

جامعة قاصدي مبراح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة ماستر أكاديمي

مجال : علوم المادة

شعبة : فيزياء

تخصص : فيزياء طاقوية

مقدمة من طرف الطالبة : شناي مبروكة

بعنوان :

## دراسة نظرية وتحليلية حول تحسين أداء المقطر الشمسي البسيط

نوقشت يوم الأربعاء 2024/06/26 أمام لجنة المناقشة المكونة من :

رئيسا	أستاذ	جامعة قاصدي مبراح - ورقلة	محسن حسين
مناقشا	أستاذ محاضر - أ-	جامعة قاصدي مبراح - ورقلة	بالحاج محمد مصطفى
مشرفا	أستاذ محاضر - ب-	جامعة قاصدي مبراح - ورقلة	تخة محمد

الموسم الجامعي : 2023-2024

## الإهداء

الحمد لله أقصى مبالغ الحمد والشكر لله من قبل ومن بعد

أحمد الله عز وجل على منه وعونه لإتمام هذا العمل

نهدي هذا البحث:

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة ونصح الأمة .. إلى نبي الرحمة ونور العالمين..  
سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم.

إلى أبي الغالي وأمي الطيبة نور دري وقدوتي في كل خطوة أخطوها.

إلى سندي وعزوتي اخواني واخواتي كل باسمه.

إلى من جمع مجموعة من الأوراق المبعثرة في شكل مذكرة استاذي ومشرفي على هذا البحث لك مني كل  
التقدير والاحترام وجزاك الله خير الجزاء والإحسان.

إلى كل الأحبة والأصدقاء.

إلى كل الأساتذة الكرام طوال المشوار الدراسي.

# شكر و تقدير

بسم الله الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على سيد الخلق وأشرف المرسلين نبينا محمد عليه أفضل الصلاة وأزكى التسليم، الحمد لله على إحسانه وامتنانه والشكر له على توفيقه.

من منطلق من لم يشكر الناس لم يشكر الله، يسرني أن أوجه شكري لوالديّ على دعمهما لي في طلب العلم، كما أتقدم بخالص الشكر و التقدير للأستاذ المشرف على هذا البحث الدكتور "تحة محمد" على كل التوجيهات العلمية و النصائح التي ساهمت بشكل كبير في إتمام هذه المذكرة ، كما أتقدم بالشكر الجزيل لكل أعضاء لجنة المناقشة على قبولها مناقشة هذا العمل ، و الشكر موصول الى كل من ساعدني على هذا الانجاز من قريب أو من بعيد.

## فهرس العناوين

I	تشكرات
II	إهداء
III	فهرس العناوين
X	فهرس الجداول
VIII	فهرس الأشكال
XI	قائمة الرموز والمصطلحات
1	المقدمة العامة

### الفصل الأول : بحث في المراجع حول تحسين المقطرات الشمسية

5	المقدمة (تصنيف التحسينات على المقطر الشمسي البسيط)
7	(1) الصنف الأول: تقطير بدرجات حرارة عالية
7	(1-1) مقطرات تعمل بالطاقة الشمسية مع مجمع لوجي مستوي
7	(1-1-1) المقطر الشمسي المرتبط بطبقة مستوية موازية للمبخر مع مُجَمِّع لوجي مستوي
8	(2-1-1) المقطر الشمسي المرتبط بطبقة مستوية متعامدة مع المبخر بوجود مُجَمِّع لوجي مستوي
8	(3-1-1) مقطر يعمل بالتدوير الطبيعي للماء
10	(4-1-1) مقطر يعمل بالتدوير القسري للماء
11	(5-1-1) المقطر الشمسي بمسترجع مع مُجَمِّع لوجي مستوي
12	(6-1-1) مقطر يعمل بتأثير مزدوج مع مُجَمِّع لوجي مستوي
13	(2-1) المقطرات الشمسية المرتبطة بمركز قطع مكافئ
14	(1-2-1) مقطرات شمسية تعمل بالتأثير المزدوج ومرتبطة بمُرَكِّز قطع مكافئ
15	(2-2-1) مقطرات شمسية تعمل بمسترجع ومرتبطة بمُرَكِّز قطع مكافئ
16	(3-1) مقطرات شمسية مرتبطة بمجمع أنبوبي مفرغ
18	(4-1) مقطرات شمسية مرتبطة بأنابيب حرارة
19	(5-1) مقطرات شمسية مرتبطة ببركة شمسية
20	(6-1) مقطرات شمسية مرتبطة بنظام هجين (PV/T)
21	(7-1) مقطرات شمسية تعمل بنظام تقطير متعدد الطبقات

