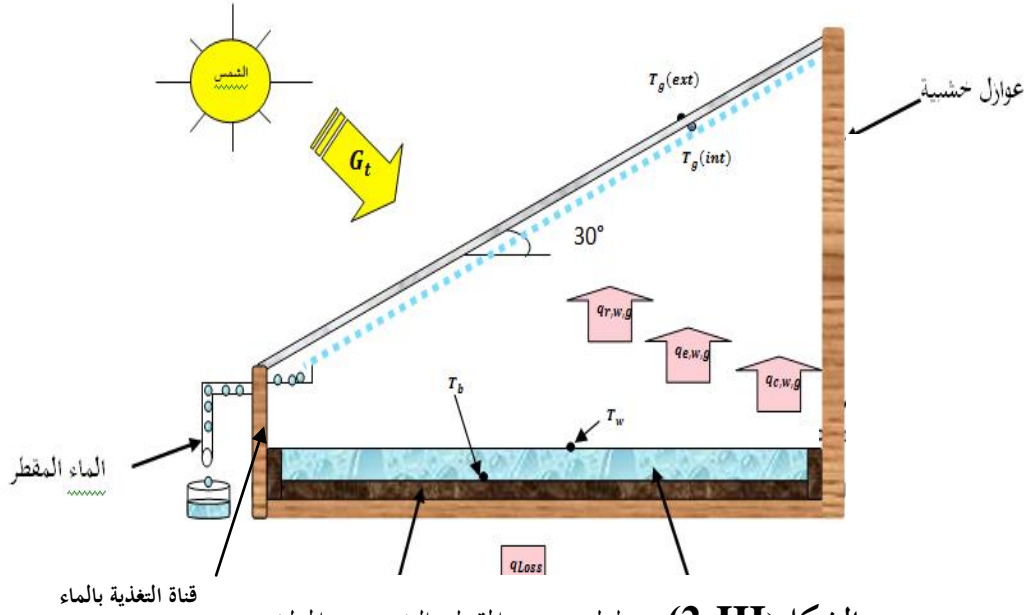
الشكل (III-1): خريطة ولاية ورقلة

### III-3) المقطر الشمسي البسيط:

المقطر الشمس التقليدي هو عبارة عن جهاز يستقبل ماء مالح و ينتج ماء نقي محكم الإغلاق ، حيث أن المقطر يتكون من حوض معزول حراريا ومغلق الأطراف وله غطاء شفاف ( غالبا من زجاج ) ، ويكون الغطاء العادة مائل لكي يسمح للبخار المتكثف عليه، و الذي يكون على شكل قطيرات 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 يطلى قعر الحوض بالطلاء الأسود غير براق ، و كذلك إحكام غلق جوانب الحوض لتقليل تسرب الهواء المشبع بالبخار من الداخل إلى الخارج ولتقليل انتقال الحرارة عبر فتحات تسرب الهواء.

و يسخن الماء في الحوض نتيجة لسقوط أشعة الشمس و ترتفع درجة حرارته إلى مستوى أعلى من درجة حرارة الغطاء الزجاجي وأعلى من درجة حرارة الهواء الموجود داخل الحوض بين سطح الماء والغطاء الزجاجي ، ونتيجة لفارق الضغط الموجود بين طبقة البخار الملامسة لسطح ماء الحوض والبخار الموجود في الهواء فإن الماء يبدأ في التبخر.

و من جانب آخر ذكرنا أن درجة حرارة الغطاء الزجاجي تكون أقل من درجة حرارة ماء الحوض ، ولذلك ما إن يلامس البخار المشبع سطح الزجاج الداخلي حتى يبدأ جزء من البخار بالتحويل إلى سائل على شكل قطرات ، وحتى يصبح ضغط البخار في الهواء المشبع مساويا للضغط عند درجة حرارة سطح الزجاج الداخلي ، يتكثف البخار على سطح الزجاج الداخلي وينزل بتأثير ثقله إلى قناة تجميع الماء المقطر [2].



الشكل (2-III): مخطط يوضح المقطر الشمسي (المؤلف)

#### 4III تصميم المقطر الشمسي

أبسط وأرخص جهاز لتحويل المياه المالحة أو الملوثة إلى مياه نقية صالحة للشرب، و تم تصميم الجهاز بالاعتماد على الدورة الهيدرولوجية في الطبيعة حيث يمر الإشعاع الشمسي عبر الغطاء الزجاجي و ويمتصه الحوض الأسود و ثم تنتقل إلى مياه المالحة في حوض التبخر الأسود ، و الشكل (2-III) يوضح ذلك .

يركز العمل التجريبي على تحسين إنتاج المقطر الشمسي من خلال استخدام الحرارة المتسربة من المقطر الموجود داخل صندوق الخشبي المرتبط بلاقط الشمسي ، بحيث اعتمد هذه الدراسة على مقطرين ، الأول شاهد ( تقليدي ) والثاني محسن ، يوضح الجدول (1-III) المواد المستعملة في صنع جهاز التقطير ( الشكل (2-III)).

جدول (1-III): تصنيف أنواع المواد المستعملة في المقطرات الشمسية

الرمز	نوعية المادة	السُمْك $e$	التوصيلية الحرارية $k$
1	طبقة من الخشب الأحمر المقاوم للماء.	$e_1 = 12 \text{ mm}$	$\lambda_1 = 0.23 \text{ W/m.K}$
2	طبقة من البوليستران العازل.	$e_2 = 40 \text{ mm}$	$\lambda_2 = 0.037 \text{ W/m.K}$
3	طبقة جالفنيزمطلية بصباغ رمادي غير براق.	$e_3 = 2 \text{ mm}$	$\lambda_3 = 20 \text{ W/m.K}$
4	طبقة ألمنيوم ذات لون براق من الجهات الجانبية الثلاث.	$e_4 = 0.01 \text{ mm}$	$\lambda_4 = 204 \text{ W/m.K}$
5	طبقة جالفنيزمطلية بصباغ أسود غير براق مقاوم للماء.	$e_5 = 2 \text{ mm}$	$\lambda_5 = 20 \text{ W/m.K}$

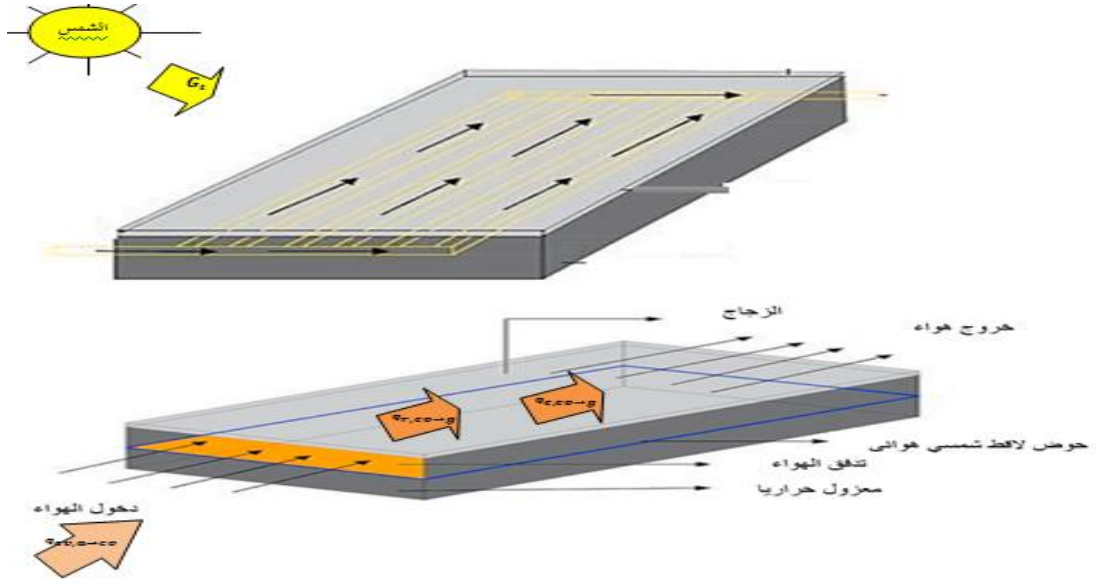
ملاحظة:

تم طلاء الحوض بطلاء باللون الأسود الغير براق له مقاومة لدرجات حرارة تصل إلى  $600^\circ\text{C}$  لزيادة الامتصاص الإشعاع الشمسي ، و كان عمق المياه هو  $0.01 \text{ m}$  ، يرتبط لاقط الشمسي بالمقطر الشمسي أحادي الميل بطريقة يمر بها الهواء الساخن من لاقط شمسي عبر دائرة الدوران الطبيعية ( مبدأ دافعة أرخميدس). و من ناحية أخرى يستلزم صب الماء المالح ببطء في الحوض للحفاظ على عمق المياه .

### 5-III تصميم لاقط الشمسي:

هو جهاز يعمل تبعا لدورة يستهلك الإشعاع الحراري و يؤدي إلى نقل حرارة  $Q_a$  حسب مبدأ دافعة أرخميدس صعود هواء الساخن إلى الأعلى نحو داخل صندوق الخشي الموجود به المقطر الشمسي ، و الذي يحافظ على ثبات في درجة حرارة بين أجزاء المقطر . مع الاستغلال الأمثل للحرارة الضائعة منه وبالاتماد على نفس المبدأ حيث ونزول هواء الأقل درجة حرارة من مغلف الخشي إلى لاقط شمسي لحمل الحرارة  $Q_a$  الناتجة من امتصاص الجيد للإشعاع الشمسي . و في دراستنا نعتد على حساب درجات الحرارة في مختلف النقاط من المقطر الشمسي ولاقط [3].





الشكل (3-III): مخطط يوضح لاقط الشمسي (المؤلف)

جدول (2-III): تصنيف أنواع المواد المستعملة في لاقط الشمسي

الرمز	نوعية المادة	السُمْك $e$	التوصيلية الحرارية $k$
1	طبقة من الخشب الأحمر المقاوم للماء.	$e_6 = 12 \text{ mm}$	$\lambda_6 = 0.23 \text{ W/m.K}$
2	طبقة من البوليستران العازل.	$e_7 = 40 \text{ mm}$	$\lambda_7 = 0.037 \text{ W/m.K}$
3	طبقة جالفنيز مطلية بصباغ أسود غير براق مقاوم للماء.	$e_8 = 2 \text{ mm}$	$\lambda_8 = 20 \text{ W/m.K}$

### III-6 العمل التجريبي:

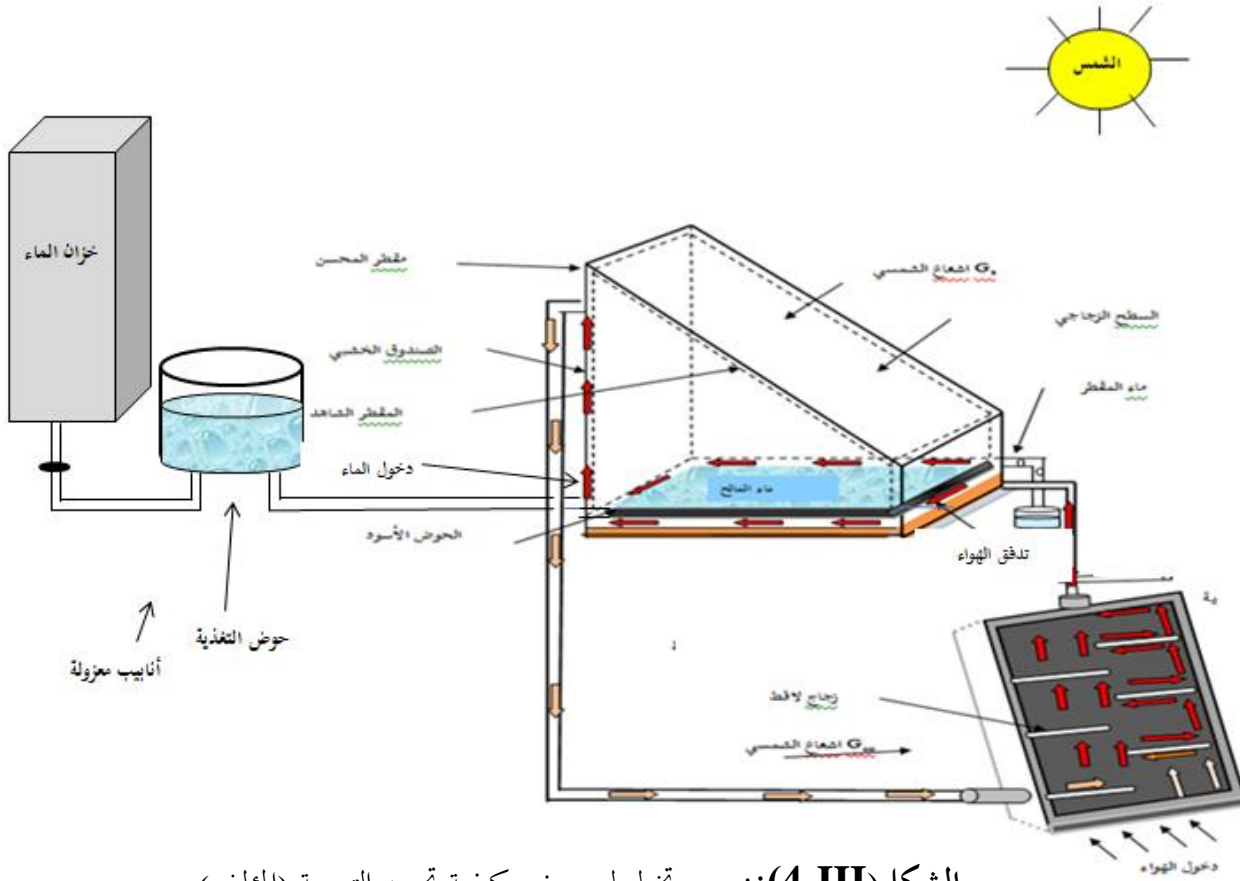
#### III-6-1 النماذج التجريبية الأولى (المقطرات الشمسية)

تم الاعتماد في إنجاز هذا العمل على مقطرين الأول عبارة عن مقطر شمسي بسيط ذو حوض وحيد المائل (1) له الأبعاد التالية:

- لون الحوض : أسود غير براق. - سمك الزجاج : (4mm).
- أبعاد الحوض : (الطول X العرض): (60cm X 40cm). - أبعاد الغطاء الزجاجي : (60m X 41m).
- زاوية المقطر  $16^\circ$ .

و الثاني وهو المقطر الشمسي المحسن له نفس أبعاد المقطر (1) لكن متواجد داخل مغلف خشبي مرتبط بلاقط شمسي هوائي له الأبعاد التالية:

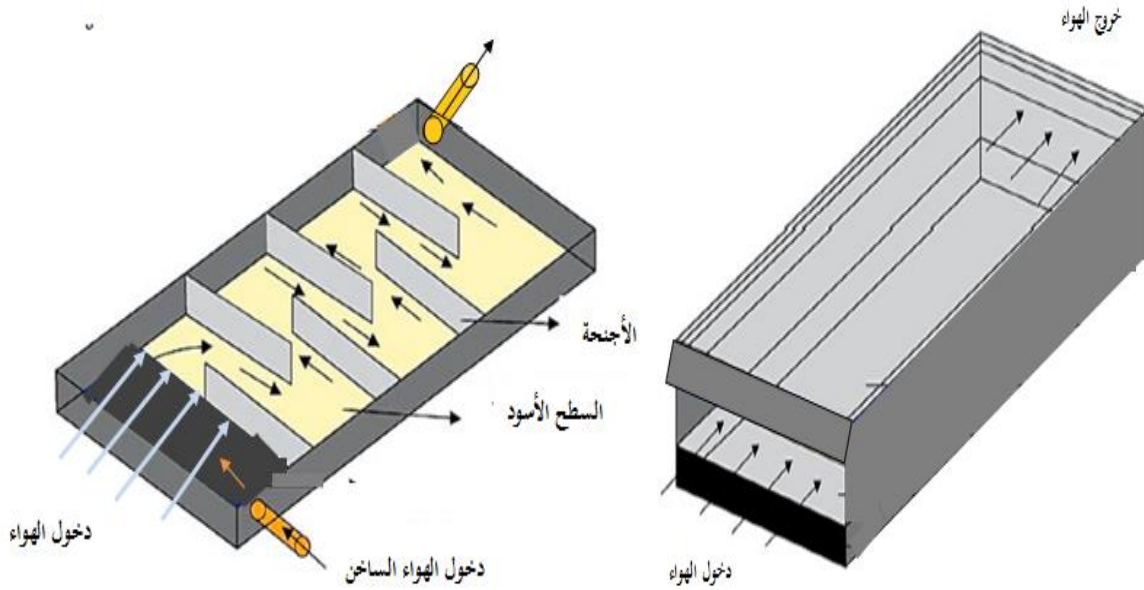
- الصندوق الخشبي: من خشب. - سمك الخشب: (12mm).
- أبعاد الصندوق الخشبي : (الطول X العرض): (54cm × 78cm).
- لون سطح : أسود غير براق. - سمك الزجاج: (4mm).
- أبعاد لاقط الشمس الهوائي: الجزء الرئيسي (الطول X العرض): (58cm × 90cm).
- و الجزء المضاف: (58cm × 20cm). - أبعاد الغطاء الزجاجي: (57cm × 78.5cm)



الشكل (III-4):: رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة (المؤلف)



الشكل (III-5): صورة فوتوغرافية توضح كيفية تجهيز التجربة



الشكل (III-6): يوضح كيفية تجهيز لاقط الشمسي (المؤلف)

### III-6-2) الأجهزة المستعملة في التجارب

- ❖ وتم إنشاء محطة أرصاد جوية تابعة للمخبر الفيزياء تقوم بجميع القياسات الخاصة بالتجارب، وكانت النتائج التجريبية تأخذ من 7:00 صباحا إلى غاية 18:00 مساء على مدى 12 ساعات من المراقبة وتدوين النتائج التجريبية كل ربع ساعة، أما قيم الماء المقطر المنتج فكانت تأخذ كل نصف ساعة ، وهذه المحطة تحتوي على الأجهزة التالية :
- ❖ جهاز قياس الإشعاع الشمسي: يتركب من جزء يوضع على الغطاء الزجاجي، وجهاز إلكتروني يحول الإشعاع إلى قراءة مباشرة على شاشة صغيرة رقمية، تعطي القيمة الحقيقية للإشعاع الساقط على الغطاء الزجاجي بـ  $W/m^2$ .
- ❖ جهاز قياس درجة الحرارة (المزدوجات الحرارية) : وهي عبارة عن زوجين من المعدن على شكل سلكين ملتحمين مع بعضهما البعض ، تربط كل مزدوجة حرارية بجهاز ميلي فولطمتر خاص بها، به شاشة رقمية يحول هذا الجهاز درجة الحرارة إلى تيار كهربائي، يقرأ على إثره قيمة درجة الحرارة في المكان الموضوعه فيه المزدوجة. ونستعمل في هذه التجارب جهاز للقياس مصنع من طرف شركة armfield يقيس فرق الكمون الناتج من المزدوجات الحرارية ، يعطينا قيم درجة الحرارة كل 15min.
- ❖ جهاز قياس درجة حرارة الجو (المحرار) : يوضع مقياس درجة حرارة الجو على ارتفاع واحد متر من سطح التربة في مكان به ظل، والجهاز متصل بالكمبيوتر.



- ❖ جهاز قياس الضغط الجوي(البارومتر): لقياس الضغط الجوي نستخدم البارومتر وهو يقيس الضغط المطلق في المنطقة التي تمت فيها التجربة و هو متصل بالكمبيوتر.
- ❖ جهاز قياس سرعة حركة الهواء الدوار: وهو مزود بمروحة تقيس السرعة حسب عدد دورات المروحة وهو متصل بالكمبيوتر.
- ❖ جهاز قياس الرطوبة الجوية : 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، وهو متصل بجهاز حاسوب . ويسمى الجهاز أيضا المرطاب.
- ❖ جهاز قياس ملوحة الماء : لقياس كمية الأملاح بالغرام لكل 1 لتر من الماء المقطر ومعرفة خواصه كالتوصيلية الكهربائية، ومقارنتها بالمعايير المعروفة للماء النقي وهي : (1,2 g/L)



جهاز قياس سرعة الرياح يدوي



محطة الأرصاد الجوية



جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي



جهاز محطة أرصاد جوية مصنع من طرف الشركة: PHYWE



جهاز متعدد القياس مصنع من طرف الشركة: armfield



جهاز قياس شدة الملوحة



جهاز قياس درجة الحرارة (المزدوجات الحرارية)

الشكل (III-7): أجهزة القياس المستعملة في التجارب

### III-6-3) الأدوات المستعملة في التجارب

- ❖ الأنابيب المدرجة: تستعمل لقياس كمية الماء في كل مدة زمنية (ساعة)، وبذلك نحسب التدفق الكتلي أو حجمي للماء وكذلك حساب كمية الماء المجموع.

- ❖ خزان التغذية بالماء المالح: وهو الخزان الذي يزود المقطر بماء المالح
- ❖ أنابيب بلاستيكية: وهي أنابيب ذات قطر 5mm إلى 10mm للتوصيل بين مختلف أجزاء المقطر ونقل الماء مهما كانت نوعيته (نقي-مالح-محلل ملح). وأيضا تستعمل في تجميع الماء المقطر



أنابيب بلاستيكية



الأنابيب المدرجة



خزان التغذية بالماء المالح



أنبوب بلاستيك المستعمل في تقنية  
قطرة قطرة لتغذية مقطر



سيلكون شفاف و أسود  
( زجاج و حوضا سود 80°C )



الصبغة المستعملة في طلاء  
600°C

الشكل (III-8): الأدوات المستعملة في التجارب

### III-7) المحاكاة العددية:

#### III-7-1) تعريف برنامج FORTRAN

هو اختصار لكلمتين إنجليزيتين (Formula Translation) وتعني ترجمة المعادلات، وهي لغة برمجة أمرية للأغراض العامة ومناسبة بشكل خاص للحسابات الرقمية والحوسبة العلمية، تُعد أولى لغات البرمجة ذات المستوى العالي ولا يزال استخدامها شائعا حتى الآن في عدة مجالات حسابية مكثفة كالتنبؤ العددي بالطقس، وتحليل العناصر المحدودة و الجيو-فيزياء... الخ، و الذي يستخدم فيه عدة طرق لحل المشكلات منها طريقة Runge-Kutta و طريقة نيوتن وطريقة شبه المنحرف [4][5].