22	..... 8-1) مقطرات شمسية تعمل بنظام تقطير متعدد التأثير
23	..... 9-1) مقطرات شمسية تعمل بفقاعات الهواء
24	..... 10-1) مقطرات شمسية هجينة
25	..... 2) النوع الثاني: مقطرات تعمل بتطبيق التسخين المسبق: (Pre-heated)
27	..... 3) النوع الثالث: مقطرات تعمل بالإنتاج الليلي (Nocturnal)
28	..... 4) النوع الرابع: تقطير بتبريد المكثف بدرجات حرارة منخفضة (temperature Low)
30	..... 1-4) مقطرات شمسية تعمل بمكثفات مدمجة. (Built-in condensers)
30	..... 1-1-4) نموذج مكثف مدمج للباحث (Fath and ELsherbiny) سنة 1993
31	..... 2-1-4) نموذج مكثف مدمج للباحث (Belhadj) سنة 2015
31	..... 2-4) مقطرات شمسية تعمل بمكثفات خارجية (External condensers)
32	..... 1-2-4) نموذج مكثف خارجي للباحث (Mohamad) سنة 1994
33	..... 2-2-4) نموذج مكثف خارجي للباحث (Almuhanna) سنة 2014
33	..... 3-4) مقطرات شمسية تعمل بمكثفات داخلية. (Internal condensers)
33	..... 1-3-4) نموذج ثان لمكثف داخلي للباحث (Ahmed ST) سنة 1988
34	..... 2-3-4) نموذج مكثف داخلي للباحث (Kerfah) سنة 2012
35	..... 5) مراجع الفصل الأول

## الفصل الثاني : نمذجة نظرية للمقطر الشمسي البسيط

38	..... المقدمة
38	..... 1) التقطير الشمسي
38	..... 1-1) لمحة عن التقطير الشمسي
38	..... 2-1) مبدأ عمل المقطر الشمسي
39	..... 3-1) أنواع المقطرات الشمسية
39	..... 1-3-1) المقطرات البسيطة
39	..... 2-3-1) مقطر ذو الميل الواحد
40	..... 3-3-1) مقطر بميلين
40	..... 4-3-1) مقطر شمسي أرض - ماء
40	..... 5-3-1) المقطرات المتعددة
40	..... 6-3-1) المقطر الشمسي متعدد الطوابق
41	..... 4-1) العوامل الداخلية و الخارجية المؤثرة على مردود المقطر

41	.....العوامل الخارجية. (1-4-1)
42	.....العوامل الداخلية. (2-4-1)
43	.....العوامل الهندسية. (3-4-1)
43	.....الظواهر الفيزيائية الأساسية في عملية التقطير. (2)
43	.....الانتقال الحراري. (1-2)
43	.....التوصيل الحراري. (2-1-1)
44	.....الحمل الحراري. (2-1-2)
44	.....انتقال الحرارة بالإشعاع. (2-1-3)
44	.....استقبال الجسم للإشعاع (الانعكاس-الامتصاص-الامرار). (2-2)
45	.....ظاهري التكثيف و التبخر. (3-2)
46	.....التوازن الحراري في المقطر الشمسي البسيط. (3)
46	.....الفرضيات المبسطة لنمذجة معادلات التوازن. (1-3)
46	.....النموذج الصفري للمقطر البسيط (بدون تحسينات). (2-3)
47	.....فرضيات على المستويات الحرارية في النموذج (SSS). (3-3)
47	.....التحليل النظري للمستويات داخل خلية التقطير في النموذج: (SSS). (1-3-3)
48	.....التدفق الكتلي والمقادير الحرارية في النموذج (SSS). (2-3-3)
48	.....العبارات الخاصة بالمقادير الحرارية في النموذج (SSS). (3-3-3)
52	.....معاملات انتقال الحرارة بين المستويات الحرارية في النموذج (SSS). (4-3-3)
54	.....الخاتمة. (4)
55	.....مراجع الفصل الثاني. (5)

### الفصل الثالث : الدراسة التحليلية للمقادير الفيزيائية في المقطر الشمسي البسيط

58	.....المقدمة. (1)
58	.....المنحنيات المساعدة في حساب و و و التدفقات الحرارية الضائعة. (2)
67	.....المردود الطاقوي (الداخلي والكتلي) للتقطير. (3)
68	.....فعالية التبخير في الانتقال الحراري. (4)
69	.....التدفقات الكتلية. (5)
69	.....العلاقة بين التدفقات الكتلية. (6)
70	.....المردود الكتلي للتقطير. (7)
70	.....القيمة الفعلية للتدفق الكتلي للماء المقطر باستعمال فعالية التبخير. (8)
71	.....العلاقة النظرية للتدفق الكتلي للماء المقطر باستعمال معادلة توازن الطاقة في الزجاج. (9)
72	.....تغيرات التدفق الكتلي للماء المقطر. (10)
75-74	.....الخاتمة.

## فهرس الأشكال

### الفصل الأول : بحث في المراجع حول تحسين المقطرات الشمسية

- 6 تصنيف المقطرات الشمسية التي تخضع لتحسينات حسب (Sampathkumar et al. 2010; Kabeel et al. 2016; Tiwari and Tiwari 2008) الشكل (1-1)
- 7 رسم تخطيطي للتأثيرات المتعددة (مُجمَع لوجي مستوي + طبقة مستوية موازية للمبخر .....(Yadav and Prasad. 199) الشكل (2-1)
- 8 رسم تخطيطي للتأثيرات المتعددة (مُجمَع لوجي مستوي + طبقة مستوية موازية للمبخر) ..... (Kiatsiriroat et al. 1987) الشكل (3-1)
- 9 رسم تخطيطي لنظام التقطير..... الشكل (4-1)
- 10 رسم تخطيطي لمقطر شمسي مدمج مع مجمع لوجي مستوي ..... (Tiwari and Dhiman. 1991) الشكل (5-1)
- 12 مقطع عرضي لمقطر شمسي يعمل بمسترجع مع وجود مجمع لوجي مستوي ..... (Tiwari and Sinha. 1993) الشكل (6-1)
- 13 تغيرات إنتاجية الماء للحوض العلوي و السفلي (Kumar Sanjeev and Tiwari. 1999) الشكل (7-1)
- 13 عرض تخطيطي لأنظمة ذو أحواض مزدوجة مختلفة (Yadav. 1996) الشكل (8-1)
- 14 رسم تخطيطي للمقطر الشمسي المرتبط بمُرَكِّز قطع مكافئ ( Zeinab and Ashraf. ) الشكل (9-1)
- 15 نظام تقطير يعمل بالتأثير المزدوج ومرتبطة بمُرَكِّز قطع مكافئ( Bhagwan Prasad and Tiwari. 1996) الشكل (10-1)
- 16 تغيرات الإنتاج اليومي بدلالة سمك الماء لنظام يعمل بمسترجع ومرتبطة بمُرَكِّز قطع مكافئ (Sanjay Kumar and Sinha. 1996) الشكل (11-1)
- 17 رسم تخطيطي لمُجمَع الأنوب المفرغ أوينز-إلينويس (Owens-Illinois) (Tiwari et al. 2007) الشكل (12-1)
- 18 إجمالي الناتج اليومي للمقطرات الشمسية المستعملة (al. 2007 Tiwari et) الشكل (13-1)
- 19 رسم التخطيطي لنوع الانتشار متعدد التأثير مقترناً بجمع الطاقة الشمسية لأنابيب الحرارة..... الشكل (14-1)
- 20 رسم التخطيطي لبركة شمسية مصغرة مدمجة مع مقطرين شمسين (حوض بسيط- حوض مدرج) (Velmurugan et al. 2009) الشكل (15-1)
- 21 رسم تخطيطي لمقطرات شمسية مرتبطة بنظام هجين (PV/T) (and Kumar Shiv) الشكل (16-1)
- ..... (Tiwari. 2009)

22	رسم التخطيطي لمقطر شمسي يعمل بنظام تقطير متعدد الطبقات (al. et Ahmed) (2009) .....	الشكل (17-1)
23	رسم التخطيطي لمقطرات شمسي يعمل بنظام تقطير متعدد التأثير ( Adel M ) (Abdel Dayem. 2006) .....	الشكل (18-1)
24	رسم التخطيطي لمقطر شمسي يعمل بفقاعات الهواء (Pandey. 1984) .....	الشكل (19-1)
25	رسم التخطيطي لمقطر شمسي هجين ( Mathioulakis and Belessiotis. ) (2003) .....	الشكل (20-1)
26	رسم التخطيطي لمقطر يعمل بتطبيق التسخين المسبق مع تدفق الماء فوق الغطاء الزجاجي (Tiwari et al. 1985) .....	الشكل (21-1)
27	رسم التخطيطي لمقطر يعمل بتطبيق التسخين المسبق (Ashok Kumar and) (Tiwari. 1990) .....	الشكل (22-1)
28	حوض تقطير مزدوج مع تدفق مياه تسخين ثابتة (al et Gupta) .....	الشكل (23-1)
28	رسم التخطيطي لمقطر شمسي أنبوبي مزود بعلبة معدنية سوداء (and Tiwari) (Kumar Ashok) .....	الشكل (24-1)
30	تخطيط لوحدة تقطير أحادية الميل بمكثف مدمج من اقتراح ( Fath and ) (ELsherbiny. 1993) .....	الشكل (25-1)
31	حوض أحادي ذو ميل مزدوج مرتبط بخلية تكثيف من اقتراح ( Belhadj et al. ) (2015) .....	الشكل (26-1)
32	تخطيط يوضح آلية سحب البخار من المقطر باستخدام مضخة (Kabeel et al. 2016) .....	الشكل (27-1)
32	عرض تخطيطي للمقطر الشمسي الكهروحراري من اقتراح (Nijegorodov et all. 1994) .....	الشكل (28-1)
33	صورة للتركيب التجريبي لمقطر شمسي مرتبط بمكثف خارجي ( Almuhanha ) (2014) .....	الشكل (29-1)
34	مخطط لمقطر شمسي مرتبط بمكثف داخلي (Ahmed ST et al. 1988) .....	الشكل (30-1)
34	مخطط لمقطر شمسي مرتبط بمكثف داخلي (Rabah et al. 2012) .....	الشكل (31-1)