#### III-7-2) مبدأ طريقة Runge-Kutta:

لدينا مشكلة كوشي التالية: [6][7]

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = f(T(t), t); t \in [a, b] \\ T(t_0) = T_0 \end{cases} \quad (1.III)$$

حل هذه المشكلة نستعمل طريقة Runge - Kutta الموضحة كالتالي من أجل عدة مستويات طاوية n :

$$\begin{cases} K_1 = f(t_0, T_0) \\ K_2 = f(T_0 + ha_{21}K_1, T_0 + c_2h) \\ \vdots \\ K_n = f(T_0 + h \sum_{i=1}^{n-1} a_{ni}K_i, t_0 + c_nh) \\ T = T_0 + h \sum_{i=1}^n b_iK_i \end{cases} \quad (2.III)$$

### III-7-3) تطبيق طريقة Runge-Kutta على جملة معادلات تفاضلية:

يمكن تطبيق هذه الطريقة على المقتر الشمسي البسيط كما يلي، ليكن نظام المعادلات المحاكية للتوازن الطاقوي في

المقتر البسيط: [6][7]

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = f_i(T(t), t) & t \in [t_{Ls}, t_{Cs}] \\ T(t_{Ls}) = T_a \end{cases} \quad (3.III)$$

حيث:

T: تمثل درجة الحرارة لمستويات المقتر.

f<sub>i</sub>: دالة لمتغيرين هما درجة الحرارة لمختلف أجزاء المقتر T والزمن t حيث: i= 1,2,3,4,5,6

خوارزمية Runge-Kutta من الرتبة الرابعة تكتب كالتالي:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_1^i = hf_i(t_n, T(t_n)) \\ K_2^i = hf_i(t_n + \frac{h}{2}, T(t_n) + \frac{K_1^i}{2}) \\ K_3^i = hf_i(t_n + \frac{h}{2}, T(t_n) + \frac{K_2^i}{2}) \\ K_4^i = hf_i(t_n + h, T(t_n) + K_3^i) \\ T_{vc}(t_{n+1}) = T_{gc}(t_n) + \frac{1}{6}(K_1^1 + 2K_2^1 + 2K_3^1 + K_4^1) \\ T_{bc}(t_{n+1}) = T_{bc}(t_n) + \frac{1}{6}(K_1^2 + 2K_2^2 + 2K_3^2 + K_4^2) \\ T_{moy}(t_{n+1}) = T_{moy}(t_n) + \frac{1}{6}(K_1^3 + 2K_2^3 + 2K_3^3 + K_4^3) \\ T_{v2}(t_{n+1}) = T_{g2}(t_n) + \frac{1}{6}(K_1^4 + 2K_2^4 + 2K_3^4 + K_4^4) \\ T_e(t_{n+1}) = T_w(t_n) + \frac{1}{6}(K_1^5 + 2K_2^5 + 2K_3^5 + K_4^5) \\ T_{b2}(t_{n+1}) = T_{b2}(t_n) + \frac{1}{6}(K_1^6 + 2K_2^6 + 2K_3^6 + K_4^6) \end{array} \right. \quad (4.III)$$

### III-7-4) طريقة Runge-Kutta من أجل زمن غير اختياري:

لحل مسألة حقيقية يستحسن اختيار زمن الحساب ثابت وذلك من أجل الحصول على دقة أكبر للنتائج وتقليص نسبة الارتياب ، ولتحقيق ذلك يجب معرفة الخطأ المحلي Tol (الموصى به من طرف المستخدم) ، لذلك نلجأ للطريقة الثانية ل Runge-Kutta مع  $\hat{T}(t_{n+1})$  كتقريب عددي ، ويمكن استعمال هذا الفرق كتقدير للخطأ المحلي.

الفكرة في حساب الزمن تثبت من:

$$\|T(t_{n+1}) - \hat{T}(t_{n+1})\| = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^5 \left( \frac{T_i(t_{n+1}) - \hat{T}_i(t_{n+1})}{1 + \max(|T_i(t_{n+1})|, |\hat{T}_i(t_{n+1})|)} \right)^2} \quad (5.III)$$

$$\|T(t_{n+1}) - \hat{T}(t_{n+1})\| < Tol \quad [6.III]$$

النشر التوافقي من الرتبة الرابعة للمقدار  $T(t_{n+1}) - \hat{T}(t_{n+1})$  يعطى بالشكل التالي:

$$\begin{aligned} T(t_{n+1}) - \hat{T}(t_{n+1}) &= (T(t_{n+1}) - T(t_0 + h)) + (T(t_0 + h) - \hat{T}(t_{n+1})) \\ &= 0(h^{4+1}) + 0(h^{3+1}) \approx C h^4 \end{aligned} \quad (7.III)$$



أفضل زمن  $h$  يرمز له بالرمز  $h_{opt}$ .

$$\text{Tol} = C h_{opt}^4 \quad (8.III)$$

بتعويض  $C=0.9 \sqrt{\frac{\text{Tol}}{\|T(t_{n+1}) - \hat{T}(t_{n+1})\|}}$  الذي يمثل مقدار الخطأ نحصل على:

$$h_{opt} = 0.9h^4 \sqrt{\frac{\text{Tol}}{\|T(t_{n+1}) - \hat{T}(t_{n+1})\|}} \quad (9.III)$$

### III-7-5 خوارزمية اختيار الزمن $h$ :

نختار زمن ابتدائي  $h$

نحسب المقدارين  $T(t_{n+1})$  و  $\hat{T}(t_{n+1})$  باستعمال الطريقة المتداخلة ل **Runge-Kutta** حسب المصفوفة أعلاه ، ثم نحسب الفرق  $\|T(t_{n+1}) - \hat{T}(t_{n+1})\|$ .

إذا كان الشرط  $C < \text{Tol}$  نحسب مجددا الزمن  $h$  ، في هذه الحالة نأخذ قيمة  $\text{Tol} = 10^{-4}$ .

$$\begin{cases} h_{opt} = h \times \min(5, \max(0.2, h_{opt})) \\ t = t + h \end{cases} \quad (10.III)$$

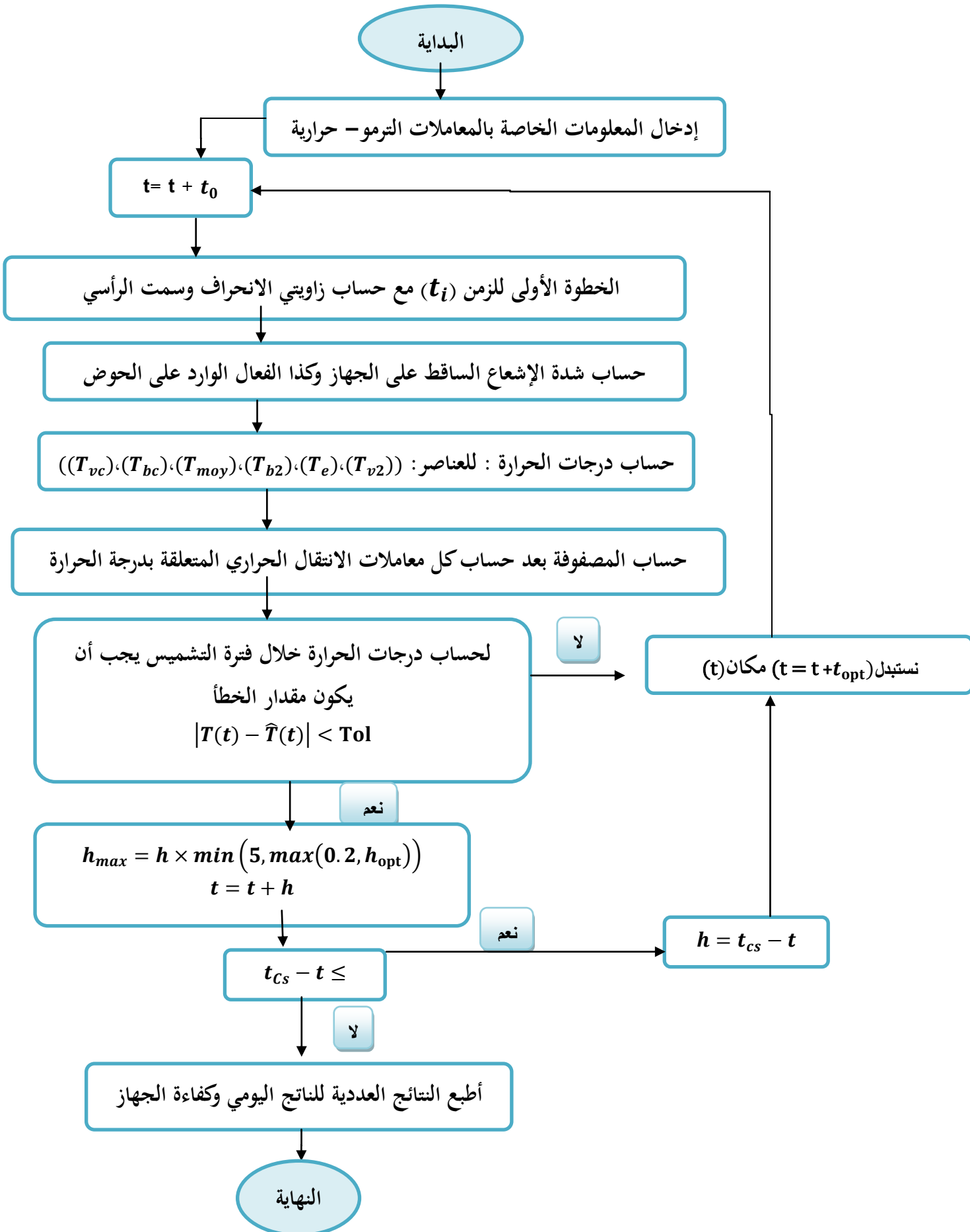
إذا كان  $h \geq t_{cs} - t$  فعليه  $h_{max} = t_{cs} - t$  نعيد الحساب من الخطوة 2 (يمثل  $t_{cs}$  زمن غروب الشمس)

وإلا نهاية الشرط 3.

إذا لم يتحقق الشرط يُلغى الزمن ويعوض ب:  $h = \min(h_{opt}, h_{max})$  ونستأنف الخطوة 2 من جديد .

نهاية الخوارزمية تلخص بمجمل خطوات البرمجة الرقمية لحساب الناتج وفعالية المقتر الشمسي المحسن في المخطط

التالي ( الشكل (9-III):



الشكل (9-III): مخطط يوضح الخوارزمية الأساسية للمقطر الشمسي المحسن

### (8-III) التوازن الحراري لمقطر الشمسي البسيط

إن العلاقات التي تربط بين انتقال الحرارة والكتلة تعطينا فكرة عن الظواهر التي تحدث في المقطر الشمسي البسيط وعن مبدأ عمله، وتأثير العوامل الداخلية و الخارجية في إنتاجه للماء المقطر، ولتفسير تلك الظواهر نستخدم المعادلات الأساسية (معادلة حفظ الكتلة و معادلة حفظ الطاقة) و القوانين النظرية لانتقال الحرارة (التوصيل الحراري، الحمل الحراري، الإشعاع الحراري) والتي بواسطتها نستطيع وضع معادلات التوازن الحراري لمستويات المقطر (الغطاء الزجاجي والماء والسطح الأسود) وذلك من خلال وضع نموذجين المقطر الأول (بدون تحسينات) و المقطر الثاني (بوجود تحسينات)، وهذه الطريقة معتمدة في الدراسة التجريبية.

#### (1-8-III) التدفقات الحرارية في المقطر الشمسي البسيط

##### (1-1-8-III) التدفقات الحرارية الخارجية

- ✓  $G_t$ : شدة الإشعاع الشمسي الحراري الساقط على السطح المائل لغطاء المقطر (زجاج مائل بزاوية  $\theta$ ) مأخوذ ب  $\frac{W}{m^2}$ . وفي معظم المراجع يسمى الإشعاع المباشر الناظمي على السطح المائل بزاوية  $\theta$ .
- ✓  $\rho_g G_t$ : مقدار الإشعاع الحراري المنعكس بفعل السطح الخارجي للغطاء، بحيث يساوي الإشعاع الساقط مضروب في معامل الانعكاسية  $\rho_g$ . للغطاء.
- ✓ التدفقات الحرارية الضائعة من المقطر بين الغطاء الزجاجي والهواء بالحمل، أما بلاشعاع بين الغطاء الزجاجي والقبة السماوية تعطى حسب [8][9] بالعلاقات التالية:

$$Q_{r,g-a} = \varepsilon_g \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_{sky}^4) = 0,9 \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_{sky}^4) \quad (10. III)$$

حيث:  $\varepsilon_g \cong 0,9$  معامل الانبعاث الإشعاعي للسطح الخارجي للغطاء.

$T_{sky}$  درجة الحرارة الفعلية للقبة السماوية تعطى بالعلاقة التالية [10]:

$$T_{sky} = T_a - 6 \quad (11. III)$$

$$Q_{c,g-a} = h_{c,g-a} \cdot (T_g - T_a) \quad (12. III)$$

حيث:  $h_{c,g-a}$  معامل الانتقال الحراري بالحمل بين الغطاء الزجاجي والهواء يعطى حسب [8] بالعلاقة التالية:

$$h_{c,g-a} = 2,8 + 3 \cdot V \quad \text{عندما } V \leq 5 \text{ m/s}$$

(13. III)

$$h_{c,g-a} = 6,15 \cdot (V)^{0,8} \quad V > 5 \text{ m/s} \quad \text{عندما}$$

حيث

$V$ : تمثل سرعة الرياح

### III-3-1-2) التدفقات الحرارية الداخلية

✓  $Q_{r,w-g}$ : التدفق الحراري بالإشعاع بين الماء المالح  $w$  والجدار الداخلي للغطاء  $g$  ويعطى حسب [11]:

$$Q_{r,w-g} = \varepsilon_w \cdot \sigma (T_w^4 - T_g^4) = 0,9 \cdot \sigma (T_w^4 - T_g^4) \quad (14. III)$$

حيث  $\varepsilon_w$ : معامل الانبعاث الإشعاعي للماء له قيمة تقريبية.  $\varepsilon_w \cong 0,9$

✓  $Q_{c,w-g}$ : التدفق الحراري بالحمل بين الماء المالح والجدار الداخلي للغطاء ويعطى حسب [11] بالعلاقة:

$$Q_{c,w-g} = h_{c,w-g} (T_w - T_g) \quad (15. III)$$

حيث  $h_{c,w-g}$  معامل الحمل الحراري بين الماء والغطاء الزجاجي ويعطى حسب [10] بالعلاقة:

$$h_{c,w-g} = 0,884 \left[ (T_w - T_g) + \frac{(P_w - P_g)(T_w + 273,15)}{268,9 \cdot 10^3 - P_w} \right]^{1/3} \quad (16. III)$$

$P_w$  و  $P_g$ .. ضغط البخار عند الماء والغطاء الزجاجي على الترتيب ويعطى حسب [12] بالعلاقة :

$$P(T) = \exp \left( 25,317 - \frac{5144}{T + 273,15} \right) \quad (17. III)$$

✓  $Q_{ev,w-g}$  الحرارة بالتبخير بين الماء والغطاء الزجاجي وتعطى حسب [11][13] بالعلاقة :

$$Q_{ev,w-g} = h_{ev,w-g} (T_w - T_g) \quad (18. III)$$

حيث  $h_{ev,w-g}$  معامل الانتقال الحراري بالتبخير بين الماء والغطاء الزجاجي ويعطى حسب [11][13] بالعلاقة

$$h_{ev,w-g} = 16,273 \cdot 10^{-3} h_{c,w-g} \frac{p_w - p_g}{T_w - T_g} \quad (19. III)$$

✓  $Q_{c,b-w}$  التدفق الحراري بالحمل بين الماء المالح وبطانة الحوض ويعطى حسب [9] بالعلاقة:

$$Q_{c,b-w} = h_{c,b-w} \cdot (T_b - T_w) \quad (20. III)$$

حيث  $h_{c,b-w}$  معامل الحمل الحراري بين الماء وبطانة الحوض ويعطى حسب [10] بالعلاقة :

$$h_{c,b-w} = 0,54 \cdot \frac{K_w \cdot Ra_w^{1/4}}{L_w} \text{ عندما } Ra = 10^4 - 10^7 \quad (21. III)$$

$$h_{c,b-w} = 0,15 \cdot \frac{k_w \cdot Ra_w^{1/4}}{L_w} \text{ عندما } Ra = 10^7 - 10^{11}$$

حيث  $Ra$ : رقم رايلي

$$\rho_g (1 - \alpha_g)(1 - \rho_g) G_t \quad \checkmark$$

الانعكاسية الإشعاعية للغطاء الزجاجي  $g$  وهي مقادير لها قيم صغيرة، حيث الزجاج يعتبر جسم شفاف يتميز

$$\tau_g = (1 - \alpha_g - \rho_g) \cong 0.9 \text{ بإمرارية كبيرة}$$

✓ ويستقبل هذا التدفق من طرف الماء ذو الامتصاصية الإشعاعية  $\alpha_w$ ، والانعكاسية الإشعاعية  $\rho_w$ . وينتج لنا

مقدارين مقدار منعكس من طرف الماء يساوي  $\rho_w (1 - \alpha_g)(1 - \rho_g) G_t$ ، ومقدار ممتص له العلاقة التالية

$$\alpha_w (1 - \rho_w)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_g) G_t$$

✓ ويتم مرور المقدار الإشعاعي  $(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_g) G_t$  عبر الماء .

✓  $\alpha_b (1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_g) G_t$  إشعاع الممتص من طرف السطح الأسود.

✓  $Q_{loss1}$ : التدفق الحراري الضائع عبر السطح الأسود والعوازل على الترتيب يعطى حسب

[9][13] بالعلاقات:

$$Q_{loss1} = U_{b1} (T_b - T_a) \quad (22. III)$$

حيث معامل الضياع  $U_{b1}$

$$U_{b1} = \left( \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \frac{1}{h_i} \right)^{-1} \quad (23. III)$$

$$Q_{loss2} = U_{b2} (T_b - T_a) \quad (24. III)$$

حيث معامل الضياع  $U_{b2}$

$$U_{b2} = \left( \frac{e_4}{\lambda_4} + \frac{e_5}{\lambda_5} + \frac{1}{h_i} \right)^{-1} \quad (25. III)$$

### III-9) التوازن الحراري على مستويات أجزاء المقطر [14]

#### III-9-1) معادلات حفظ الطاقة للمقطر (1) لكل مستوياته:

##### III-9-1-1) معادلة حفظ الطاقة حول الغطاء الزجاجي $g$

على مستوي الغطاء  $g$  (درجة حرارته  $T_g$ ) التبادلات الطاقوية متمثلة في :

يتمتع من الإشعاع الشمسي الوارد له من الشمس المقدار التالي  $G_t \cdot \alpha_g \cdot (1 - \rho_g)$

يأخذ الغطاء عن الماء المالح المقدار التالي من الحرارة  $Q_{c,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{ev,w-g}$ :

يفقد الحرارة على شكل إشعاع وحمل إلى الجو المحيط به بالمقدار التالي:  $Q_{c,g-a} + Q_{r,g-a}$

ومنه معادلة التوازن الحراري [15] هي:

$$m_g C_g \frac{dT_g}{dt} = (1 - \rho_g) \alpha_g G_t + (Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g}) - Q_{r,g-a} - Q_{c,g-a} \quad (26. III)$$

بحيث:  $C_g$  الحرارة النوعية للغطاء  $K$ ,  $[C_g]_{SI} = J/Kg \cdot K$ ,  $m_g$  الكتلة السطحية للزجاج  $kg/m^2$ ,  $[m_g]_{SI} = kg/m^2$ .

##### III-9-1-2) معادلة حفظ الطاقة حول الماء $w$

على مستوى سطح الماء  $w$  (درجة حرارته  $T_w$ ) التبادلات الطاقوية متمثلة في :

يتمتع الماء المالح  $w$  بالإشعاع المقدّر بـ  $G_t \cdot (1 - \rho_g) \cdot (1 - \alpha_g) \cdot \alpha_w$ .

يتمتع كذلك من السطح الأسود  $b$  مقدار من الحرارة بالحمل  $Q_{c,b-w}$ .

يفقد حرارة بالحمل والإشعاع والتبخير  $(Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g})$  إلى الجدار الداخلي للغطاء الزجاجي.

ومنهم معادلة التوازن الحراري [15] هي:

$$m_w C_w \frac{dT_w}{dt} = (1 - \rho_g) (1 - \alpha_g) (1 - \rho_w) \alpha_w G_t - (Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g}) + Q_{c,b-w} \quad (27. III)$$

حيث  $A_g$  و  $A_w$  مساحة الزجاج والماء على التوالي  $(m^2)$   $[A_g]_{SI} = [A_w]_{SI} = m^2$

##### III-9-1-3) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود $b$

على مستوى السطح الأسود b (درجة حرارته  $T_b$ ) التبادلات الطاقوية متمثلة في :  
 يمتص السطح الأسود b الإشعاع المقدر ب:  $\alpha_b(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_g)G_t$  ،  
 ويفقد حرارة بالحمل إلى الماء بالمقدار  $Q_{c,b-w}$  وتضيع حرارة عبر العوازل بالمقدار  $Q_{lose1}$  ..  
 وتكون معادلة التوازن الحراري بالشكل [15] التالي:

$$m_b C_b \frac{dT_b}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)\alpha_b G_t - Q_{c,b-w} - Q_{loss1} \quad (28. III)$$

### III-9-2) معادلات حفظ الطاقة لمستويات المقطر (2) لكل مستوياته::

#### III-9-2-1) الإجراءات المتبعة:

تحويل على تجربة واحدة و يتم ربط لا قط شمسي هوائي بمقطر الشمسي الذي بدوره متواجد داخل صندوق خشبي  
 علما أن زاوية المقطر في هذه التجربة هو  $\beta = 30^\circ$

**الملاحظة:** تشترك المقطر (1) و المقطر (2) في معادلة حفظ الطاقة حول الزجاج و حول الماء وتختلف في معادلة  
 حفظ الطاقة حول السطح الأسود للمقطر (2) ، حيث الحرارة الضائعة في حالة المقطر (1) لا تستغل، وبما في  
 المقطر (2) تستغل بشكل جيد .

#### III-9-2-4-1) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود b

على مستوى السطح الأسود b (درجة حرارته  $T_{b2}$ ) التبادلات الطاقوية متمثلة في :  
 يمتص السطح الأسود b الإشعاع المقدر ب:  $\alpha_b(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_g)G_t$  ،  
 ومن جهة أخرى يفقد الحرارة على شكل إشعاع و حمل إلى الجو المحيط به بالمقدار التالي :

$$Q_{loss-b_2} = Q_{c,b2-a} + Q_{r,b2-a}$$

ويفقد كذلك الحرارة المأخوذة من طرف الماء بالمقدار التالي:  $Q_{c,b-w}$

إذ معادلة التوازن الحراري تكتب على الشكل [15] التالي:

$$m_b C_b \frac{dT_b}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)\alpha_b G_t - Q_{c,b-w} - Q_{loss-b_2} \quad [29. III]$$

بحيث:  $C_b$  الحرارة النوعية للغطاء  $[C_b]_{SI} = J/Kg.K$  ،  $m_b$  الكتلة السطحية للزجاج  $[m_b]_{SI} = Kg/m^2$

### III-5) التوازن الحراري على مستويات لاقط الشمسي [14]

في الحالة البسيطة يتركب لاقط الشمسي من ثلاث مستويات :

- ✓ المستوى الأول: الغطاء (زجاج أو بلاستيك).
- ✓ المستوى الثاني: هو الهواء ناقل لحرارة.
- ✓ المستوى الثالث: هو السطح الأسود (ذو اللون الأسود) والمصاص للإشعاع الحراري .