### الفصل الثاني : نمذجة نظرية للمقطر الشمسي البسيط

39	مبدأ عمل المقطر الشمسي البسيط بشكل عام.....	الشكل (1-2)
39	المقطر البسيط ذو الميل الواحد.....	الشكل (2-2)
40	المقطر البسيط بميلين.....	الشكل (3-2)
40	مقطر شمسي أرض - ماء.....	الشكل (4-2)



41	.....المقتر الشمسي المتعدد الطوابق.....	الشكل (2-5)
45	.....مخطط يوضح استقبال الإشعاع من طرف جسم غير عاتم.....	الشكل (2-6)
45	.....وعاء به ماء سائل تحت التبخير في غياب الحمل الكتلي و الحراري.....	الشكل (2-7)
47	.....رسم تخطيطي للتدفقات الحرارية على المقطر الشمسي.....	الشكل (2-8)
50	.....مخطط يوضح الإشعاعات الحرارية المارة عبر مختلف أجزاء المقطر (SSS).....	الشكل (2-9)

### الفصل الثالث : الدراسة التحليلية للمقادير الفيزيائية في المقطر الشمسي البسيط

59	.....المعامل الحراري بفعل التبخير.....	الشكل (3-1)
60	.....معامل الانتقال الحراري بالإشعاع.....	الشكل (3-2)
60	.....معامل الحمل الحراري.....	الشكل (3-3)
61	.....المعامل الحراري الكلي.....	الشكل (3-4)
61	.....التدفق الحراري الكلي.....	الشكل (3-5)
62	.....النسب الحرارية الداخلية للتبخير والحمل والإشعاع.....	الشكل (3-6)
63	.....التدفق الكتلي.....	الشكل (3-7)
64	.....التدفق الحجمي في 24 ساعة لمقطر شمسي بتغذية حرارية اصطناعية.....	الشكل (3-8)
64	.....التدفق الحجمي لبخار الماء ب $L/m^2 \cdot jour$ .....	الشكل (3-9)
66	.....تغير معامل الانتقال الحراري بالحمل بين الغطاء والجو.....	الشكل (3-10)
68	.....عوامل الامتصاصية والإمرارية وتأثيرها على $G$ الوارد بزاوية $i$ .....	الشكل (3-11)
68	.....زاوية ورود الإشعاع الشمسي $G$ وعوامل الامتصاص الإشعاعي في حوض التقطير.....	الشكل (3-12)
70	.....التدفقات الكتلية للماء في حوض التقطير.....	الشكل (3-13)

## فهرس الجداول

### الفصل الأول : بحث في المراجع حول تحسين المقطرات الشمسية

9	اهم الدراسات التي تمت من قبل بعض الباحثين التي تخص هذا النظام.....	جدول (1-1)
10	اهم الدراسات والأبحاث التي تمت من قبل بعض الباحثين التي تخص بهذا النموذج.....	جدول (2-1)
17	اجمالي العائد اليومي لمُجمِّع الأنبوب المفرغ أوينز-إلنيوز.....	جدول (3-1)
23	الناتج اليومي للماء المقطر حسب طريقة التقطير بفقاعات الهواء (Pandey, 1984).....	جدول (4-1)

### الفصل الثاني : نمذجة نظرية للمقطر الشمسي البسيط

49	بعض الخصائص الفيزيائية للمواد المستعملة في المقطر.....	جدول (1-2)
53	المقادير الإشعاعية للمستويات الثلاث.....	جدول (2-2)

### الفصل الثالث : الدراسة التحليلية للمقادير الفيزيائية في المقطر الشمسي البسيط

68	قيم الامتصاصية الإشعاعية الفعالة للماء حسب زاوية الورود للإشعاع الشمسي بالنسبة للغطاء.....	جدول (1-3)
73	قيم المُعامِلات الداخلة في العبارة النظرية للتدفق الكتلي لبخار الماء حسب المستوى.....	جدول (2-3)

## قائمة الرموز و الاصطلاحات

الرموز	الاصطلاحات (الرموز اللاتينية)	الوحدة
$A$	المساحة.....	$m^2$
$\dot{D}$	التدفق الكتلي للماء.....	$Kg/m^2.s$
$G$	التدفق الإشعاعي الشمسي الساقط على السطح الزجاجي.....	$W/m^2$
$h$	معامل الحمل الحراري.....	$W/m^2.K$
$h_c$	معامل الانتقال الحراري بالحمل.....	$W/m^2.K$
$h_e$	معامل الانتقال الحراري بفعل التبخير.....	$W/m^2.K$
$h_r$	معامل الانتقال الحراري بالإشعاع.....	$W/m^2.K$
$H_w$	الحرارة الكامنة للتبخير.....	$J / Kg$
$K$	معامل الإنتقال الكتلي.....	$m/s$
$M$	الانبعاثية الإشعاعية للسطح الباث.....	$W/m^2$
$M_a$	الكتلة المولية للهواء.....	$g/mol$
$\dot{m}$	التدفق الكتلي لبخار الماء.....	$Kg/m^2.s$
$P_w$	ضغط بخار الماء بجوار سطح الماء المالح.....	$Pa$
$P_{wg}$	ضغط بخار الماء عند الجدار الداخلي للغطاء.....	$Pa$
$Q$	الإستطاعة الحرارية.....	$W$
$Q_s$	الطاقة المشعّة للشمس.....	$W$
$Ra$	رقم رايلي (RAYLEIGH) لإنتقال الحرارة بالحمل الحر.....	-
$\dot{S}$	التدفق الكتلي للمحلول الملحي.....	$Kg/m^2.s$
$t$	الزمن.....	$s$
$T$	درجة الحرارة.....	$^{\circ}C$
$U$	السرعة.....	$m/s$
$V$	الحجم.....	$m^3$
<b>الرموز الإغريقية</b>		
$\alpha$	معامل الامتصاص الإشعاعي.....	-
$\varepsilon$	معامل الانبعاث الإشعاعي للسطح الباث.....	-
$\tau$	معامل الإمرار الحراري.....	-
$\lambda$	التوصيلية الحرارية.....	$W/m.^{\circ}C$

$Kg/m^3$	..... الكتلة الحجمية	$\rho$
-	..... معامل الانعكاس الحراري	$\rho$
$W/m^2.K^4$	..... ثابت ستيفان-بولتزمان	$\sigma$
بدون وحدة	..... المردود الحراري الكلي $\eta_0 = Q_e/G$	$\eta_0$
بدون وحدة	..... الزيادة في الانتقال الحراري بفعل التبخير	$\eta_{év}$
بدون وحدة	..... المردود الحراري الداخلي $\eta_i = Q_e/\alpha_{weff} G$	$\eta_i$
بدون وحدة	..... المردود الكتلي الداخلي $\eta_M = \left( \dot{D}/\dot{A} \right)$	$\eta_M$

### الدليل السفلي

-	..... 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 (giass)	$g$
-	..... التبادل الحراري بالتبخير بين الماء و الغطاء الزجاجي	$ev, w - g$
-	..... الضياعات الحرارية عبر طبقة البوليستيران	$lose1$
-	..... الضياعات الحرارية عبر العوازل الخشبية	$lose2$
-	..... 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)	$w$

# المقدمة العامة

## المقدمة العامة

منذ القدم ارتبط الماء بالحياة نفسها لقوله تعالى في كتابه الكريم : " وجعلنا من الماء كل شيء حي أفلا يؤمنون " فالماء يعد ذلك السائل العجيب، والقاعدة الأساسية التي تقوم عليها الحياة فوق الأرض ومما لاشك فيه أن الماء كان ولا يزال أولى أساسيات بقاء الإنسان وازدهاره .فهو يعتبر مصدرا حيويا أساسيا وبالرغم من أن نسبة الماء على سطح الكرة الأرضية 71 % إلا أن 95 % مياه مالحة و 3 % مياه عذبة، ثلثي هذه المياه العذبة متجمد في القطبين الشمالي والجنوبي إلا أن الكثير من الدول في العالم تعاني نقص المياه الصالحة للشرب فمياه الأنهار ليس من السهل الوصول إليها. هذا من جهة ومن جهة أخرى غالبا ما تكون غير مطابقة لقواعد حفظ الصحة. وتعتبر الجزائر واحدة من بين الدول التي تعاني من ندرة المياه الصالحة للشرب، لهذا لجأت إلى تحلية ماء البحر، بالرغم من أنه يتواجد بها مصادر طبيعية لمياه الشرب، لكنها محدودة جدا، ولا تكفي لسد الحاجيات الضرورية التي تتزايد بشكل سريع جدا فمن الطبيعي والمنطقي إذا البحث عن طرق أخرى لحل هذا العجز لاستخراج الملح من ماء البحر بهدف الحصول على ماء صالح للشرب.