#### III-5-1) معادلات حفظ الطاقة لاقط شمسي هوائي لكل مستوياته:

##### III-5-1-1) معادلة حفظ الطاقة حول الغطاء الزجاجي $gc$

على مستوى الغطاء  $g$  (درجة حرارته  $T_g$ ) التبادلات الطاقوية متمثلة في :

يتمص من الإشعاع الشمسي الوارد له من الشمس المقدار التالي:  $(1 - \rho_g) \cdot \alpha_g \cdot G_t$

يأخذ الغطاء عن الهواء المقدار التالي من الحرارة:  $Q_{ev,a-g} + Q_{r,a-g} + Q_{c,a-g}$

يفقد الحرارة على شكل إشعاع و حمل إلى الجو المحيط به بالمقدار التالي :  $Q_{c,g-a} + Q_{r,g-a}$

ومنه معادلة التوازن الحراري [15] هي:

$$m_g C_g \frac{dT_g}{dt} = (1 - \rho_g) \alpha_g G_t + (Q_{r,a_{in}-g} + Q_{c,a_{in}-g}) - Q_{r,g-a} - Q_{c,g-a} \quad (30. III)$$

بحيث:  $C_g$  الحرارة النوعية للغطاء  $K$ ،  $[C_g]_{SI} = J/Kg \cdot K$ ،  $m_g$  الكتلة السطحية للزجاج  $kg/m^2$ ،  $[m_g]_{SI} = Kg/m^2$ .

##### III-5-1-2) معادلة حفظ الطاقة حول الهواء (الهواء الداخلي) $a_{in}$

على مستوى سطح الهواء  $a$  (درجة حرارته  $T_a$ ) التبادلات الطاقوية متمثلة في :

يتمص الماء الهواء  $a_{in}$  الإشعاع المقدر بـ  $\alpha_a (1 - \rho_a) (1 - \alpha_g) (1 - \rho_g) G_t$

يتمص كذلك من السطح الأسود  $b$  مقدار من الحرارة بالحمل  $Q_{c,b-a}$ .

يفقد حرارة بالحمل والإشعاع  $(Q_{r,a_{in}-g} + Q_{c,a_{in}-g})$  إلى الجدار الداخلي للغطاء الزجاجي.

ومنه معادلة التوازن الحراري [15] هي:



$$m_{a_{in}} C_{a_{in}} \frac{dT_{a_{in}}}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_{a_{in}}) \alpha_{a_{in}} G_t - (Q_{r,a_{in}-g} + Q_{c,a_{in}-g}) + Q_{c,b-a_{in}} \quad (31. III)$$

### III-5-1-3) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود bc

على مستوى السطح الأسود b (درجة حرارته  $T_b$ ) التبادلات الطاقوية متمثلة في :

يمتص السطح الأسود b الإشعاع المقدر بـ:  $\alpha_{bc}(1 - \alpha_{a_{in}})(1 - \rho_{a_{in}})(1 - \alpha_g)(1 - \rho_g)G_t$  ،

ويفقد حرارة بالحمل إلى الماء بالمقدار  $Q_{c,b-a_{in}}$  و يكتسب حرارة من هواء متدفق من خارج نحو داخل لاقط

الشمسي  $Q_a$

$$Q_a = C_p m (T_b - T_a)$$

وتكون معادلة التوازن الحراري بالشكل [15] التالي:

$$m_{bc} C_{bc} \frac{dT_b}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_{a_{in}})(1 - \rho_{a_{in}}) \alpha_{bc} G_t - Q_{c,bc-a_{in}} + Q_a \quad (32. III)$$

### III-5) الخاتمة

تطرقنا في هذا الفصل الي العمل التجريبي من الأجهزة و الأدوات المستعملة وشرح وتوضيح طريقة تصميم كل من المقطر الشمسي الشاهد والمحسن والاقط الشمسي و المواد الاساسية في تركيبهم ، اما بالنسبة لمحاكاة العددية تم شرح البرنامج المختار و الطريقة المستعملة و المعادلات الأساسية لتوازن الحراري لمستويات كل من المقطر الشمسي ا المتمثل في الشاهد والمحسن والاقط الشمسي .

## المراجع :

- [1] Bechki D, Bouguettaia H, Blanco-Galvez J, Babay S, Bouchekima B, Boughali S and Mahcene H 2010 Effect of partial intermittent shading on the performance of a simple basin solar still in south Algeria *Desalination***260** 65–9
- [2] Dormand J R and Prince P J 1980 A family of embedded Runge-Kutta formulae *Journal of Computational and Applied Mathematics***6** 19–26
- [3] Oztop H F, Bayrak F and Hepbasli A 2013 Energetic and exergetic aspects of solar air heating (solar collector) systems *Renewable and Sustainable Energy Reviews***21** 59–83
- [4] Duffie J A and Beckman W A 2013 *Solar Engineering of Thermal Processes* (John Wiley & Sons)
- [5] Butcher J C 1996 A history of Runge-Kutta methods *Applied Numerical Mathematics***20** 247–60
- [6] Hu J, Wu L, Wang Y, Zhang W and Hu Y 2021 Dynamic modeling and simulation of the multi-effect-distillation desalination process *DWT***217** 31–41
- [7] Anon Dynamic simulation of a batch extractive distillation process - ScienceDirect
- [8] BERNARD R, G M and M S 1979 *LE RAYONNEMENT SOLAIRE: CONVERSION THERMIQUE ET APPLICATIONS*
- [9] Anon Performance analysis in stepped solar still for effluent desalination - ScienceDirect
- [10] Zurigat Y H and Abu-Arabi M K 2004 Modelling and performance analysis of a regenerative solar desalination unit *Applied Thermal Engineering***24** 1061–72
- [11] Anon Single basin double slope solar still with minimum basin depth and energy storing materials - ScienceDirect
- [12] Velmurugan V, Kumaran S S, Prabhu N V and Srithar K 2008 Productivity enhancement of stepped solar still: Performance analysis *Thermal Science***12** 153–63
- [13] Dev R and Tiwari G N 2009 Characteristic equation of a passive solar still *Desalination***245** 246–65
- [14] Velmurugan V, Pandiarajan S, Guruparan P, Subramanian L H, Prabakaran C D and Srithar K 2009 Integrated performance of stepped and single basin solar stills with mini solar pond *Desalination***249** 902–9
- [15] Anon Theoretical and experimental investigation on double basin double slope solar still - ScienceDirect

# الفصل الرابع

تحليل و مناقشة النتائج

## 1-IV) مقدمة

تم التطرق في الفصول السابقة إلى الدراسة النظرية لمقطر الشمسي البسيط احادي الميل و الاشعاع الشمسي و الظواهر الفيزيائية الأساسية في التقطير الشمسي و المحاكاة العددية و العمل التجريبي أما في هذا الفصل سنتطرق إلى أهم النتائج المتحصل عليها من اجل تحسين أداء المقطر الشمسي باستعمال لاقط الشمسي ، و تمت التجارب في مخابر الطاقات المتجددة للمناطق الصحراوية (LENREZAS)- قسم الفيزياء بكلية الرياضيات وعلوم المادة بجامعة ورقلة (الجنوب الشرقي)، و تم اجراء هذه التجارب على مدى السنوات من 2020 إلى 2022 .

## 2-IV) التجارب:

في كل التجارب لدينا مقطرين نسمي المقطر الأول بالمقطر (1) وهو مقطر بدون أي تحسينات أو إضافات ودوره في التجارب كشاهد ولكي نقارن به من حيث إنتاجية الماء المقطر و درجات الحرارة و نسمي المقطر الثاني بالمقطر (2) وهو مقطر الذي به تحسينات و إضافات الهدف منها زيادة مردود المقطر الشمسي البسيط من حيث الإنتاج اليومي للماء المقطر .

### 1-2-IV) التجربة: مقارنة بين مقطرين شمسين الشاهد والمحسن (العمل التجريبي)

**1-1-2-IV) وصف التجربة:**لدينا في هذه التجربة مقطرين (1) و(2) حيث ويتم فيها ربط لاقط الشمسي الهوائي بمقطر المتواجد داخل الصندوق الخشبي، وتمت التجربة على النموذجين على مدى 4 أيام كاملة ( 07 جويلية 2020 و 08 و 09 و 10 فيفري 2021 ) للمقارنة بين المقطرين، والظروف الجوية التي سادت هذه الأيام ظروف مختلفة، وتم ضبط أجهزة القياس لقياس المتغيرات والثوابت المأخوذة بعين الاعتبار في التأثير المباشر وغير المباشر في كمية الماء المقطر والتدفقات الحرارية الداخلية والخارجية والضائعة بالنسبة لكل نموذج، ثم دونت هذه النتائج في الجدول Excel وتم رسم المنحنيات الموضحة أدناه ببرنامج Origin08.

### 2-1-2-IV) النماذج الأولية للأجهزة التجريبية

تم الاعتماد في إنجاز هذا العمل على مقطرين الأول عبارة عن مقطر شمسي بسيط ذو حوض وحيد الميل (1) له الأبعاد التالية:

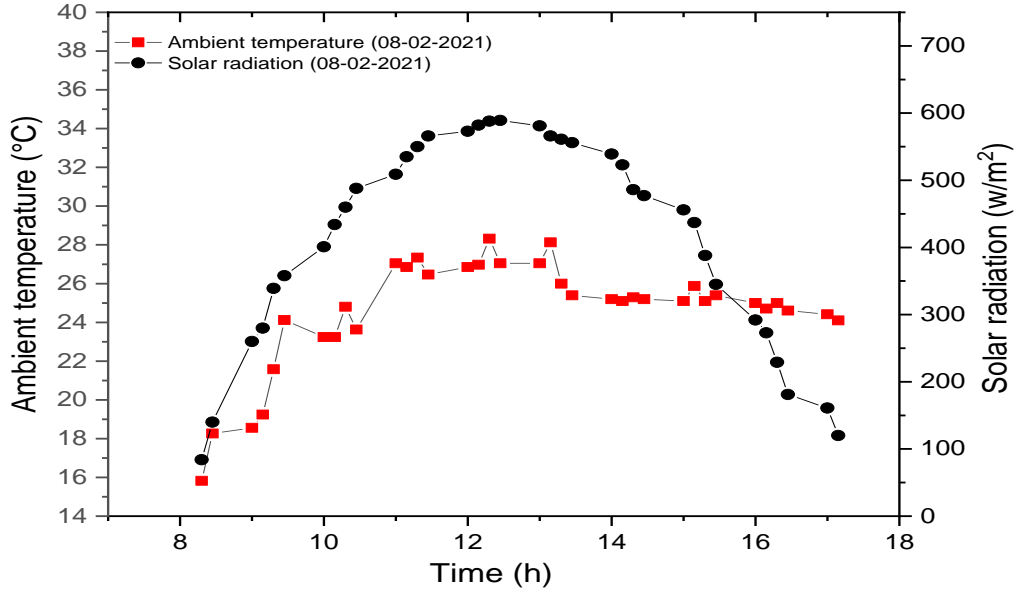
- لون الحوض : أسود غير براق. -سمك الزجاج : (4mm).

- أبعاد الحوض : (الطول X العرض): (60cm × 40cm). - أبعاد الغطاء الزجاجي : (60m × 41m).
  - زاوية المقطر ° 16.
  - و الثاني وهو المقطر الشمسي المحسن له نفس أبعاد المقطر (1) لكن متواجد داخل مغلف خشبي مرتبط بلاقط شمسي هوائي له الأبعاد التالية:
  - الصندوق الخشبي: من خشب - سمك الخشب: (12mm).
  - أبعاد الصندوق الخشبي : (الطول X العرض): (54cm × 78cm).
  - لون سطح : أسود غير براق. - سمك الزجاج : (4mm).
  - أبعاد لاقط الشمس الهوائي: الجزء الرئيسي (الطول X العرض): (58cm × 90cm).
  - و الجزء المضاف: (58cm × 20cm). - أبعاد الغطاء الزجاجي : (57cm × 78.5cm)
- IV-3-1-2) الظروف الجوية الخاصة بالأيام الذي تمت فيه التجربة**
- الإشعاع الشمس الكلي: كان في المجال، من  $589 W/m^2$  إلى  $840 W/m^2$ .
  - حركة الهواء: من  $0 m/s$  إلى  $1.6 m/s$  ، حركة الهواء منعقدة تقريبا.
  - الضغط الجوي: إن الضغط الجوي كان أقل من  $1atm$  بقليل وذلك لأن منطقة ورقلة مرتفعة عن سطح البحر بـ 140 متر.
  - الرطوبة الجوية النسبية: كان الجو جافا، بحيث أن قيمة الرطوبة النسبية للهواء في المجال من 13% إلى 52%.
  - درجة الحرارة الجوية: تتراوح قيمتها  $28^{\circ}C$  إلى  $42^{\circ}C$ .
- ملاحظة :
- تم اختيار أيام التجربة على أساس أيام الجيدة من ناحية كل من الإشعاع الشمسي و الانتاجية اليومية خلال القيام بالعمل التجريبي من 2020 إلى غاية 2022 .

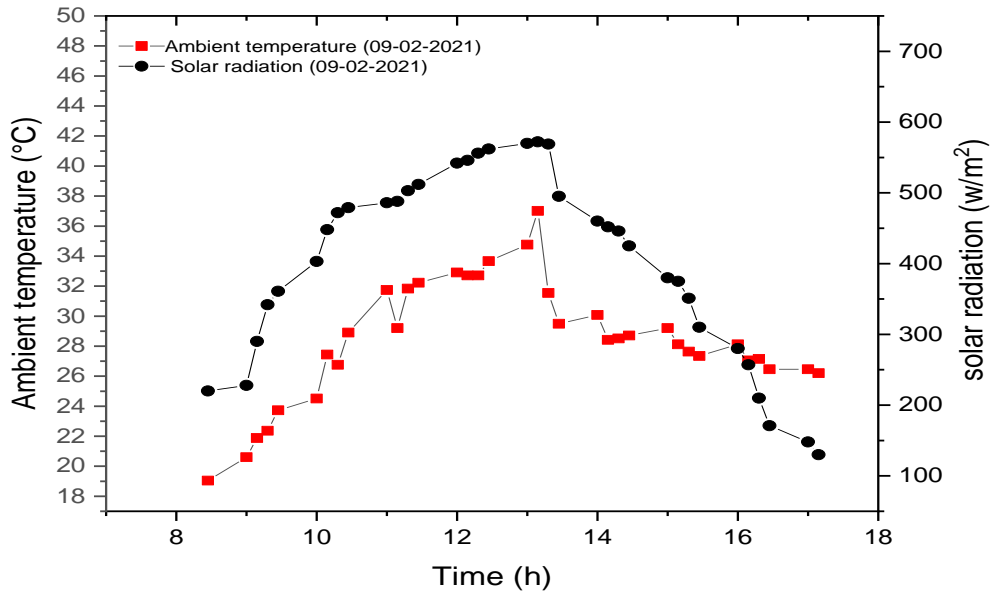
4-1-2-IV المنحنيات التجريبية لتجربة

1-4-1-2-IV مقارنة الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة المحيطة

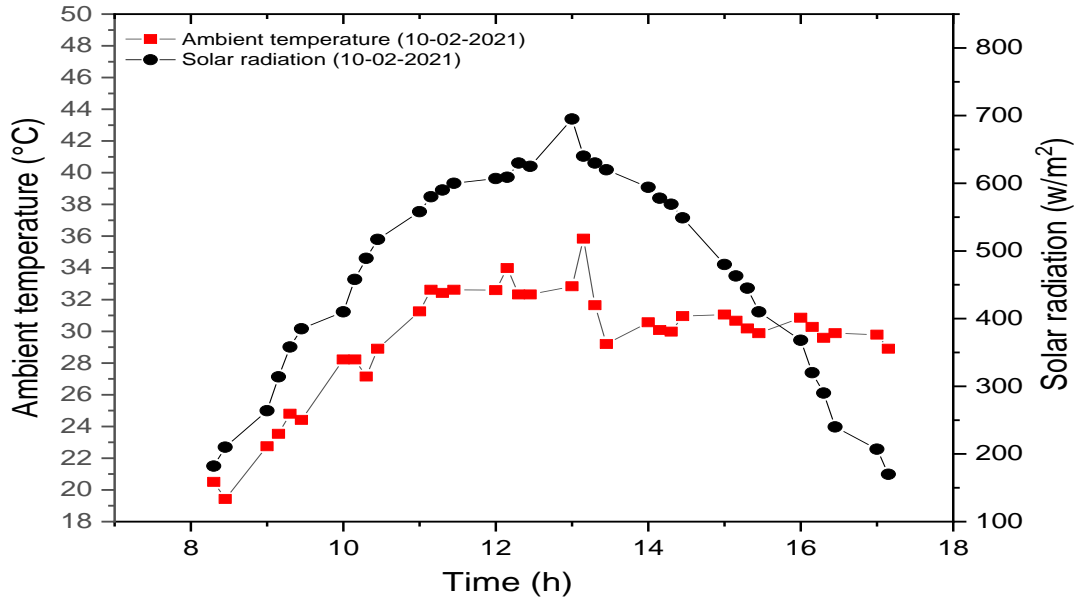
رسم منحنيات توضح الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة المحيطية بدلالة الزمن.



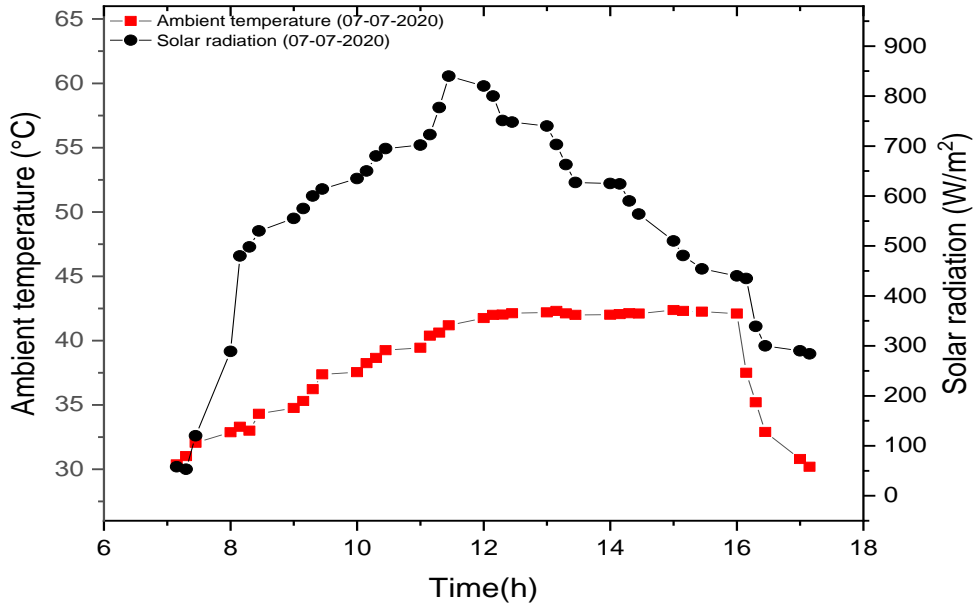
الشكل (1-IV): تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة المحيطية بدلالة الزمن ليوم 08 فيفري 2021



الشكل (2-IV): تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة المحيطية بدلالة الزمن ليوم 09 فيفري 2021



الشكل (3-IV): تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة المحيطية بدلالة الزمن ليوم 10 فيفري 2021



الشكل (4-IV): تغيرات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة محيطية بدلالة الزمن ليوم 07 جويلية 2020

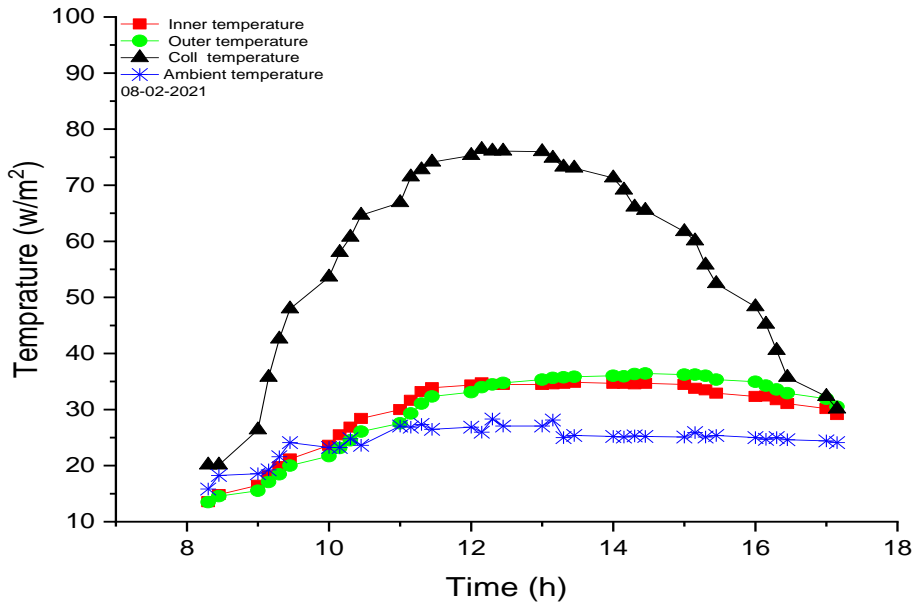
تحليل المنحنيات الشكل (1-IV) و (2-IV) و (3-IV) و (4-IV):

نلاحظ في منحنيات الأربعة أنها تمثل كل من الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة المحيطة بمرور الزمن إلى أن يبلغا الذروة خلال الفترة من الساعة (12h:00min) إلى الساعة (14h:00min) خلال الأيام 07 جويلية 2020 و 08 و 09 و 10 فيفري 2021 ، بحيث نلاحظ أن في يوم 07 جويلية درجة الحرارة المحيطة  $42.38^{\circ}\text{C}$  و الإشعاع الشمسي  $840\text{ W/m}^2$  ، بنما في 08 فيفري كانت درجة الحرارة المحيطة  $28.3^{\circ}\text{C}$  و الإشعاع الشمسي  $589\text{ W/m}^2$  و في يوم 09 فيفري هي  $37^{\circ}\text{C}$  و الإشعاع الشمسي  $572\text{ W/m}^2$  و كانت درجة الحرارة المحيطة في 10 فيفري  $35.8^{\circ}\text{C}$  درجة مئوية و الإشعاع الشمسي  $695\text{ W/m}^2$  [1].

وبعد المقارنة بين النتائج التجريبية خلال أيام التجربة من حيث الإشعاع الشمسي والظروف الجوية السائدة كان يوم 10 فيفري الأحسن في الإشعاع الشمسي.