يمكن للماء أن يسخن فيتبخر(أي يتحول إلى الحالة البخارية)كما يمكن أن يبرد أو يتجمد (أي يتحول إلى الحالة الصلبة). وبما أن للماء هاته الخصائص فقد توصل الإنسان إلى استخراج الماء الصالح للشرب بكميات كافية وبتمن مناسب باستخدام المياه المالحة، وذلك لتحقيق التوازن بين الطلب والعرض وهذا بتصفية المياه وإنتاج الماء وذلك باستعمال الطاقة الكهربائية أو الحرارية، ولكن هذا يكون مكلف في بعض الأحيان وخاصة للتجمعات الفقيرة والمعزولة، ومن هذا المنطلق تم التوجه نحو إستغلال الطاقة الشمسية والتي تعتبر المصدر الأساسي لجل الطاقات المتجددة المعروفة في حاضرتنا الآن، كالطاقة الكهروضوئية وطاقة الرياح، ويعتبر التقطير الشمسي كحل لمشكلة نقص المياه الصالحة للشرب في المناطق الجافة الصحراوية حيث أن إنتاج الماء النقي بتقنية التقطير الشمسي لها آفاق كبيرة في المستقبل، وذلك لأن الطاقة المستهلكة في الإنتاج هي طاقة حرارية أصلها الإشعاع الشمسي الملتقط من سطوح سوداء، وهذه السطوح تسخن عند استقبالها لأشعة الشمس ومنه يمكن الاستفادة من الحرارة التي يمكن تحويلها إلى حرارة تبخير للماء المالح، فتبقى الأملاح مترسبة فوق السطح الساخن وينتج لنا بخار ماء نعرض البخار لسطح بارد فتحدث عملية التقطير.

وهذا ما تطرقت له هذه الدراسة بالاستعانة بنمذجة مقطر شمسي بسيط بميل واحد ذو أبعاد قياسية (1متر×1متر)، والبحث عن تأثير العوامل الداخلية والخارجية على إنتاجية الجهاز. ومن هذا المنطلق تم وضع النماذج النظرية وشبه تجريبية للمقادير الفيزيائية الخاصة بانتقال الحرارة والكتلة داخل وخارج خلية التقطير لمعرفة تأثيرها على إنتاجية الماء المقطر لكل متر مربع من الجهاز في اليوم الواحد .

والهدف الأساسي لهذه الدراسة هو اظهار مدى أهمية وضع نماذج رياضية قبل التصنيع وفهم ماذا يجب أن نستعمل من مواد حسب دجورها في نقل أو عزل الحرارة، وكذلك في تجميع الماء وجعله يدور في الجهاز من دخوله كماء مالح وخروجه كماء نقي خالي من الأملاح.

تحتوي هذه الدراسة إجمالاً على ثلاث فصول حيث تعطي في الفصل الأول أنواع المقطرات الشمسية بالتفصيل وبالرسومات التخطيطية لكل نوع من الأنواع، كما تعرض تقنيات تصفية المياه المالحة ومبدأ عملها، أما في الفصل الثاني فيعرض الدراسة النظرية للمقطر الشمسي البسيط وحيد الميل حيث يدرس هذا الفصل مختلف العلاقات النظرية الخاصة بالظواهر الفيزيائية الداخلة في عملية التقطير(انتقال الحرارة، تغير الطور، ظاهرتا التكثيف والتبخير، الإشعاع الشمسي)، و الفصل الثالث تتم دراسة مختلف المقادير الفيزيائية على مستوى العقد الحرارية للمقطر(الزجاج، الماء، السطح الأسود)، ثم يأتي سرد النتائج النظرية التي تمت على المقطر المقترح في الدراسة والتوصيات التي يجب أخذها بعين الاعتبار في التصنيع وهذا كله مدون في الخلاصة العامة.

# الفصل الأول

بحث في المراجع حول تحسين المقطرات الشمسية



## المقدمة :

يقدم هذا الفصل مراجعة تفصيلية للتطورات التكنولوجية الحالية لأنظمة التقطير الشمسية المختلفة التي طورها العديد من الباحثين، بما في ذلك مبادئ العمل، والتحسينات التي تم تحقيقها في الكفاءة الحرارية، وإنتاج المياه، والمقارنة مع المقطرات الشمسية التقليدية دون إضافات. تمتد هذه المراجعة أيضاً إلى النمذجة الحرارية للعديد من أنظمة التقطير الشمسية الحالية، والدراسات المقارنة لمختلف نواتج التقطير الشمسية، و ومازالت الدراسات مستمرة في البحث والتطوير حتى الآن.