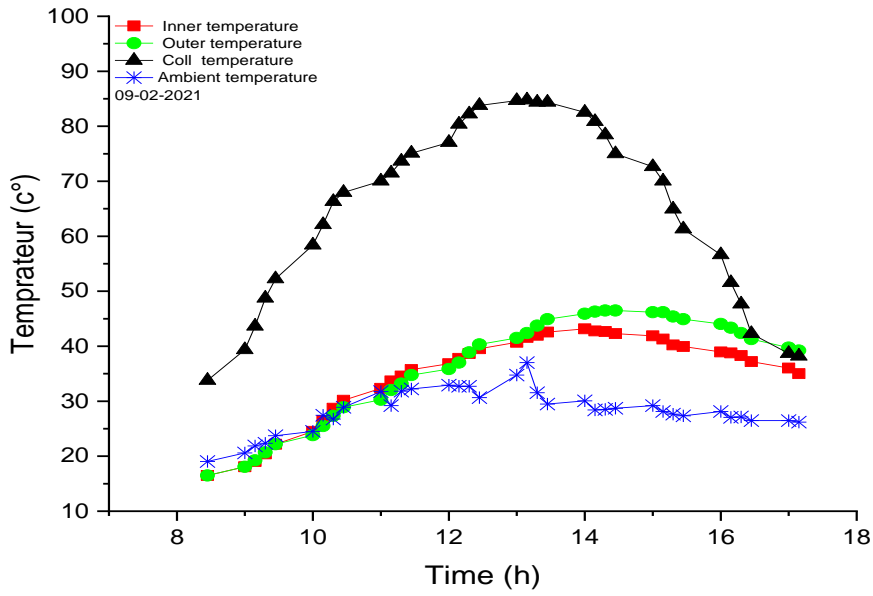
**2-4-1-2-IV) مقارنة درجات الحرارة بين مدخل ومخرج الصندوق الخشبي مع لاقط الشمسي بدلالة الزمن:**

رسم منحنيات توضح درجات الحرارة مدخل ومخرج الصندوق الخشبي و لاقط الشمسي بدلالة الزمن.

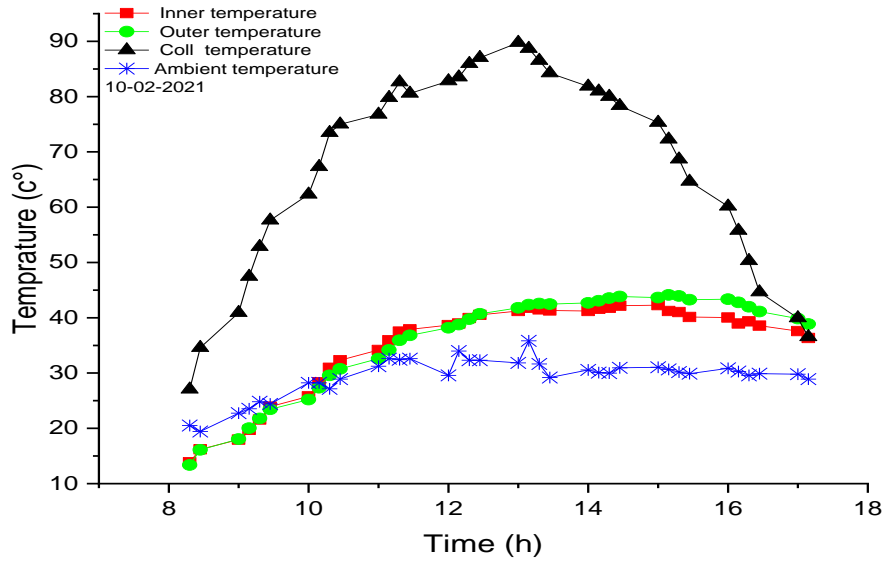


الشكل (5-IV): تغيرات درجات الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 08 فيفري 2021

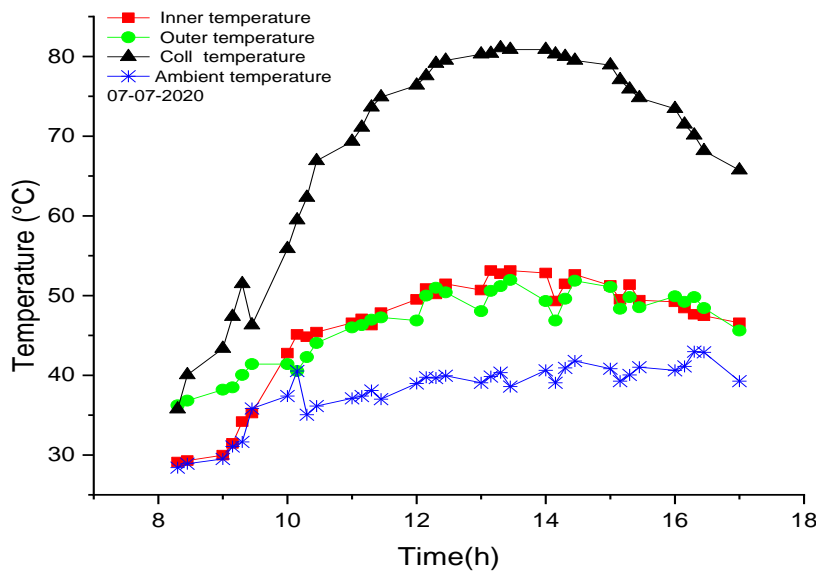




الشكل (6-IV):تغيرات درجات الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 09 فيفري 2021



الشكل (7-IV):تغيرات درجات الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 10 فيفري 2021



الشكل (8-IV): تغيرات درجات الحرارة للمقطر 2 بدلالة الزمن ليوم 07 جويلية 2020

تحليل منحنيات الشكل (5- IV) و (6- IV) و (7- IV) و (8- IV):

تمثل منحنيات درجة الحرارة المحيطة ودرجة الحرارة المدخل والمخرج لمقطر (2) ( الصندوق الخشي ) ودرجة حرارة لاقط الشمسي هوائي لشهر جويلية 2020 و فيفري 2021 ، حيث درجة الحرارة لاقط الشمسي  $85.90^{\circ}\text{C}$  و درجة حرارة المدخل  $53.93^{\circ}\text{C}$  و درجة حرارة المخرج  $56.85^{\circ}\text{C}$  لشهر جويلية ، بنما في شهر فيفري تتراوح درجة لاقط الشمسي ما بين  $89.7^{\circ}\text{C}$ - $76.4^{\circ}\text{C}$  و تتراوح درجات الحرارة المدخل والمخرج للمقطر (2) بالتساوي بين  $44.6^{\circ}\text{C}$ - $35.5^{\circ}\text{C}$  .

نلاحظ تزايد مستمر في درجات حرارة أجزاء المقطر (2) إلى ما بعد الزوال ثم تتناقص، و لاقط الشمسي الهوائي هو الجزء الذي له درجة حرارة أكبر ثم يليه درجة الحرارة الخارجية و الداخلية للصندوق الخشي، ومن ناحية أخرى درجة الحرارة الخارجية و الداخلية للصندوق الخشي متطابقين إلى غاية الساعة (14h:00min) نلاحظ انخفاض درجة الحرارة الداخلية وارتفاع درجة الحرارة الخارجية بشكل واضح .

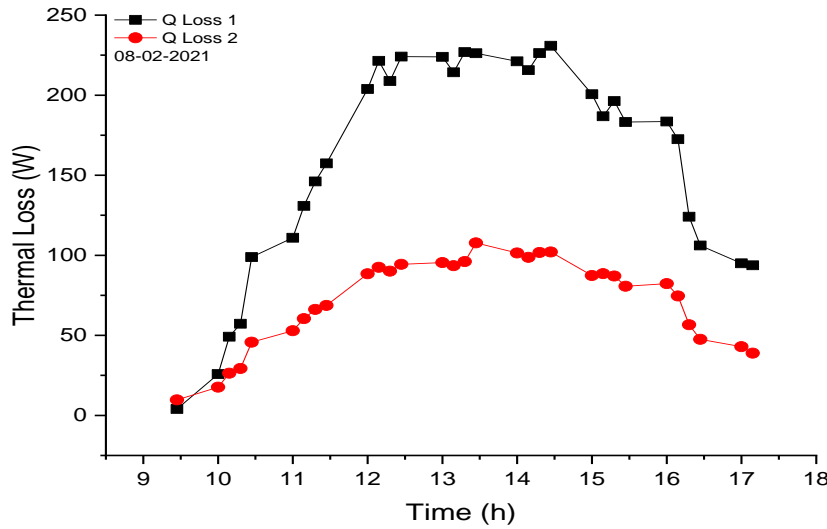
نفس ارتفاع درجة حرارة لاقط الشمسي الهوائي إلى امتصاص الإشعاع الشمسي وتحويله إلى حرارة و بقاء درجة حرارة المدخل والمخرج لمقطر (2) متساوية تقريبا طول اليوم إلى غاية بعد الزوال ، إلى أن لاقط الشمسي المربوط بصندوق الخشي حافظ علي بقاء درجة حرارة مداخل والمخرج الصندوق الخشي ثابتة ، لكن بعد زوال بداية انخفاض في الإشعاع الشمسي و درجة حرارة المحيطة مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة المدخل ، أما ارتفاع درجة حرارة المخرج

بشكل طفيف راجع إلي ضياع في الحرارة من السطح الأسود ساهم في ذلك، بحيث درجة حرارة المخرج ( $T_{cov2}$ ) تساوي درجة حرارة المدخل ( $T_{cov1}$ ) زائد درجة حرارة أسفل السطح الأسود ( $T'_b$ ) [1].

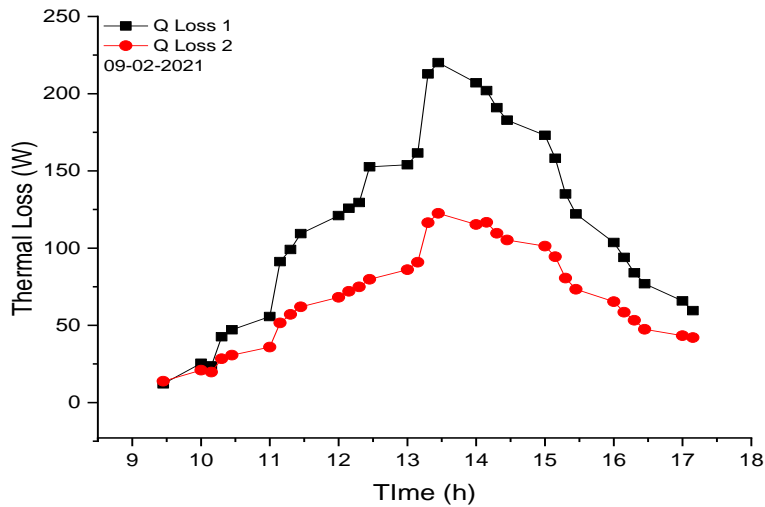
$$T_{cov2} = T_{cov1} + T'_b$$

### 3-4-1-2-IV مقارنة ضياع في الحرارة بين المقطر (1) والمقطر (2) الشمسيين

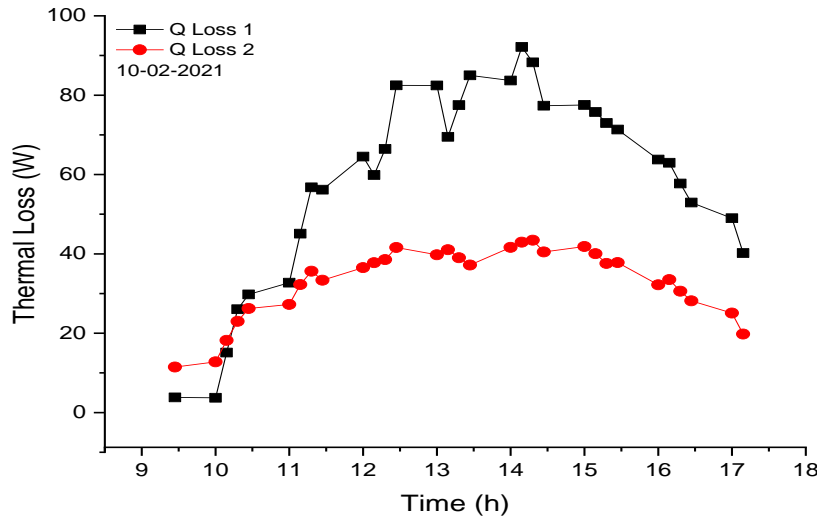
رسم منحنيات توضح ضياع في الحرارة لمقطر (1) المقطر (2) بدلالة الزمن.



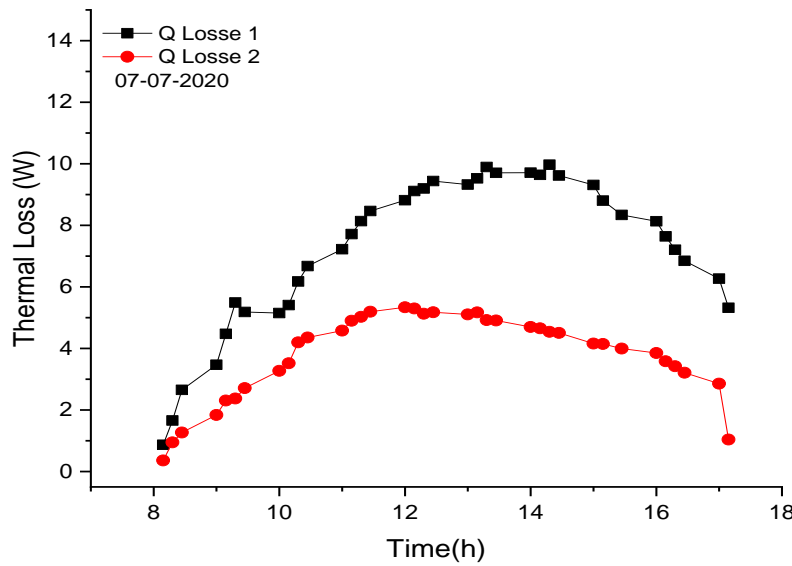
الشكل (9-IV) : تغيرات الضياع الحراري للمقطرين ليوم 08 فيفري 2021



الشكل (10-IV) : تغيرات الضياع الحراري للمقطرين ليوم 09 فيفري 2021



الشكل (11-IV) : تغيرات الضياع الحراري للمقطرين ليوم 10 فيفري 2021



الشكل (12-IV) : تغيرات الضياع الحراري للمقطرين ليوم 07 جويلية 2020

تحليل المنحنيات الشكل (9-IV) و (10-IV) و (11-IV) و (12-IV):

تمثل تغيرات الضياع في الحرارة لمقطر (1) و المقطر (2) بدلالة الزمن حيث نلاحظ أن كان الضياع في 07 جويلية لمقطر (1) حوالي 9.96 w - 0.86 w و المقطر (2) حوالي 5.33 w - 0.35 w و اليوم 08 فيفري لمقطر (1) حوالي 230.89 w - 4.03 w و المقطر (2) كان 107.754 w - 9.738 w ، أما بالنسبة ليوم 09 فيفري كان لمقطر (1) حوالي 220.124 w - 12.117 w و المقطر (2) حوالي 13.856 w -

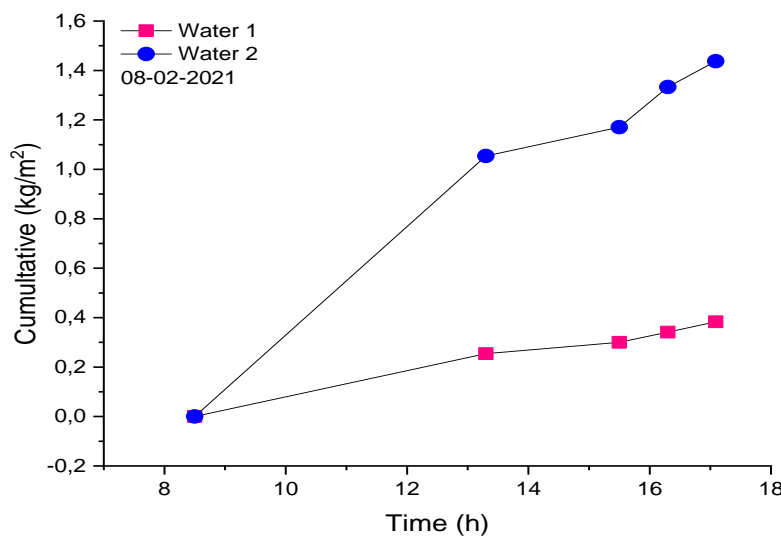
المقطر (2) حوالي  $43.456 \text{ w} - 11.478 \text{ w}$  ، و أيضا بالنسبة ليوم 10 فيفري كان المقطر (1) حوالي  $92.161 \text{ w} - 3.732 \text{ w}$  و

ومنه أن كمية الحرارة الضائعة على مستوى المقطر الشاهد تكون أكبر مقارنة بالمقتر المحسن وذلك في أيام التجربة ، و أيضا الحرارة الضائعة في الصيف تكون اقل كثيرا مقارنة بالشتاء

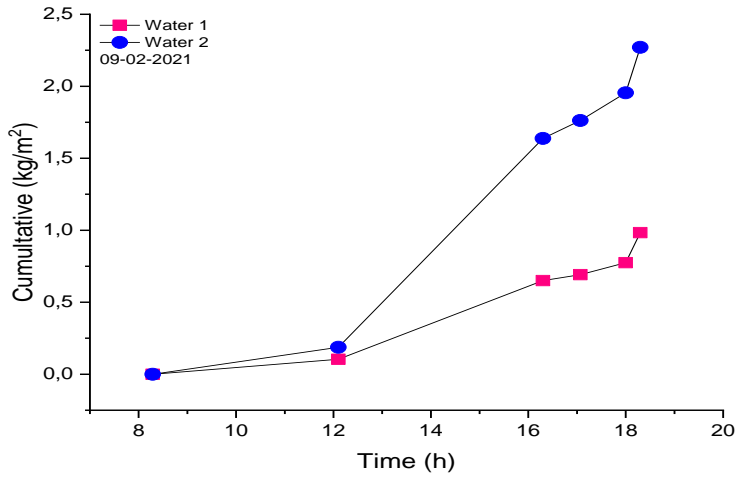
نفسر انخفاض الضياع في المقطر المحسن مقارنة بالشاهد بأن اللاقط الشمسي المربوط بالصندوق الخشبي الموجود فيه المقطر الشمسي عمل على التقليل من الضياعات الحرارية بنما المقطر الشاهد معرض لظروف المحيطة الجوية التي تساهم في زيادة الضياع بشكل كبير جدا من درجة حرارة المحيطة وسرعة الرياح. و أيضا من ناحية أخرى التغيير في فقد الحرارة من يوم لآخر ناتج عن تغير في درجة الحرارة المحيطة وتغيير السرعة. أدت درجة الحرارة المحيطة المنخفضة إلى زيادة فقد الحرارة في المقطر الشاهد مقارنة بالمحسن لأن السرعة العالية يؤديان إلى زيادة فقدان الحرارة بالنسبة لمقتر الشاهد بنما استغلال الحرارة الضائعة في المحسن . زيادة فقد الحرارة في بداية اليوم بسبب ارتفاع أجزاء نواتج التقطير المحسنة أمام الشاهد .و نفسر أن كمية الضياع في الصيف اقل كثيرا من الشتاء و ذلك راجع لارتفاع درجات الحرارة المحيطة مما يمنع انتقال الحرارة [1] .

#### IV-2-1-4) مقارنة كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين الشمسين:

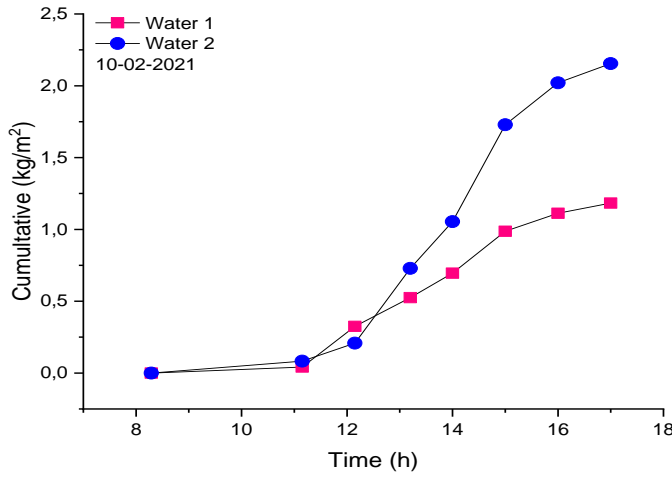
توضح المنحنيات تغيرات كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين (1) و (2) بدلالة الزمن



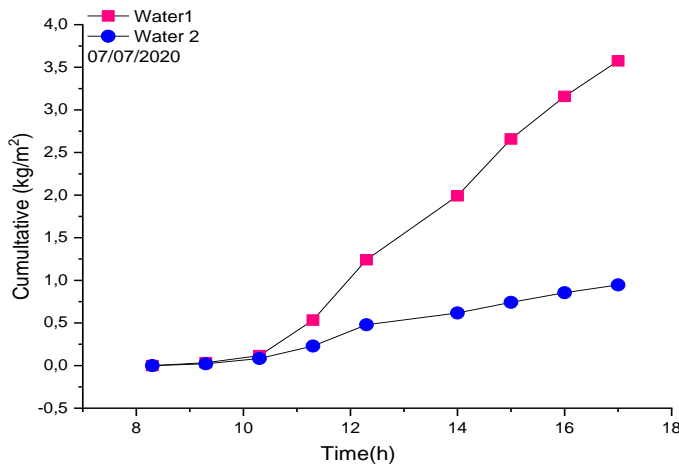
الشكل (IV-13): تغيرات المياه المنتجة للمقترين بدلالة الزمن ليوم 08 فيفري 2021



الشكل (14-IV): تغيرات المياه المنتجة للمقطرين بدلالة الزمن ليوم 09 فيفري 2021



الشكل (15-IV): تغيرات المياه المنتجة للمقطرين بدلالة الزمن ليوم 10 فيفري 2021



الشكل (16-IV): تغيرات المياه المنتجة للمقطرين بدلالة الزمن ليوم 07 جويلية 2020

تحليل المنحنيات الشكل (13-IV) و (14-IV) و (15-IV) و (16-IV):

تمثل تغيرات الإنتاجية اليومية للماء المقطر (1) و المقطر (2) بدلالة الزمن حيث نلاحظ أن في 07 جويلية كانت إنتاجية على التوالي  $3.575kg/m^2 - 0.946kg/m^2$  و يوم 08 فيفري كانت إنتاجية لمقشرين على التوالي  $0.383kg/m^2 - 1.437kg/m^2$  واليوم 09 فيفري كانت الإنتاجية حوالي  $0.983kg/m^2 - 2.270kg/m^2$  تكون الزيادة في الشاهد والمحسن متطابقة تقريبًا وبعد ذلك الزيادة في المحسن بشكل كبير، في اليوم 10 فيفري كان الإنتاجية حوالي  $1.183kg/m^2 - 2.154kg/m^2$  ، وأيضاً نلاحظ أن هناك تزايد في كمية الماء المقطر المجمعة بمرور الزمن لكن كمية الماء المقطر المجمعة في المقطر المحسن أفضل بكثير من المقطر الشاهد ، وسبب ذلك أن التقليل من الضياعات الحرارية للمقطر المحسن مقارنة بالشاهد ساهم في زيادة الإنتاجية بشكل واضح وكبير ، و لكن نلاحظ كمية الماء المقطر المجمعة في يوم 10 فيفري في الفترة ما بين (08h:15min) إلى (11h:15min) كانت في المقطر (1) أكبر مما هي عليه في المقطر (2) ) وسبب ذلك أن درجة حرارة سطح الأسود للمقطر (1) أكبر من درجة حرارة السطح الأسود للمقطر (2) (لاقط الشمسي الهوائي لم يكن يبذل مجهود كبير لكي يعمل على محافظة على درجات حرارة) ، و من ناحية أخرى يعود الانخفاض في الإنتاجية إلى انخفاض السرعة المحيطة ، مما يساهم في عدم تبريد الزجاج ، أي قلة التكثيف . ثم نلاحظ عند الساعة (11h:15min) نقطة تحول من حيث كمية الماء المقطر المجمعة أي أصبحت كمية الماء المقطر المجمعة من طرف المقطر (2) أكبر منها في المقطر (1) وذلك راجع لكون لاقط الشمسي الهوائي مربوط مع المقطر (2) عمل على محافظة على درجات الحرارة أجزاء المقطر محفوظة وعليه زيادة في الإنتاجية [1].

ونفسر زيادة إنتاجية اليومية في الشاهد مقارنة بالمحسن إلي وصول المحسن إلي حالة التشبع قبل الشاهد أي أن التحسن كان سلمي في فصل الصيف و لأن الدراسة أُجريت في فصل الشتاء لانخفاض درجات الحرارة لذلك يمكن الاستغناء عن التحسين في فصل الصيف .

## IV -2-1-5) النتائج المستخلصة من التجربة:

**النتيجة 1:** الإشعاع الشمسي يتحكم في زيادة درجات حرارة أجزاء المقطر الشمسي.

**النتيجة 2:** نستنتج أنالصندوق الخشي المربوط بلاقط الشمسي ( المقطر (2) ) تسبب في خفض نسبة الحرارة الضائعة من طرف السطح الأسود وعليه نتج لدينا أن درجات حرارة في مستويات المقطر (2) أكبر من درجات الحرارة في مستويات المقطر (1).

**النتيجة 3:** كمية الماء المقطر المجمعة في المقطر (2) أكبر بنسبة كبيرة من كمية الماء المقطر المجمعة في المقطر (1) لأن درجة حرارة الماء و درجة حرارة السطح الزجاجي في المقطر (2) أكبر مما هي عليه في المقطر (1) أي أن الفرق في درجة الحرارة بين الماء و السطح الزجاجي في المقطر (2) كان أكبر مما هو عليه في المقطر الأول .

**النتيجة 4:**الضيق الحراري في المقطر (1) كبير جدا مقارنة بالمقطر (2) لأنه معزول عن الظروف المحيطية

**النتيجة 5:** يمكن الاستغناء عن التحسين في فصل الصيف و إبقاء المقطر الشاهد فقط لان التحسن يكون سلمي على إنتاج الماء المقطر.

**النتيجة 6:** أثناء القيام بالعمل التجريبي في 2020 كانت السماء صافية دون وجود غبار أو ضباب في جوا ، بسبب منع النقل الجوي والنقل بصفة عامة مما ساهمة في وصول الإشعاع بشكل جيد ، و لأن التجربة تكون نتائجها ضعيفة جدا في الصيف ساهم في وصول المقطر الشمسي المحسن إلي حالة التشيع مبكرا.

## IV -2-1-6) التحليل الماء المقطر الناتج من التجربة

عند مقارنة الماء المقطر بالماء المالح كانت الأملاح في الماء المقطر ضئيلة والتوصيلية الحرارية منخفضة.... الخ ،

من ناحية أخرى المياه في منطقة ورقلة عالية من نسبة فلور ، و أصبح مراقبة مياه الشرب والسيطرة على التسمم بالفلور أمر ضروري لتجنب الإمكانات حدوث خطر على صحة السكان المنطقة.



جدول (1-IV): مقارنة المياه المالحة بالماء المقطر لمنطقة ورقلة-الجزائر [1] .

الماء المقطر	الماء المالح	
57.6	4880	التوصيلية الحرارية ( $\mu\text{s/cm}$ )
5.9	6.8	التركيز الحموضة (pH)
0.02	0.23	الأملاح
30	250	نسبة الملوحة (mg/l)
6.00	6.08	كمية الأوكسجين (mg/l)
12	1100	الكالسيوم (mg/l)
2	24	الكلور (mg/l)
0	0.82	الفلور (mg/l)

#### 2-2-IV) جانب المحاكاة العددية

1-2-2-IV) تسمين النتائج التجريبية بالمحاكاة العددية:، وتمت على النموذجين على مدى 4 أيام كاملة (15 ديسمبر و 15 جانفي و 15 فيفري و 15 مارس) للمقارنة بين المقطرين، ايضا تم اختيار يوم 15 فيفري مع تغير في زاوية الميل ، وتم رسم المنحنيات الموضحة أدناه ببرنامج Origine08..

ملاحظة: في هذا العمل تم ببرنامج FORTRAN وعلمنا أن الزاوية المقطر الشمسي هي  $16^\circ$  و  $30^\circ$ .

#### 2-2-2-IV) النماذج الأولية للمحاكاة العددية

تم الاعتماد في إنجاز هذا العمل على مقطرين الأول عبارة عن مقطر شمسي بسيط ذو حوض وحيد الميل (1) له الأبعاد التالية:

- لون الحوض : أسود غير براق. - سمك الزجاج: (4mm).
- أبعاد الحوض : (الطول X العرض): (33.5cm × 55.5cm). - أبعاد الغطاء الزجاجي: (35m × 65m).
- زاوية المقطر  $30^\circ$ .

و الثاني وهو المقطر الشمسي المحسن له نفس أبعاد المقطر(1) لكن متواجد داخل مغلف خشبي مرتبط بلاقط شمسي هوائي له الأبعاد التالية:

- الصندوق الخشبي: من خشب. - سمك الخشب: (12mm).
- أبعاد الصندوق الخشبي : (الطول X العرض): (54cm × 78cm).

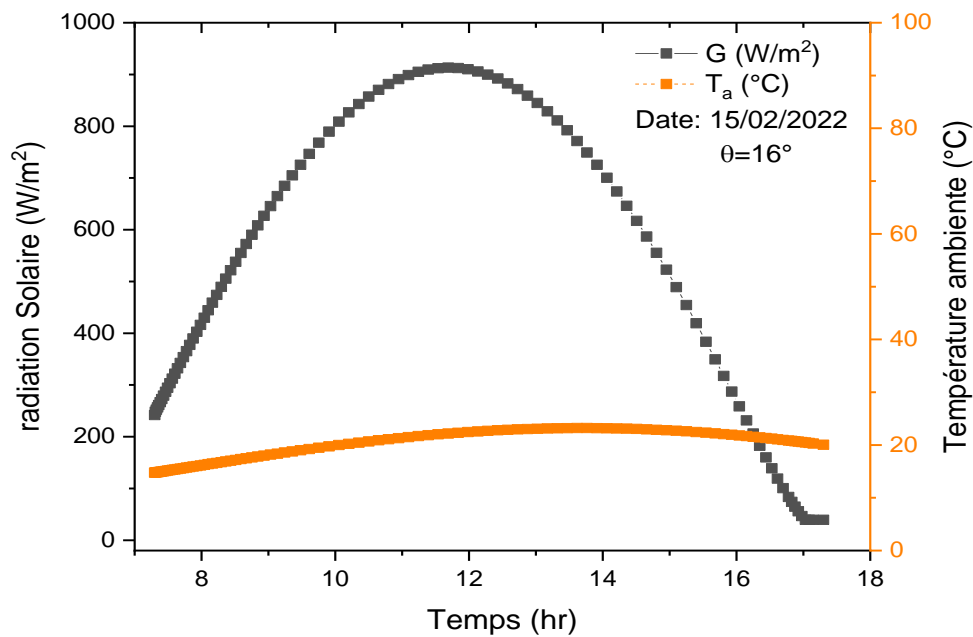
- لون سطح : أسود غير براق. - سمك الزجاج : (4mm).
- أبعاد لاقط الشمس الهوائي : الجزء الرئيسي (الطول X العرض): (58cm × 90cm).
- و الجزء المضاف: (58cm × 20cm) - أبعاد الغطاء الزجاجي : (57cm × 78.5cm).

ملاحظة : تم القيام بالمحاكاة العددية في الزاوية  $16^\circ$  من اجل تحقق من صحة النتائج التجريبية ،وقد تم تحقق من صحة ذلك ، لدى تم اختيار الزاوية  $30^\circ$  من أجل التحسين أكثر وصول الي أكبر إنتاجية يومية ممكنة .

#### 3-2-2-IV المنحنيات المحاكاة العددية زاوية $16^\circ$

#### 1-3-2-2-IV مقارنة الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة المحيطة

رسم منحنى يوضح الإشعاع الشمسي و درجة حرارة المحيطية بدلالة الزمن



الشكل (17-IV): منحنى تغيرات الإشعاع الشمسي (G) ودرجة حرارة محيطية (Ta) بدلالة الزمن

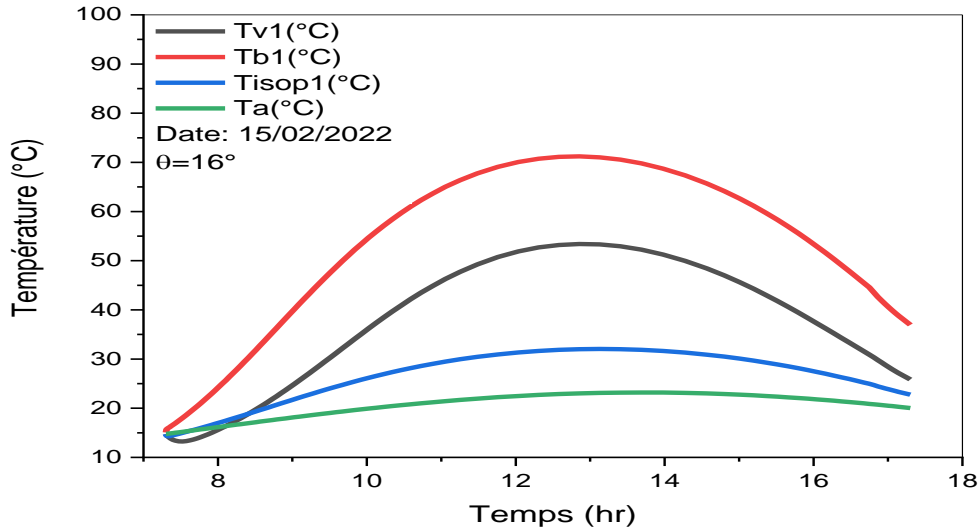
ليوم 15 فيفري 2022 بالمحاكاة العددية ( $16^\circ$ )

تحليل المنحنى الشكل (IV-17):

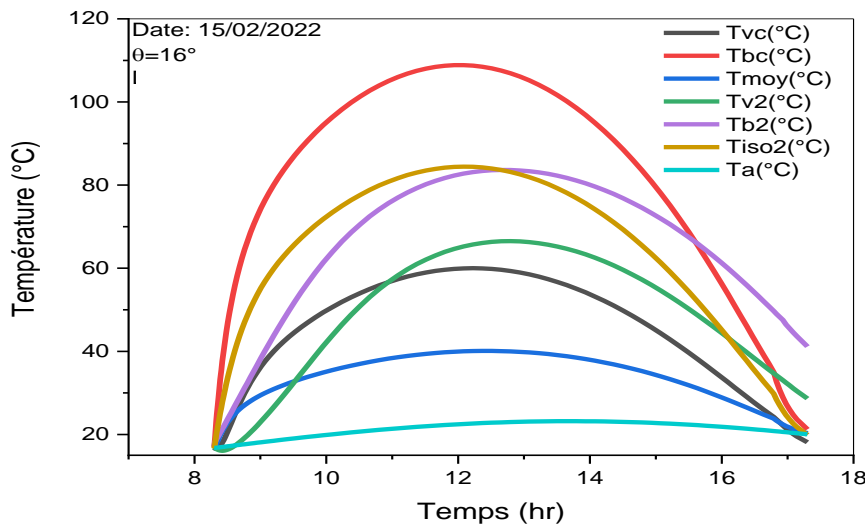
نلاحظ في منحنى الذي يمثل كل من الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة المحيطة بمرور الزمن إلى أن يبلغ الذروة خلال الساعة (12h:00min) خلال يوم 15 فيفري 2022 ، بحيث نلاحظ أن درجة الحرارة المحيطة  $23.20^{\circ}\text{C}$  و الإشعاع الشمسي  $913\text{ W/m}^2$  .  
تمت المحاكاة العددية في شهر فيفري من اجل مقارنتها مع نتائج التجريبية لنفس الزوايا  $16^{\circ}$  .

2-3-2-2-IV مقارنة درجات الحرارة بين مقطرين شمسين بسيطين ودرجة حرارة لاقط الشمسي:

رسم منحنيات توضح درجات حرارة المقطر(1) و المقطر (2) و لاقط الشمسي بدلالة الزمن



الشكل (IV-18): تغيرات درجات الحرارة المقطر (1) ليوم 15 فيفري 2022



الشكل (19-IV): تغيرات درجات الحرارة المقطر (2) ليوم 15 فيفري 2022

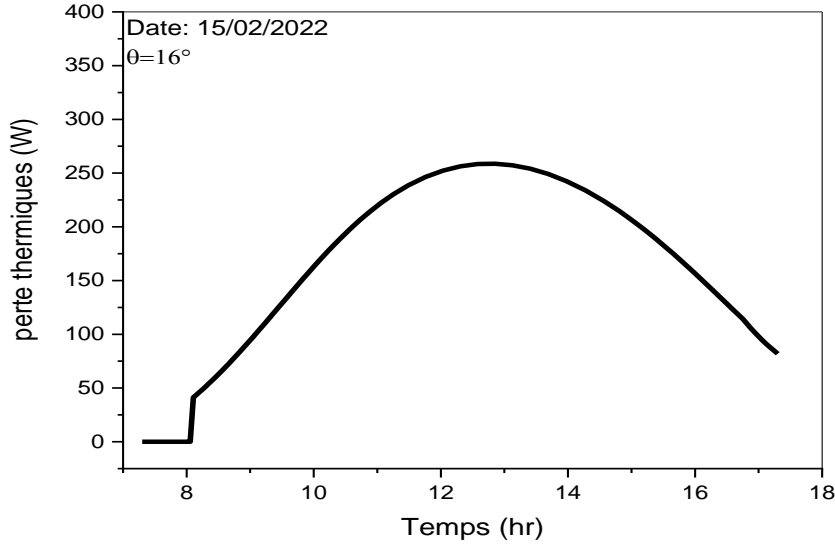
تحليل المنحنيات الشكل (18-IV) و (19-IV):

تمثل المنحنيات تغيرات درجة الحرارة أجزاء المقطر (1) و المقطر (2) في اليوم 15 فيفري 2022 حيث نلاحظ أن أجزاء كل من المقطرين تكون متزايدة بدلالة الزمن لتبلغ الذروة عند (13h:00min) ثم تنخفض مرة أخرى ، وأيضاً أن درجات الحرارة بالنسبة للمحسن أكبر من الشاهد ، حيث السطح الأسود ( $T_{b2}$ ) يكون أكبر جزء ترتفع درجة حرارته ثم يليه الماء ( $T_e = T_w$ ) وبعدها الزجاج ( $T_{v2} = T_{g2}$ ) ، حيث بلغت درجة حرارة السطح الأسود لكل من المقطر (1) و المقطر (2)  $71.21\text{ }^{\circ}\text{C}$  و  $83.64\text{ }^{\circ}\text{C}$  و درجة حرارة الزجاج  $53.40\text{ }^{\circ}\text{C}$  و  $66.51$  و درجة حرارة العازل  $32.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  و  $84.44\text{ }^{\circ}\text{C}$  ، أما بالنسبة لدرجة الحرارة السطح الأسود لاقط الشمسي  $108.95\text{ }^{\circ}\text{C}$  و درجة الحرارة الزجاج لاقط الشمسي  $60.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  و درجة حرارة المحيطة ليوم التجربة  $23.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

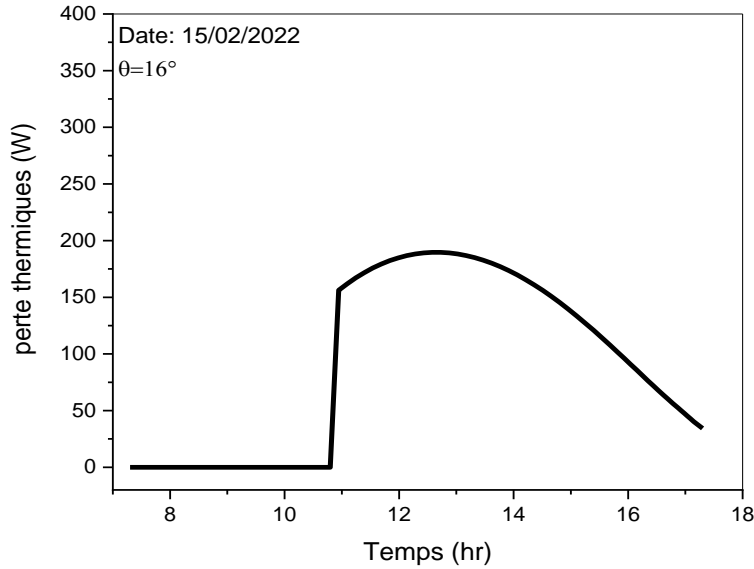
و يراجع ذلك إلى أن السطح الأسود لديه امتصاصية كبيرة نتج عنها ارتفاع درجة حرارته ثم انتقلت هذه الحرارة إلى الماء لترتفع حرارته و يسخن ثم يتبخر ثم يتكثف على الزجاج، و من ناحية أخرى ارتفاع درجات حرارة المحسن عن الشاهد سببه أن المقطر المحسن حافظ على درجات الحرارة بتخزينه لحرارة بفضل وجود لاقط مربوط بصندوق الخشي (تركيب المقطر المحسن) أي معزول عن الظروف الخارجية.

3-3-2-2-IV مقارنة ضياع في الحرارة بين المقطر (1) والمقطر (2) الشمسين

رسم منحنيات توضح ضياع في الحرارة لمقطر (1) المقطر (2) بدلالة الزمن



الشكل (20-IV): تغيرات الضياع الحراري للمقطر (1) ليوم 15 فيفري 2022



الشكل (21-IV): تغيرات الضياع الحراري للمقطر (2) ليوم 15 فيفري 2022

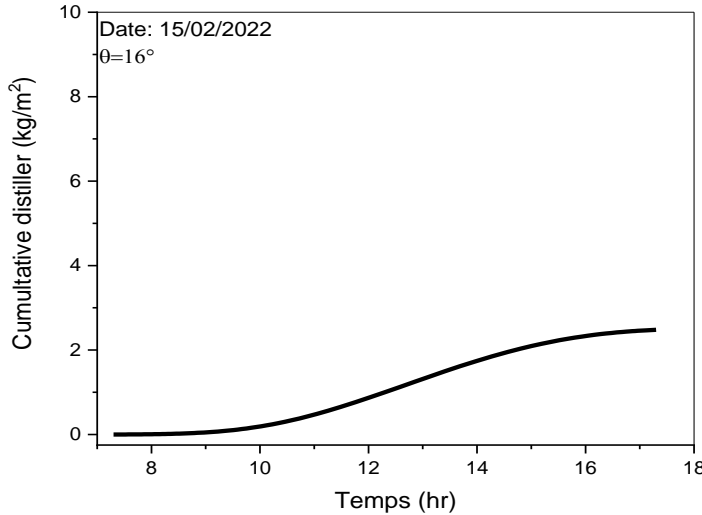
تحليل المنحنيات الشكل (IV-20) و (IV-21) :

تمثل منحنيات تغيرات الضياع في الحرارة لمقطر (1) و المقطر (2) بدلالة الزمن حيث نلاحظ أن كان الضياع في لمقطر (1) كان 258.73 W و المقطر (2) انعدام في الضياع في الحرارة إلي غاية (10h:45min) ثم تزدادا إلي أن تصل 189.65 W .

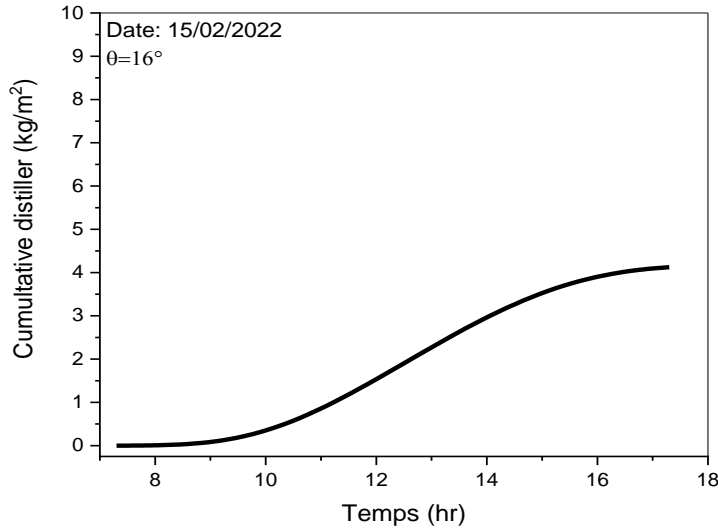
نفسر انخفاض الضياع في المقطر المحسن مقارنة بالشاهد بأن اللاقط الشمسي المربوط بالصندوق الخشبي الموجود فيه المقطر الشمسي عمل على المحافظة على درجات الحرارة ، مما ساهم في التقليل من الضياعات الحرارية و بنما المقطر الشاهد معرض لظروف المحيطة الجوية التي تساهم في زيادة الضياع بشكل كبير جدا من درجة حرارة المحيطة وسرعة الرياح و سبب الرئيسي هو درجة الحرارة المتوسطة داخل الصندوق الخشبي . و أيضا من ناحية أخرى انعدام فقد الحرارة في الفترة الصباحية بسبب الصندوق الخشبي المربوط اللاقط الشمسي الذي ساهم في الحفاظ على ثبوت في درجات الحرارة وعدم وجود ضياع في الحرارة.

IV-2-2-3-4 مقارنة كمية الماء المقطر في المقطرين الشمسين بالمحاكاة العددية:

توضح المنحنيات تغيرات كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين (1) و (2) بدلالة الزمن



الشكل (IV-22): تغيرات المياه المنتجة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 فيفري 2022



الشكل (23-IV): تغيرات المياه المنتجة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 فيفري 2022

تحليل المنحنيات الشكل (22-IV) و(23-IV) :

تمثل منحنيات تغيرات الإنتاجية اليومية للماء المقطر (1) و المقطر (2) بدلالة الزمن حيث نلاحظ أن كانت إنتاجية بالنسبة مقطر (1) و مقطر (2) على التوالي  $2.47 \text{ kg/m}^2$  -  $4.124 \text{ kg/m}^2$ .