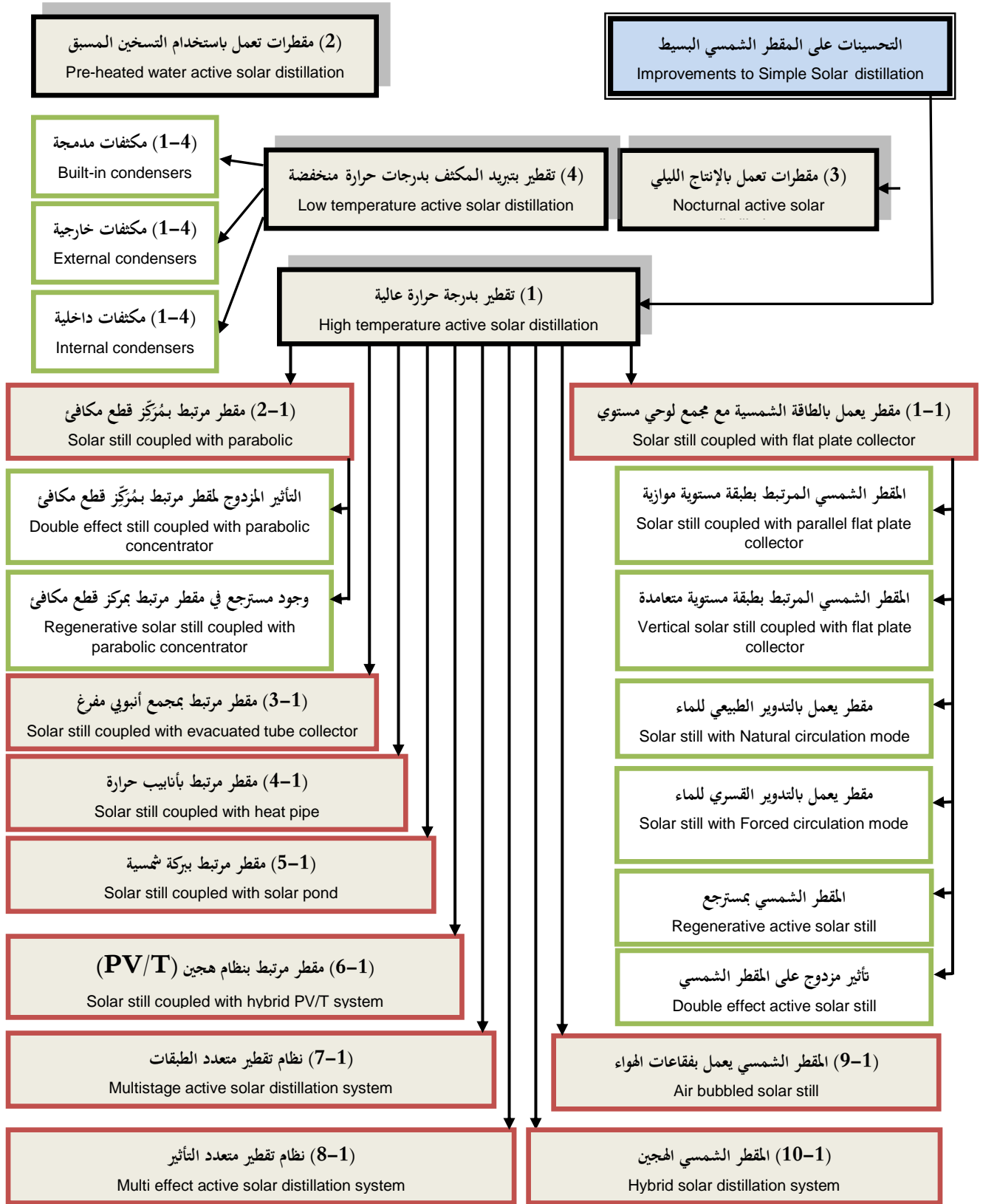
## تصنيف التحسينات على المقطر الشمسي البسيط:

يتم تصنيف أنظمة التقطير الشمسي وفقاً للتحسينات التي تم إجراؤها على هذه الأجهزة لزيادة معدلات إنتاج المياه النقية الخاصة بها. هناك العديد من العوامل التي تؤثر على أداء المقطر الشمسي منها عمق المياه في الحوض ، مادة الحوض ، سرعة الرياح ، الإشعاع الشمسي ، درجة الحرارة المحيطة و زاوية الميل. ويعتمد مردود كل طاقة شمسية على اختلاف درجة الحرارة بين الماء في الحوض والسطح الداخلي للغطاء. في المقطر العادية بدون تحسينات ، يتم استقبال الإشعاع الشمسي مباشرة بواسطة مياه الخزان ، وبما أن الإشعاع الشمسي هو المصدر الوحيد للطاقة لرفع درجة حرارة الماء ، فإن التبخر سيؤدي إلى تعقيم الإشعاع ، وبالتالي تقليل إنتاجية المقطر ؛ هذا هو العيب الرئيسي في المقطرات الشمسية العادية. ومن أجل التغلب على المشاكل المذكورة أعلاه ، تم تطوير العديد من اللقطات الشمسية. لذلك ، يجب توفير طاقة حرارية إضافية للحوض عن طريق مصدر خارجي لزيادة معدل التبخر وبالتالي معدل إنتاجه ، أو عن طريق استخلاص الحرارة من المكثف.