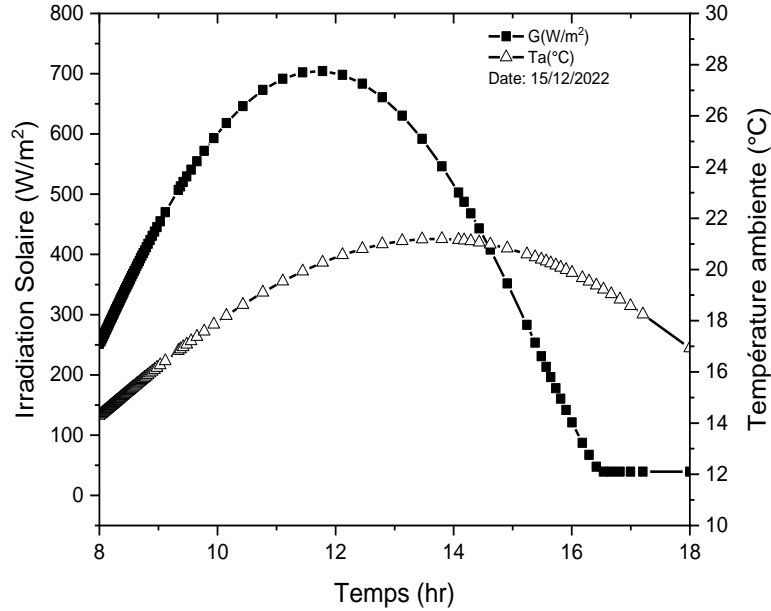
نلاحظ أن كمية الماء المقطر المجمعة بمرور الزمن لمقطر المحسن أفضل بكثير من المقطر الشاهد ، وسبب ذلك أن التقليل من الضياعات الحرارية للمقطر المحسن مقارنة بالشاهد ساهم في زيادة الإنتاجية بشكل واضح وكبير ،

وعليه هذا ما قد تم التواصل إليه في العمل التجريبي ، أي أن الانتاجية بالنسبة لمقطر المحسن تكون تقريبا مرتفعة مقارنة بالمقطر الشاهد.

4-2-2-IV) المنحنيات المحاكاة العددية بزوايا 30°

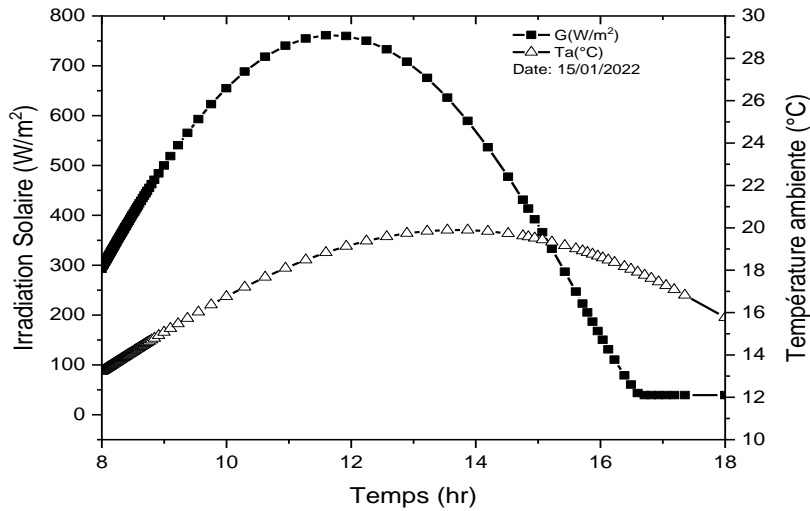
1-4-2-2-IV) مقارنة الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة المحيطة

رسم منحنيات توضح الإشعاع الشمسي و درجة حرارة المحيطية بدلالة الزمن



الشكل (24-IV): تغيرات الإشعاع الشمسي (G) و درجة حرارة محيطية (Ta) بدلالة الزمن ليوم 15

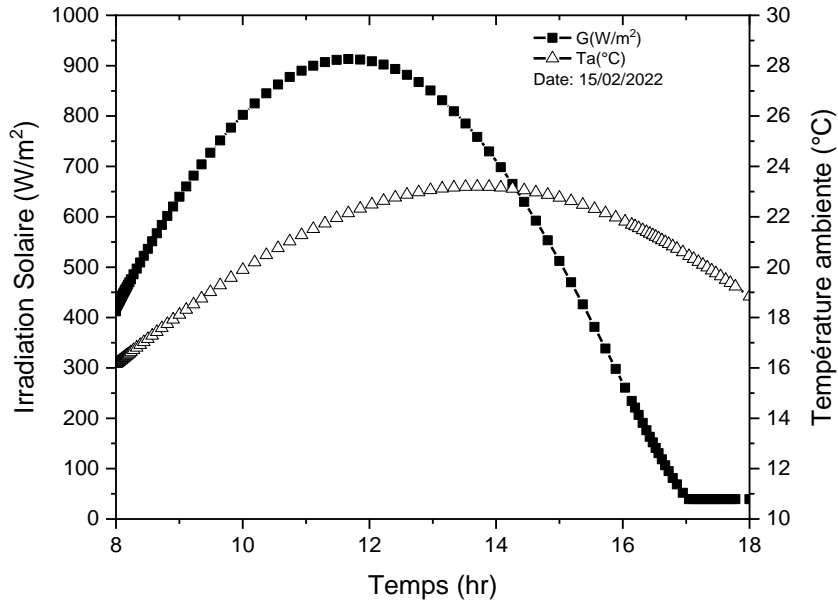
ديسمبر 2022



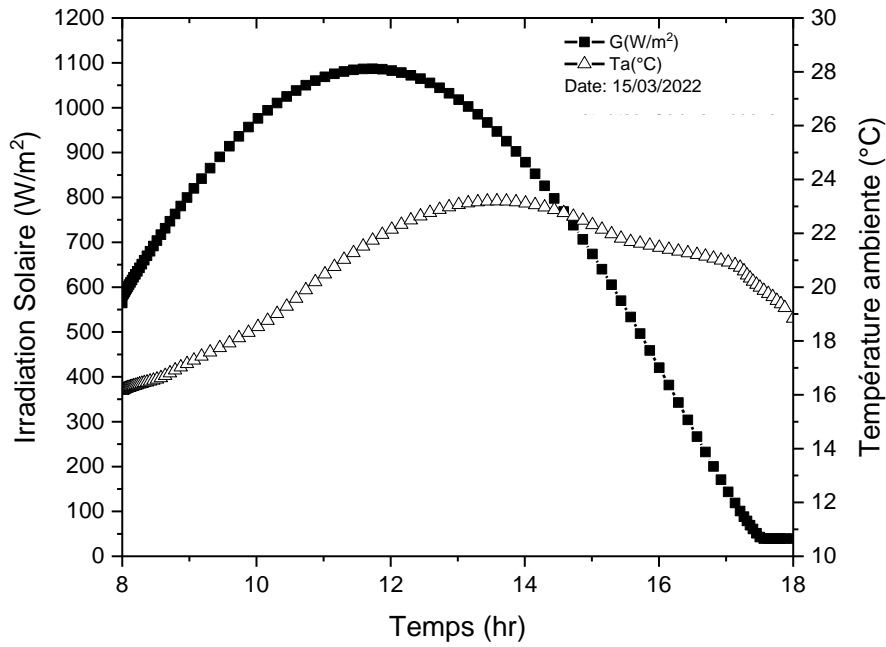
الشكل (25-IV): تغيرات الإشعاع الشمسي (G) و درجة حرارة محيطية (Ta) بدلالة الزمن ليوم 15

جانفي 2022





الشكل (26-IV): تغيرات الإشعاع الشمسي (G) و درجة حرارة محيطية (Ta) بدلالة الزمن ليوم 15 فيفري 2022



الشكل (27-IV): تغيرات الإشعاع الشمسي (G) و درجة حرارة محيطية (Ta) بدلالة الزمن ليوم 15 مارس 2022

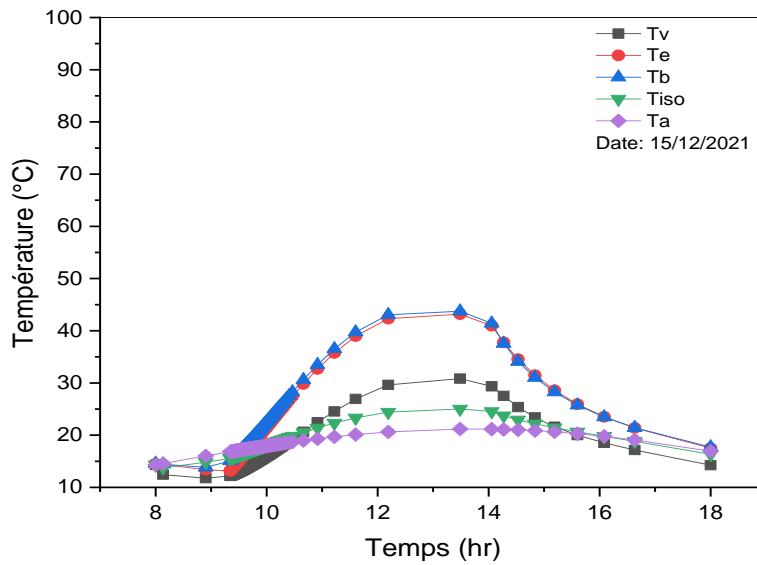
تحليل المنحنيات الشكل (24-IV) و (25-IV) و (26-IV) و (27-IV):

نلاحظ في منحنيات الأربعة أنها تمثل كل من الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة المحيطة بمرور الزمن إلى أن يبلغا الذروة خلال الساعة (12h:00min) خلال الأيام ديسمبر 2021 و جانفي و فيفري و مارس 2022، بحيث نلاحظ أن في يوم 15 ديسمبر درجة الحرارة المحيطة  $21.2^{\circ}\text{C}$  و الإشعاع الشمسي  $720\text{ W/m}^2$  ، و في 15 جانفي كانت درجة الحرارة المحيطة  $19.7^{\circ}\text{C}$  و الإشعاع الشمسي  $780\text{ W/m}^2$  و في يوم 15 فيفري هي  $23.6^{\circ}\text{C}$  و الإشعاع الشمسي  $920\text{ W/m}^2$  و كانت درجة الحرارة المحيطة في 15 مارس  $23.7^{\circ}\text{C}$  و الإشعاع الشمسي  $1100\text{ W/m}^2$ ، وسرعة الرياح خلال أيام التجربة كانت  $1.26\text{ m/s}$ .

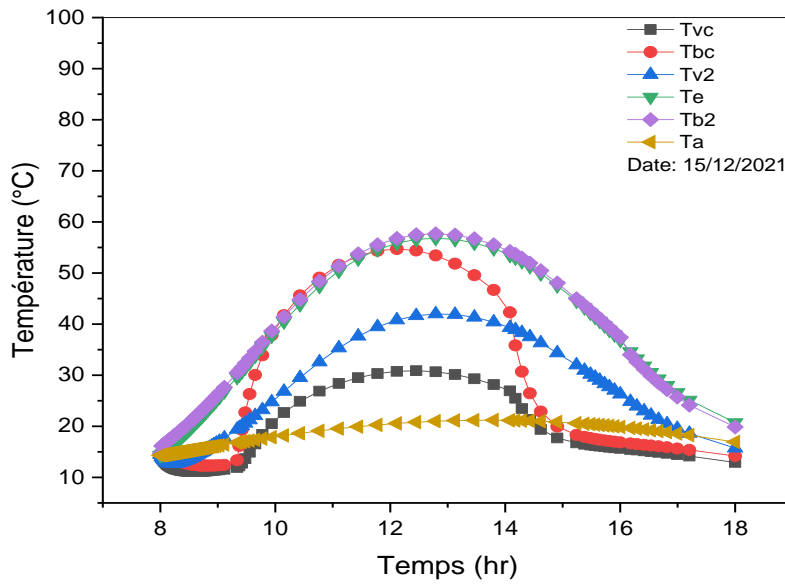
تمت المحاكاة العددية من شهر ديسمبر إلى غاية شهر مارس من اجل نتائج اوضح ودقة عالية وتجنب كل الاحتمالات .

**2-4-2-2-IV) مقارنة درجات الحرارة بين مقطرين شمسين بسيطين ودرجة حرارة لاقط الشمسي:**

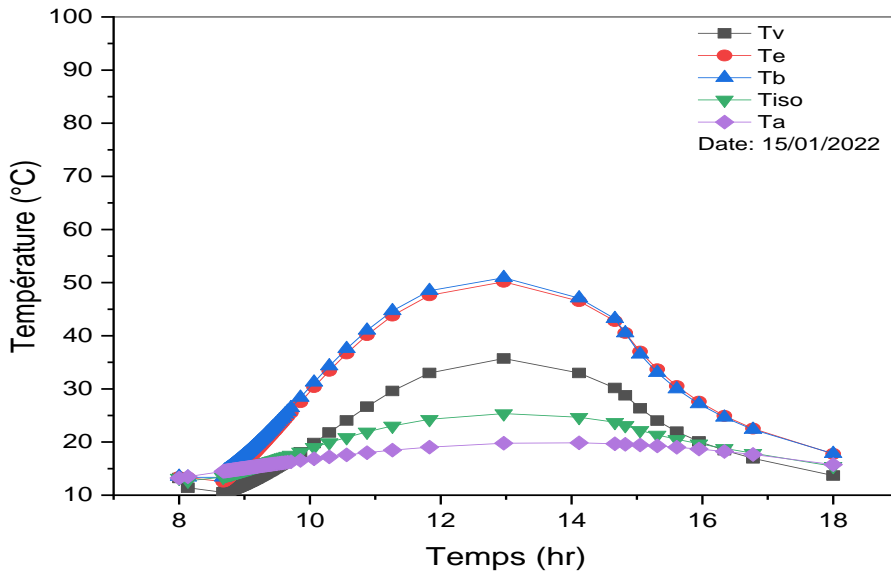
رسم منحنيات توضح درجات حرارة المقطر(1) و المقطر (2) و لاقط الشمسي بدلالة الزمن



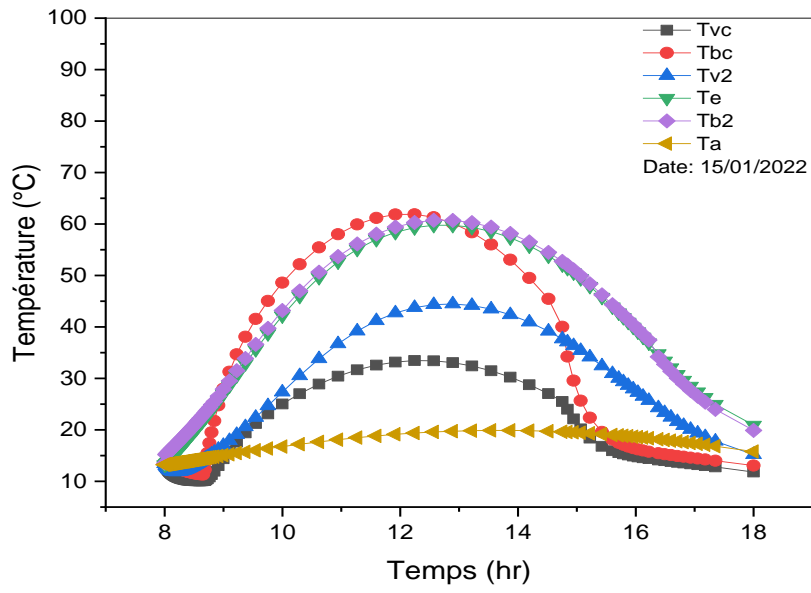
الشكل (28-IV): تغيرات درجات الحرارة المقطر (1) بدلالة الزمن ليوم 15 ديسمبر 2022



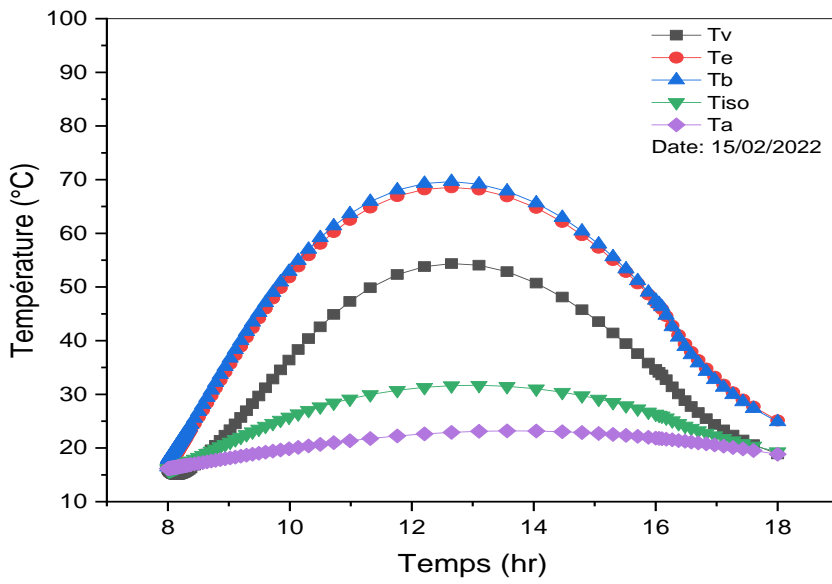
الشكل (29-IV): تغيرات درجات الحرارة المقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 15 ديسمبر 2022



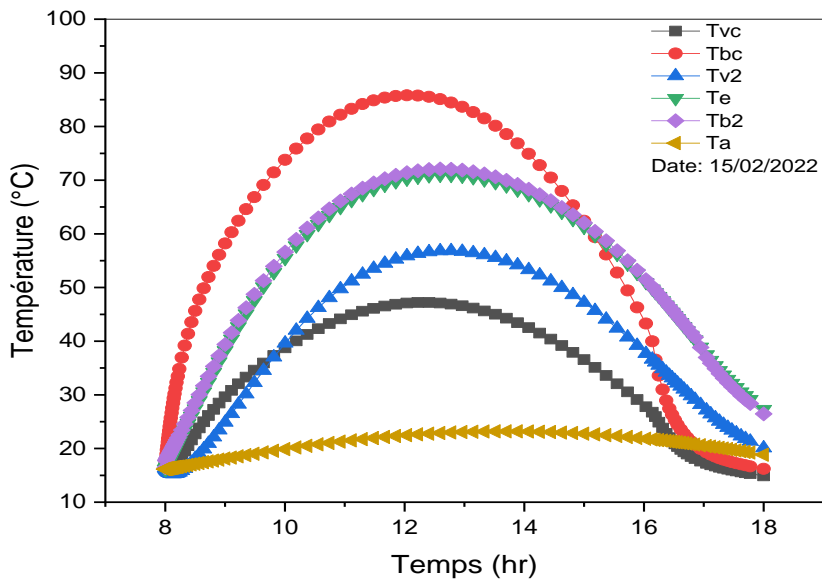
الشكل (30-IV): تغيرات درجات الحرارة المقطر (1) بدلالة الزمن ليوم 15 جانفي 2022



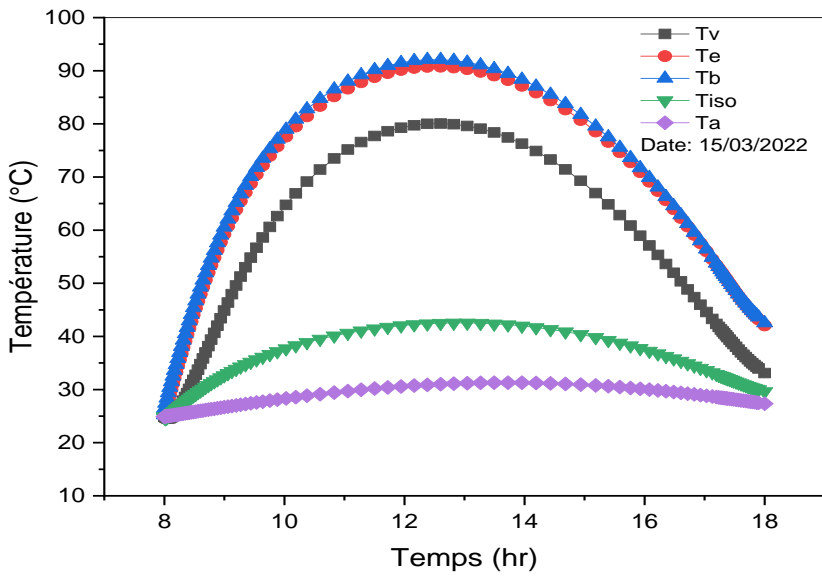
الشكل (31-IV): تغيرات درجات الحرارة المقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 15 جانفي 2022



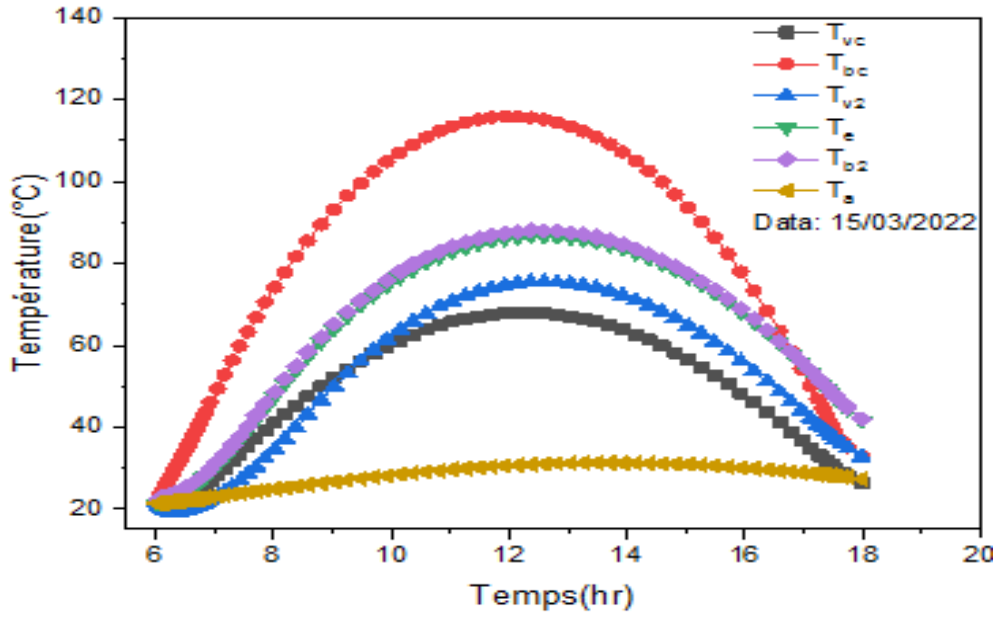
الشكل (32-IV): تغيرات درجات الحرارة المقطر (1) بدلالة الزمن ليوم 15 فيفري 2022



الشكل (33-IV): تغيرات درجات الحرارة المقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 15 فيفري 2022



الشكل (34-IV): تغيرات درجات الحرارة المقطر (1) بدلالة الزمن ليوم 15 مارس 2022



الشكل (35-IV): تغيرات درجات الحرارة المقطر (2) بدلالة الزمن ليوم 15 مارس 2022

تحليل المنحنيات الشكل (28-IV) و (29-IV) و (30-IV) و (31-IV) و (32-IV) و (33-IV) و (34-IV) و (35-IV):

تمثل المنحنيات تغيرات درجة الحرارة أجزاء المقطر (1) و المقطر (2) في الأيام التجريبية (15 ديسمبر، 15 جانفي، 15 فيفري، 15 مارس) حيث نلاحظ أن أجزاء كل من المقطرين تكون متزايدة بدلالة الزمن لتبلغ الذروة عند (13h:00min) ثم تنخفض مرة أخرى ، وأيضا أن درجات الحرارة بالنسبة للمحسن أكبر من الشاهد ، حيث السطح الأسود ( $T_{b2}$ ) يكون أكبر جزء ترتفع درجة حرارته ثم يليه الماء ( $T_e = T_w$ ) وبعدها الزجاج ( $T_{v2} = T_{g2}$ ) ، حيث بلغت درجة حرارة السطح الأسود للأيام الأربعة على التوالي  $56^{\circ}\text{C}$  و

$55.2^{\circ}\text{C}$  و  $72.5^{\circ}\text{C}$  و  $94.3^{\circ}\text{C}$  و درجة حرارة الماء في  $55^{\circ}\text{C}$  و  $54.1^{\circ}\text{C}$  و  $70.5^{\circ}\text{C}$  و

$92.2^{\circ}\text{C}$  و درجة حرارة الزجاج  $32^{\circ}\text{C}$  و  $36.5^{\circ}\text{C}$  و  $56.3^{\circ}\text{C}$  و  $82.3^{\circ}\text{C}$  و

درجة حرارة العازل  $27.3^{\circ}\text{C}$  و  $32^{\circ}\text{C}$  و  $35.2^{\circ}\text{C}$  و  $45.1^{\circ}\text{C}$  بالنسبة للمقطر (1).

أما بالنسبة للمقطر (2) فكان درجة حرارة السطح الأسود  $60.3^{\circ}\text{C}$  و  $62.1^{\circ}\text{C}$  و  $74.4^{\circ}\text{C}$  و  $92.5^{\circ}\text{C}$  و

درجة الحرارة الماء  $57^{\circ}\text{C}$  و  $54.1^{\circ}\text{C}$  و  $72.3^{\circ}\text{C}$  و  $88^{\circ}\text{C}$  و درجة حرارة الزجاج  $43.1^{\circ}\text{C}$  و

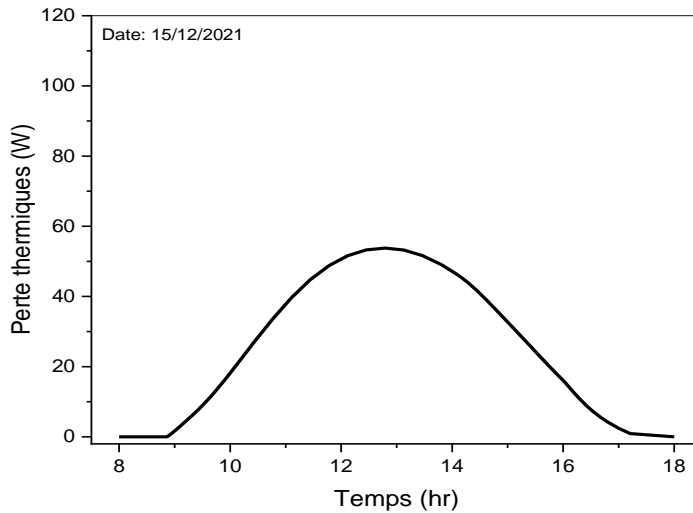
$46^{\circ}\text{C}$  و  $59^{\circ}\text{C}$  و  $79.4^{\circ}\text{C}$  و درجة الحرارة السطح الأسود لاقط الشمسي  $55^{\circ}\text{C}$  و  $64.3^{\circ}\text{C}$  و

88.2°C و 119.3°C و درجة الحرارة الزجاج لاقط الشمسي 32.3°C و 35.1°C و 48.2°C و 70.5°C . ودرجة حرارة المحيطة للأيام التجربة 24.1°C و 21.3°C و 25.5°C و 33.7°C .

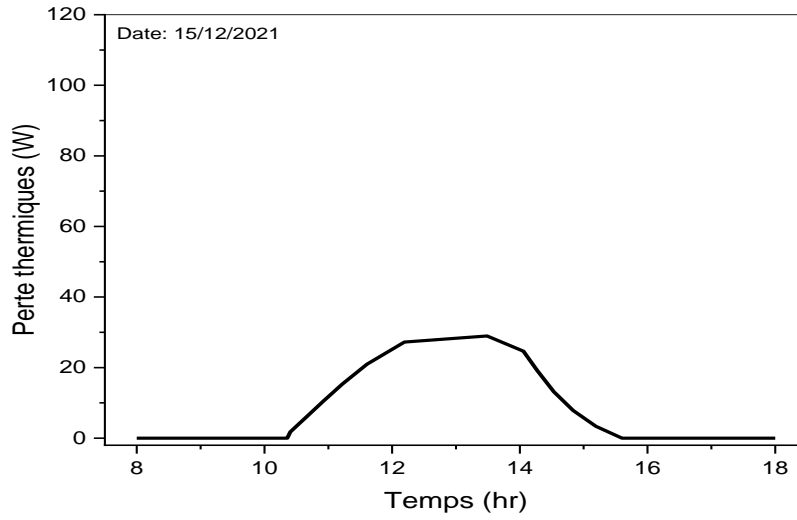
وذلك راجع إلى السطح الأسود لأن لديه امتصاصية كبيرة نتج عنها ارتفاع درجة حرارته ثم انتقلت هذه الحرارة إلى الماء ليسخن ثم يتبخر ثم يتكثف على الزجاج، وأيضا ارتفاع درجات حرارة المحسن عن الشاهد سببه أن المقطر المحسن حافظ على درجات الحرارة بتخزينه لحرارة بفضل وجود لاقط مربوط بصندوق الخشبي (تركيب المقطر المحسن) .

#### 3-4-2-2-IV مقارنة ضياع في الحرارة بين المقطر (1) والمقطر (2) الشمسيين

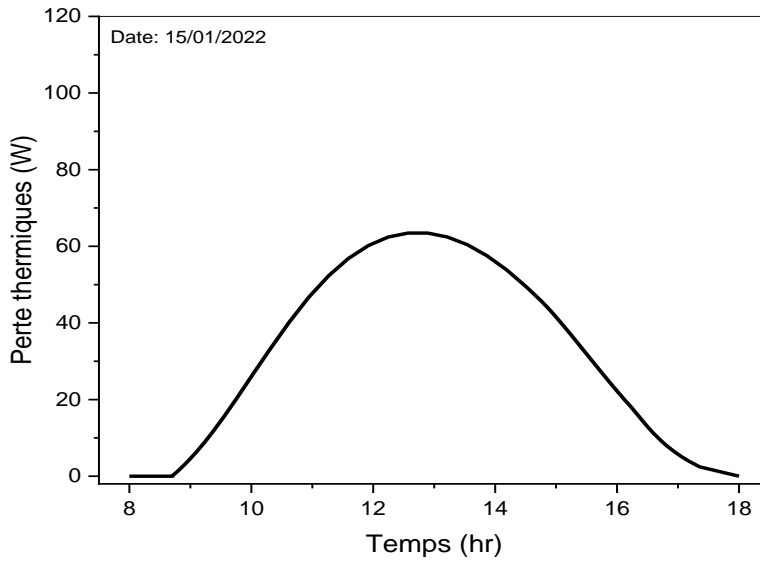
رسم منحنيات توضح ضياع في الحرارة لمقطر (1) المقطر (2) بدلالة الزمن



الشكل (36-IV): تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 ديسمبر 2022

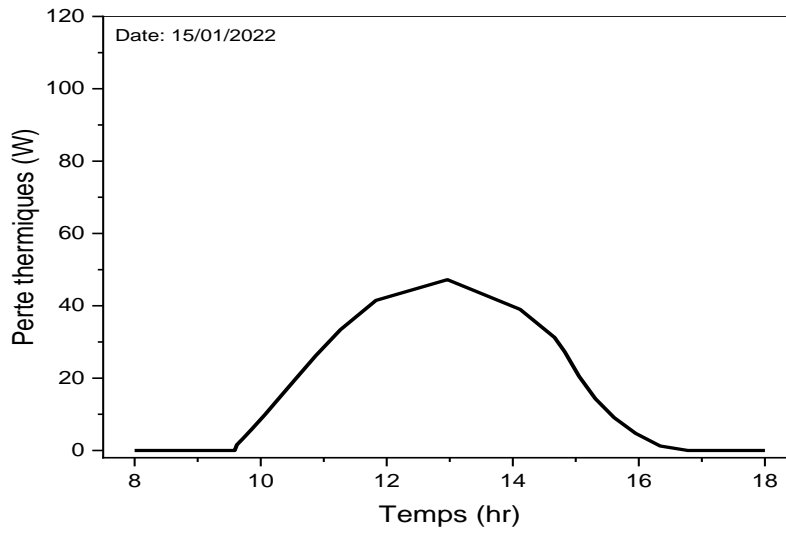


الشكل (37-IV): تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 ديسمبر 2022

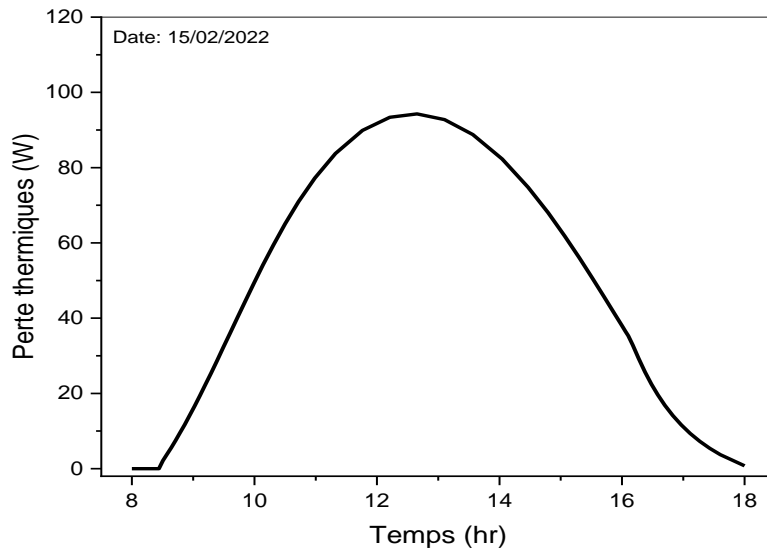


الشكل (38-IV): تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 جانفي 2022

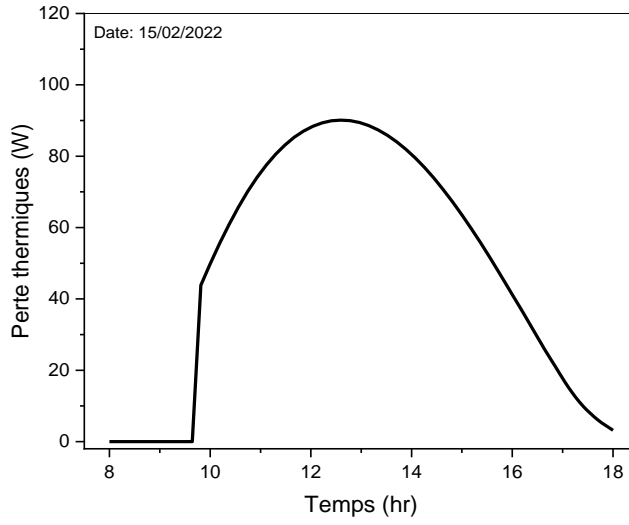




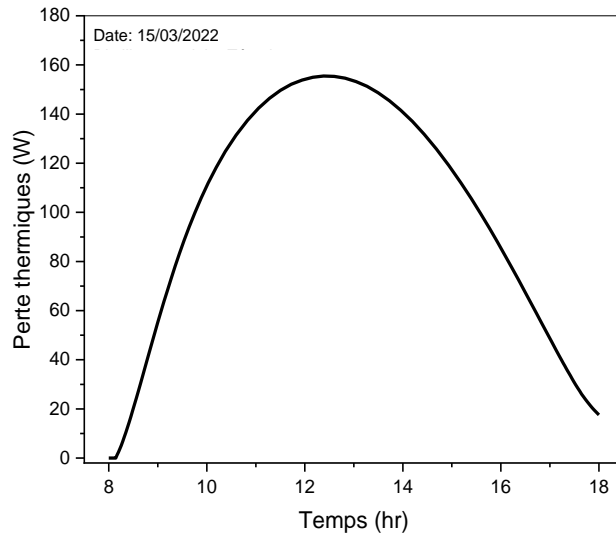
الشكل (39-IV): تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 جانفي 2022



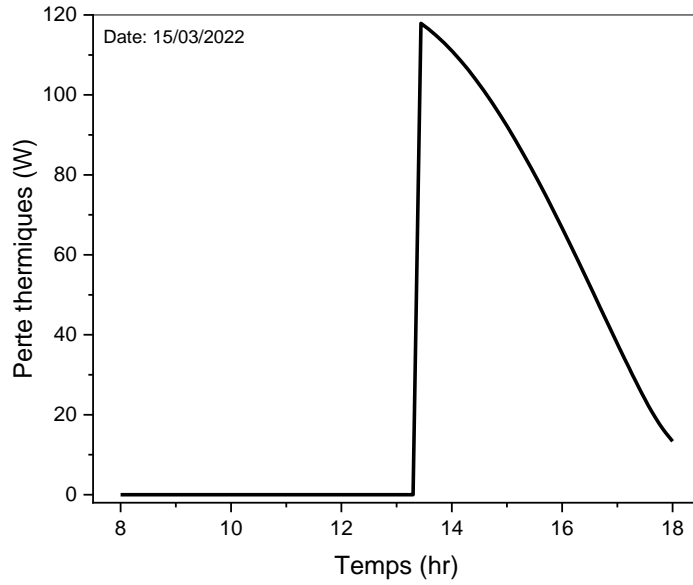
الشكل (40-IV): تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 فيفري 2022



الشكل (41-IV): تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 فيفري 2022



الشكل (42-IV): تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 مارس 2022



الشكل (43-IV): تغيرات الضياع الحرارة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 مارس 2022

تحليل المنحنيات الشكل (36- IV) و (37- IV) و (38- IV) و (39- IV) و (40- IV) و (41- IV) و (42- IV) و (43- IV) :

تمثل منحنيات تغيرات الضياع في الحرارة لمقطر (1) و المقطر (2) بدلالة الزمن حيث نلاحظ أن كان الضياع في 15 ديسمبر لمقطر (1) كان 50W و المقطر (2) انعدام في الضياع في الحرارة إلى غاية (10h:30min) ثم تزداد إلى أن تصل 30W ، واليوم 15 جانفي لمقطر (1) 69W و المقطر (2) انعدام في الضياع في الحرارة إلى غاية (09h:45min) ثم تزداد إلى أن تصل إلى 50W ، أما بالنسبة ليوم 15 فيفري كان

لمقطر (1) حوالي 99W و المقطر (2) انعدام في الضياع في الحرارة إلى غاية (09h:45min) ثم تزداد إلى أن تصل حوالي 89W ، 15 مارس كان لمقطر (1) 160W و المقطر (2) انعدام في الضياع في الحرارة إلى غاية (13h:30min) إلى أن تصل 118W .

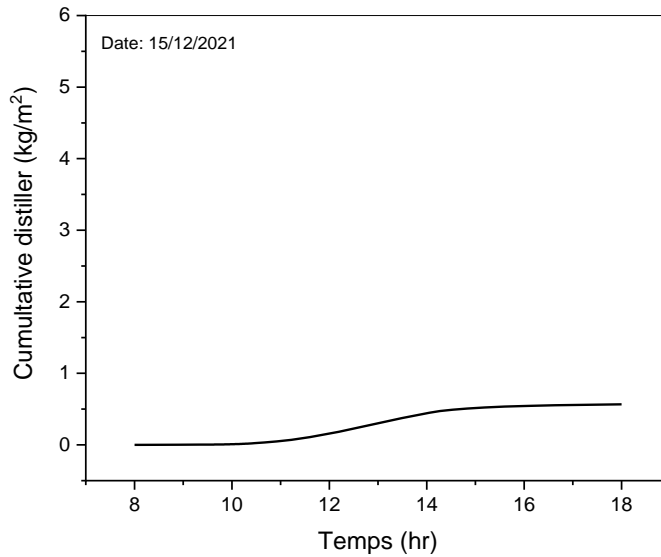
نفس انخفاض الضياع في المقطر المحسن مقارنة بالشاهد بأن اللاقط الشمسي المربوط بالصندوق الخشبي الموجود فيه المقطر الشمسي عمل على المحافظة على درجات الحرارة ، مما ساهم في التقليل من الضياعات الحرارية و بنما المقطر الشاهد معرض لظروف المحيطة الجوية التي تساهم في زيادة الضياع بشكل كبير جدا من درجة حرارة المحيطة وسرعة الرياح و سبب الرئيسي هو درجة الحرارة المتوسطة داخل الصندوق الخشبي . و أيضا من ناحية أخرى انعدام فقد

الحرارة في الفترة الصباحية بسبب الصندوق الخشبي المربوط اللاقط الشمسي الذي ساهم في الحفاظ على ثبوت في درجات الحرارة وعدم وجود ضياع في الحرارة.

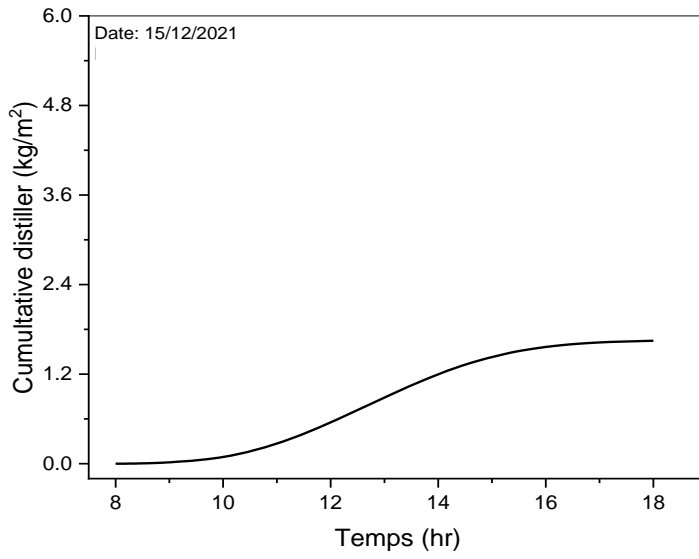
و من جهة أخرى ارتفاع الضياع في 15 فيفري بحيث تقارب تطابق المحسن من الشاهد راجع إلى ارتفاع الضياع الحراري من الغطاء الزجاجي إلى الوسط الخارجي للمحسن، لأن المقطر الشاهد في فصل الشتاء تبقى درجة حرارته الكلية دواما منخفضة مقارنة بالمقطر.

#### IV-2-2-4) مقارنة كمية الماء المقطر في المقطرين الشمسيين بالمحاكاة العددية:

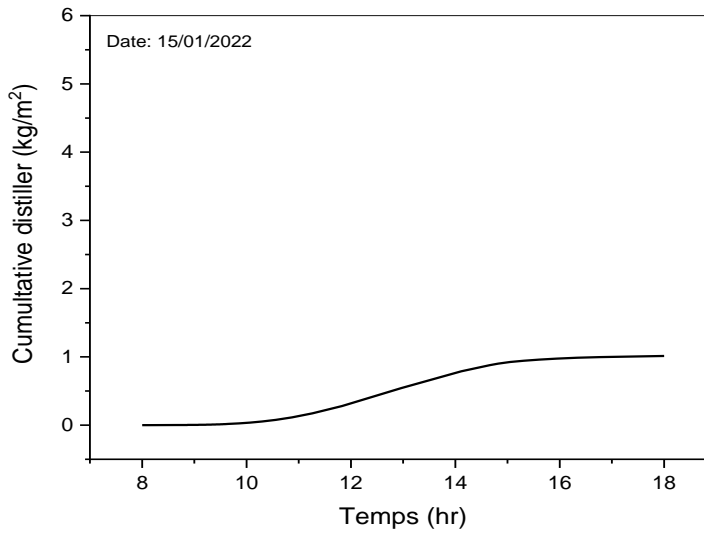
توضح المنحنيات تغيرات كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين (1) و (2) بدلالة الزمن



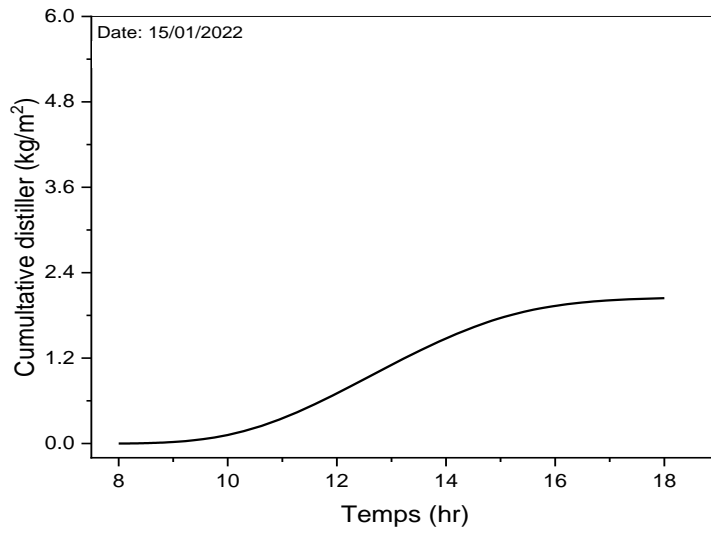
الشكل (44-IV): تغيرات المياه المنتجة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 ديسمبر 2022



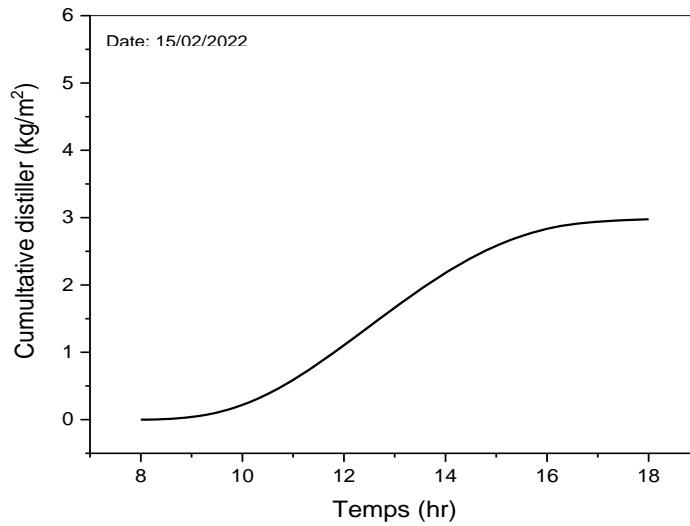
الشكل (45-IV):تغيرات المياه المنتجة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 ديسمبر 2022



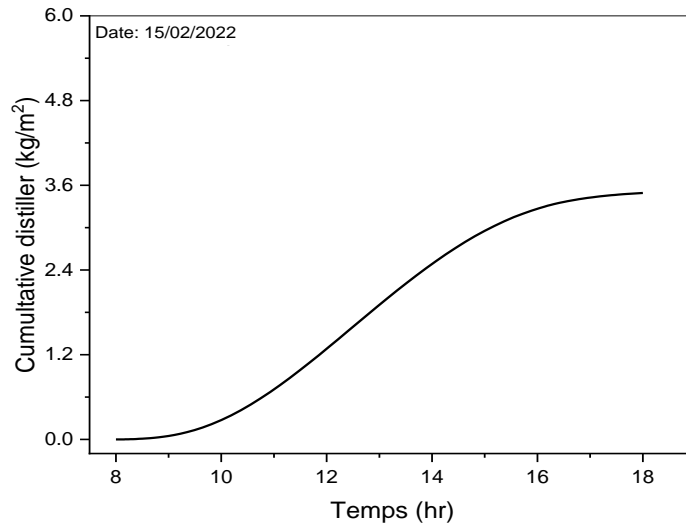
الشكل (46-IV):تغيرات المياه المنتجة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 جانفي 2022



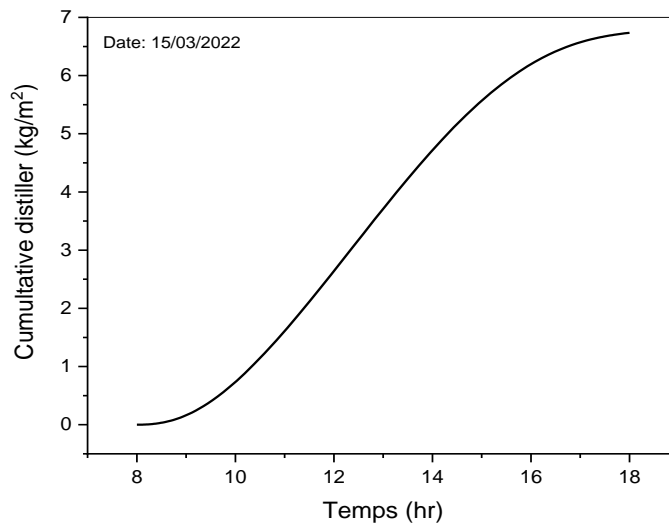
الشكل (47-IV): تغيرات المياه المنتجة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 جانفي 2022



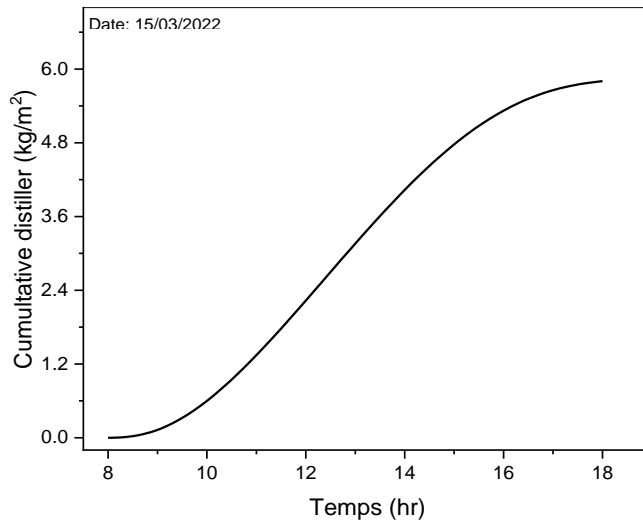
الشكل (48-IV): تغيرات المياه المنتجة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 فيفري 2022



الشكل (49-IV): تغيرات المياه المنتجة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 فيفري 2022



الشكل (50-IV): تغيرات المياه المنتجة للمقطر (1) بدلالة الزمن 15 مارس 2022



الشكل (51-IV): تغيرات المياه المنتجة للمقطر (2) بدلالة الزمن 15 مارس 2022

تحليل المنحنيات الشكل (44-IV) و (45-IV) و (46-IV) و (47-IV) و (48-IV) و (49-IV) و (50-IV) و (51-IV) :

تمثل منحنيات التغيرات الإنتاجية اليومية للماء المقطر (1) و المقطر (2) بدلالة الزمن حيث نلاحظ أن في 15 ديسمبر كانت إنتاجية على التوالي  $0.566 \text{ kg/m}^2 - 1.64 \text{ kg/m}^2$  و يوم 15 جانفي كانت إنتاجية لمقطرين على التوالي  $1.013 \text{ kg/m}^2 - 2.04 \text{ kg/m}^2$  و اليوم 15 فيفري كانت الإنتاجية حوالي  $2.976 \text{ kg/m}^2 - 3.49 \text{ kg/m}^2$  ، اليوم 15 مارس  $6.38 \text{ kg/m}^2 - 6.735 \text{ kg/m}^2$  .

نلاحظ أن كمية الماء المقطر المجمعة بمرور الزمن لمقطر المحسن أفضل بكثير من المقطر الشاهد ، وسبب ذلك أن التقليل من الضياعات الحرارية للمقطر المحسن مقارنة بالشاهد ساهم في زيادة الإنتاجية بشكل واضح وكبير ، و لكن نلاحظ كمية الماء المقطر المجمعة في يوم 15 مارس كان في المقطر (1) أكبر من المقطر (2) وسبب ذلك أن لاقط الشمسي عمل على رفع درجات حرارة المقطر (2) مما ساهم في الوصول إلي حالة التشبع بشكل سريع من المقطر (1) ، أي أن التحسن كان سلمي في فصل الربيع و هذا ما تم التوصل إليه في العمل التجريبي أنه يمكن الاستغناء عن التحسين في فصل الصيف ( أي عند ارتفاع درجة الحرارة المحيطية ) و الإبقاء على المقطر الشاهد فقط .



**5-2-2-IV) النتائج المستخلصة من المحاكاة العددية:**

- النتيجة 1:** الإشعاع الشمسي يتحكم في زيادة درجات حرارة أجزاء المقطرات الشمسية.
- النتيجة 2:** الظروف الجوية تؤثر على المقطر الشاهد بشكل كبير ومباشرة عكس المقطر المحسن الذي لا تؤثر به.
- النتيجة 3:** لاقط الشمسي مربوط بالصندوق الخشبي الذي يحتوى على المقطر بداخله في الصباح مردودها يكون عموما أحسن من مقطر الشاهد .
- النتيجة 4:** عند مقارنة نتائج التجربة في زاوية  $16^\circ$  كانت متقاربة مع المحاكاة العددية عند نفس الزاوية.
- النتيجة 5:** المقطر الشمسي ذو الزاوية  $30^\circ$  أحسن بكثير من المقطر ذو الزاوية  $16^\circ$  .
- النتيجة 6:** وجود لاقط الشمسي الهوائي متصل من أمام المقطر أحسن من وجود خلية التقطير واحدها و السبب لان ساهم في تفادي الضياع الكبير للحرارة.
- النتيجة 7:** تقارب تساوي في درجات حرارة مدخل ومخرج الصندوق الخشبي، ينجم عنه المحافظة على عدم الضياع في الحرارة .
- النتيجة 8:** عدم وجود ضياعات في الفترة الصباحية بالنسبة لمقطر المحسن .
- النتيجة 9:** الزيادة في الإنتاجية اليومية بدلالة درجة الحرارة المتوسطة للصندوق الخشبي والضياع الحراري وذلك موضح في الجدول (2-IV) .

**جدول (2-IV): نتائج العمل التجريبي**

اليوم	$T_a(^{\circ}C)$	$T_m(^{\circ}C)$	$Q_{Loss 1} (W)$	$Q_{Loss 2} (W)$	الإنتاجية 1 $(\frac{k}{m^2})$	الإنتاجية 2 $(\frac{kg}{m^2})$
07-07-2020	42.38	54	9.96	5.33	3.575	0.946
08-02-2021	28.3	36	230.89	107.54	0.383	1.437
09-02-2021	37	46.5	220.12	122.55	0.983	2.270
10-02-2021	35.8	44.5	92.16	43.46	1.183	2.154

- النتيجة 10:** الزيادة في الإنتاجية اليومية بدلالة درجة السطح الأسود للمقطر (1) و المقطر (2) والضياع الحراري وذلك موضح في الجدول (3-IV) .

جدول (3-IV): نتائج المحاكاة العددية لزاوية  $16^\circ$  و  $30^\circ$

اليوم	$T_a(^{\circ}C)$	$T_{b1}(^{\circ}C)$	$T_{b2}(^{\circ}C)$	$Q_{Loss 1} (W)$	$Q_{Loss 2} (W)$	الإنتاجية 1 $(\frac{kg}{m^2})$	الإنتاجية 2 $(\frac{kg}{m^2})$	
15-02-2022	23.2	71.21	83.64	258.73	189.65	2.47	4.124	$16^\circ$
15-12-2021	24.1	60	56	50	30	0.566	1.64	$30^\circ$
15-01-2022	21.3	62.1	55.2	69	50	1.013	2.04	
15-02-2022	25.5	74.4	72.5	99	89	2.976	3.49	
15-03-2022	33.7	92.5	94.3	160	118	6.735	6.38	

## المراجع :

- [1] Chelgham M, Belhadj M M, Chelgham F, Marif Y, Ouakkaf A and Bouguettaia H 2022 Experimental Investigation of a Single-Slope Basin Still with a Built-in Additional Flat-Plate Solar Air Collector *Appl. Sol. Energy* **58** 250–8

الخاتمة

## الخاتمة

يعتبر التقطير الشمسي وسيلة جيدة وغير مكلفة و بسيطة لإنتاج المياه الصالحة للشرب خصوصا في المناطق الجافة والصحراوية وذلك لوفرة الإشعاع الشمسي فيها خلال معظم أيام السنة فهو يعتمد على الطاقة الشمسية فقط، والمقطر الشمسي البسيط يتكون من مواد بسيطة متوفرة وغير مكلفة كما أنه سهل التركيب والصيانة ، إلا أن كمية الماء الناتجة عن عملية التقطير تكون قليلة مقارنة بالكمية الهائلة للإشعاع الشمسي المستقبل من طرف المقطر البسيط وهذا بسبب الضياعات الحرارية نحو المحيط الخارجي عبر مختلف أجزائه خصوصا على مستوى الحوض. وللحد من هذه الضياعات أو التقليل منها بالأخص في فصل الشتاء قمنا بإجراء دراسة لتحسين أداء المقطر الشمسي البسيط أحادي الميل ومقارنته بمقطر شاهد ، ويتمثل هذا التحسين في عزل المقطر بواسطة صندوق خشبي مربوط بلاقط شمسي هوائي والذي يعمل على تسخين الهواء داخل المغلف الخشبي والحفاظ على درجة الحرارة المحيطة بالحوض وبالتالي تقليل الضياع الحراري للمقطر ، و اعتمد في هذا الموضوع على الدراسة التجريبية لتحسين أداء المقطر الشمسي البسيط باستعمال لاقط الشمسي وتتمينها بالمحاكاة العددية ، و تختلف كل منهما عن الأخرى بزاوية ميلان المقطر الشمسي (العمل التجريبي  $16^{\circ}$  و المحاكاة العددية  $16^{\circ}$  و  $30^{\circ}$ ) ، ونلخص مجمل النتائج المتحصل عليها بالعمل التجريبي و المحاكاة العددية في النقاط التالية:

1. الإشعاع الشمسي يتحكم في زيادة درجات حرارة أجزاء المقطر الشمسي بحيث كلما كان اشعاع شمسي أكبر كانت درجات الحرارة بالنسبة لمقطرين مرتفعة وعكس كلما انخفض انخفضت درجات حرارة .
2. الصندوق الخشبي المربوط بلاقط الشمسي (المقطر 2) تسبب في خفض نسبة الحرارة الضائعة من طرف السطح الأسود وعليه نتج لدينا أن درجات حرارة في مستويات المقطر (2) أكبر من درجات الحرارة في مستويات المقطر (1).
3. كمية الماء المقطر المجمعة في المقطر (2) أكبر بنسبة كبيرة من كمية الماء المقطر المجمعة في المقطر (1) لأن درجة حرارة الماء و درجة حرارة السطح الزجاجي في المقطر (2) أكبر مما هي عليه في المقطر (1) أي أن الفرق في درجة الحرارة بين الماء و السطح الزجاجي في المقطر (2) كان أكبر مما هو عليه في المقطر الأول حيث نسبة التحسين كانت تقدر خلال ايام التجربة بحيث وصلت نسبة التحسين الي % 82 .

4. الضياع الحراري في المقطر (1) كبير جدا مقارنة بالمقطر (2) لأنه معزول عن الظروف المحيطية بفضل لاقط شمسي مربوط بالمقطر الشمسي ، أما المقطر (1) لظروف خارجية ، أي ان الظروف الجوية تؤثر على المقطر الشاهد بشكل كبير ومباشرة عكس المقطر المحسن الذي لا تؤثر به.
5. اللاقط الشمسي مربوط بالصندوق الخشبي الذي يحتوي على المقطر بداخله في الصباح مردودها يكون عموما أحسن من مقطر الشاهد و المقطر الشمسي ذو الزاوية  $30^\circ$  أحسن بكثير من المقطر ذو الزاوية  $16^\circ$  .
6. وجود اللاقط الشمسي الهوائي متصل من أمام المقطر أحسن من وجوده خلية التقطير واحدها و السبب تقارب تساوي في درجات حرارة مدخل ومخرج الصندوق الخشبي، ينجم عنه المحافظة على عدم الضياع في الحرارة.
7. يمكن الاستغناء عن التحسين في فصل الصيف و إبقاء المقطر الشاهد فقط لان التحسن يكون سلبي على إنتاج الماء المقطر.

نظرا للنتائج المحصل عليها في التجارب و المشاكل التي واجهت هذه التجارب ، يجب الأخذ بعين الاعتبار التوصيات التالية :

1. في التجارب المستقبلية ربط لاقط الشمسي بالصندوق الخشبي دون وجود أنابيب ربط لتقليل من الضياع.
2. يجب الأخذ بعين الاعتبار في حالة تحسين المقطر الشمسي في عملية التبخير أن لا تؤثر سلبا في عملية التكتيف و العكس صحيح.
3. استغلال النتائج التجريبية و النظرية و التحكم في أبعاد المقطر و لاقط لشمسي ( تسخين الماء ، تجفيف المنتوجات الزراعية ) ، وفقاً للظروف الجوية لمنطقة ورقلة .
4. إكمال التجارب المتبقية مستقبلا والتي لم يسعفنا الحظ ولم يكفينا الوقت للقيام بها و ذلك من خلال التحسين في التكتيف من اجل انقاص وصول التقطير الي التشبع وذلك بسبب ارتفاع كل من درجة حرارة الحوض ودرجة حرارة الزجاج وتقاربه.

من بين الصعوبات التي واجهتنا خلال أدائنا للعمل التجريبي:

1. عدم ثبات أو استقرار المناخ طيلة أيام التجربة .
2. صعوبة العمل في الجنوب خاصة في فصل صيف لارتفاع درجات حرارة خاصة في وقت الظهيرة .
3. تسريبات الماء من المقطرين مما أدى بنا إلى إعادة فتحه وصيانته أكثر من مرة.

4. انقطاع الكهرباء بشكل مستمر.
5. عدم توفر الأجهزة اللازمة لانجاز التجربة خاصة من ناحية المزدوجات الحرارية لعدم توافرها وصعوبة الحصول عليها لارتفاع ثمن تكلفتها .

# الملحق الأول



## الملحق A (الخواص الحراروفيزيائية و التكلفة المواد المستعملة)

## 1) الخواص الحراروفيزيائية لبعض المواد الصلبة المستعملة

جدول (1-A): الخواص الحراروفيزيائية لبعض المواد و الكتل السطحية للمواد المستعملة

طبيعة المادة	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (J/kg.k <sup>o</sup> )	$\lambda$ (w/m.k <sup>o</sup> )	$a$ (m <sup>2</sup> /s)
الألمنيوم	2700	0,86	204	0,86
الزجاج	2 530	0,84	1,2	0,58
الخشب	410	1,25	0,23	0,45
البوليستيران	44	-	0,037	-
الجالفنيز	-	-	20	-

## 2) التكلفة المواد المستعملة

جدول (2-A): التكلفة المواد المستعملة في التجربة.

المادة المستعملة	التكلفة (دولار)	التكلفة (دينار)
الخشب	13.06	3500
الجلفانيز	6.76	2000
الألمنيوم	7.14	1200
الزجاج	10.06	2500
الأنايب البلاستيك	2.85	1500
خزان الماء	4.28	1500
التكلفة الكلية	<b>44.15</b>	<b>12200</b>

## الملحق الثاني

## الملحق B (الأرقام اللابعدية)

## مقدمة

إن الأرقام اللابعدية الموجود في العلاقات الرياضية الموضحة للظواهر الفيزيائية هي أرقام مقارنة بين ظاهرتين أو أكثر، ومن بين تلك الأرقام المستعملة في ظاهرتي انتقال الحرارة والكتلة وكمية الحركة نجد : رينولدز، نوسالت، براندل، جراشوف، رايلي. ولتعريف هذه الأرقام نعرف الأبعاد الفيزيائية التالية :

•  $x$  : البعد الخاص بسريان المائع في أي نظام سريان.

•  $d$  : نصف قطر الماسورة الخاصة بسريان المائع.

•  $\delta$  : سمك الطبقات الحدية.

•  $L$  : طول الصفيحة المستوية.

## 1) رقم "رينولدز" (REYNOLDS)

$$(B-1) \quad Re = \frac{\rho U^2/x}{\mu U/x^2} = \frac{\rho U x}{\mu} = \text{(قوة اللزوجة) / (قوة العطالة)}$$

يقارن بين قوة العطالة للمائع (  $\rho U^2/x$  ) وعمل قوة اللزوجة (  $\mu U/x^2$  ) في بعد خاص لسريان المائع  $x$  وذلك بعد أخذ مرجع لقياس هذا البعد الخاص، و  $x$  يساوي  $d$  في حالة السريان داخل أنبوب أو قناة للسريان.

## 2) رقم "نوسالت" (NUSSELT)

وله ثلاثة أشكال حسب هندسة النظام :

$$(B-2) \quad Nu = \frac{h.S. \Delta T}{\lambda.S.(\Delta T/x)} = \frac{h.x}{\lambda} = \text{(كمية الحرارة المتبادلة بالتوصيل) / (كمية الحرارة المتبادلة بالحمل)}$$

$$(B-3) \quad Nu = \frac{\left(-\frac{\partial T}{\partial y}\right)_{y=0}}{\frac{\Delta T}{L}} = \text{(متوسط تدرج درجة الحرارة) / (تدرج درجة الحرارة على الجدار)}$$

$$(A-4) \quad Nu = \frac{L}{\delta_t} = \text{(سمك الطبقة الحدية الحرارية) / (طول الصفيحة المستوية)}$$

## 3) رقم "برانتل" (PRANDTL)

$$(B-5) \quad Pr = \frac{v}{a} = \frac{\mu/\rho}{\lambda/\rho C_p} = \frac{\mu C_p}{\lambda} = \text{(الانتشارية الحرارية) / (الانتشارية الحركية)}$$

يقارن بين انتشار المقدارين الفيزيائيين الحرارة و الكتلة، ونقصد بانتشار الحرارة هو التوصيل الحراري و انتشار الكتلة هو الانتشار الجزئي للمادة. و يقارن كذلك بين توزيع السرعة الخطية و توزيع درجة الحرارة.

**4) رقم "جراشوف" (GRASHOF)**

إن الحركة بالحمل الطبيعي الناتجة من تغير الكتلة الحجمية ودرجة الحرارة و تركيز المادة في نقطة ما، يؤدي إلى تعريف رقم ذو أهمية كبيرة في الحسابات و العلاقات التجريبية، والحمل الطبيعي أو الحر سواءً كان حراريا أو كتليا يكون في حالة غياب أي محفز لحركة المائع (القوى الخارجية معدومة) ما عدى القوى الداخلية كقوة العطالة و قوة أرخميدس والقوة الناتجة من تغير الكتلة الحجمية للمائع .

ونعرف معاملات التمدد عند ثبوت الضغط الخارجي :

$\beta$  : معامل التمدد الحراري تحت ضغط ثابت .  $\xi$  : معامل التمدد الكتلي تحت ضغط ثابت .

$$(B-6) \quad Gr_t = \beta \Delta T \frac{gx^3}{\nu^2} \quad \text{ou} \quad \beta = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right) \quad \text{GRASHOF thermique}$$

$$(B-7) \quad Gr_M = \xi \Delta y_M \frac{gx^3}{\nu^2} \quad \text{ou} \quad \xi = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial y_M} \right) \quad \text{GRASHOF massique}$$

تعريف : يعبر رقم "جراشوف" عن جداء القوة الناتجة من تغيير الكتلة الحجمية و قوة العطالة مقسوم على مربع قوة اللزوجة . ولدنا تغير الكتلة الحجمية يؤدي إلى حدوث قوة أرخميدس و التي لها علاقة مباشرة بالكتلة الحجمية . نقيس القوة بالنسبة لوحدة الحجم، فيكون لدينا :

قوة أرخميدس تساوي  $\Delta \rho . g$  ، قوة العطالة تساوي  $(\rho . U^2/x)$  ، وقوة اللزوجة هي  $(\mu . U/x^2)$  فيكون لدينا :

$$(B-8) \quad Gr_{..} = \frac{(\Delta \rho . g)}{\left( \frac{\mu U}{x} \right)^2} \left( \rho \frac{U^2}{x} \right) = \left( \frac{\Delta \rho}{\rho} \right) \frac{gx^3}{\nu^2} \quad \text{حيث :} \quad \mu = \rho \nu$$

و الدليل السفلي  $\therefore$  يدل على الظاهرتين : انتقال الحرارة  $t = \therefore$  و انتقال الكتلة  $M = \therefore$  .

$$\left( \frac{\Delta \rho}{\rho} \right)_t = \beta \Delta T \quad \text{حراريا :} \quad \left( \frac{\Delta \rho}{\rho} \right)_M = \xi \Delta y_M \quad \text{كتليا :}$$

ملاحظة : نستبدل رقم "رينولدز" برقم "جراشوف" في العلاقات التجريبية و شبه التجريبية في الحمل الطبيعي .

**5) رقم "رايلي" (RAYLEIGH) :** ويعطي بالعلاقة التالية :  $Ra = Gr . Pr$ 

$$Ra_t = Gr_t . Pr = \beta \Delta T \frac{gx^3}{\left( \frac{\mu}{\rho} \right)^2} \frac{\mu C_p}{\rho} = \beta \Delta T \frac{gx^3 \rho}{\mu} \quad \text{ou} \quad \beta = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)$$

$$Ra_M = Gr_M . Pr = \xi \Delta T \frac{gx^3}{\left( \frac{\mu}{\rho} \right)^2} \frac{\mu C_p}{\rho} = \xi \Delta T \frac{gx^3 \rho}{\mu} \quad \text{ou} \quad \xi = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial y_M} \right)$$