وقد أعتمد على كل من [20] و [21] في مراجعات خاصة بالتحسينات على مستوى المبخرات

والمكثفات على الترتيب، و التصنيف على النحو التالي [22]:

- (1) **تقطير بتسخين المبخر بدرجات حرارة عالية** - ويتم بتغذية الماء الساخن في الحوض من لوحة تجميع شمسية.
- (2) **مقطرات تعمل باستخدام التسخين المسبق** - ويتم بإدخال الماء الساخن في الحوض بمعدل تدفق ثابت.
- (3) **مقطرات تعمل بالإنتاج الليلي** - ويعمل بتغذية الماء الساخن في الحوض مرة واحدة في اليوم.
- (4) **تقطير تبريد المكثف بدرجات حرارة منخفضة** - ويتم في هذا النوع تبريد المكثف بتبادل حراري مع مصدر بارد.



الشكل (1-1): تصنيف المقطرات الشمسية التي تخضع لتحسينات حسب

(Sampathkumar et al. 2010; Kabeel et al. 2016; Tiwari and Tiwari 2008)

## 1) الصنف الأول: تقطير بدرجات حرارة عالية :

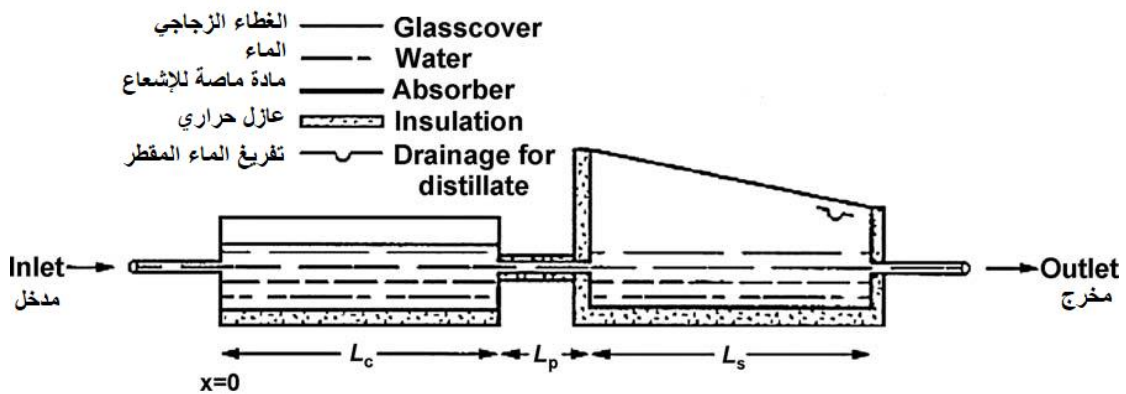
من المعلوم أن درجة حرارة الماء تزداد عن طريق توفير طاقة حرارية إضافية، لذلك يمكن استخدام مُجَمِّعَات الإشعاع الشمسي لتسخين الماء (Solar radiation collectors for heating water). ولتحسين عملية التبخير في المقطرات بدرجات حرارة عالية يمكن رفع درجة الحرارة من المجال (20-50) درجة مئوية إلى (70-80) درجة مئوية. والشكل (1-1) يلخص كل الأنواع التي تعتمد على هذه الطريقة.

### 1-1) مقطرات تعمل بالطاقة الشمسية مع مجمع لوحي مستوي :

يعمل هذا الصنف من المقطرات إما في وضع التدوير القصري فتستخدم المضخة لتزويد المياه، أو بالتدوير الطبيعي للماء حيث يتدفق الماء بسبب اختلاف في كثافته وذلك حسب ما وصفه الباحث [20].

#### 1-1-1) المقطر الشمسي المرتبط بطبقة مستوية موازية للمبخر مع مُجَمِّع لوحي مستوي:

قام الباحث [23] بدراسة تجريبية للمقطر الشمسي المرتبط بمجمع لوحي مستوي موازي لطبقة المبخر ، وأظهرت النتائج زيادة كبيرة في نواتج التقطير ، الرسم التخطيطي في الشكل (1-2) يوضح تركيبة النظام. حيث يتكون المُجَمِّع بشكل أساسي من صفيحة مستوية متوازية ملاصقة للمبخر مع وجود فجوة هوائية تمثل خلية التقطير، يتدفق من خلالها الماء عبر ألياف ماصة، وبعدها يتم تجميع الماء المقطر في أسفل خلية التقطير.



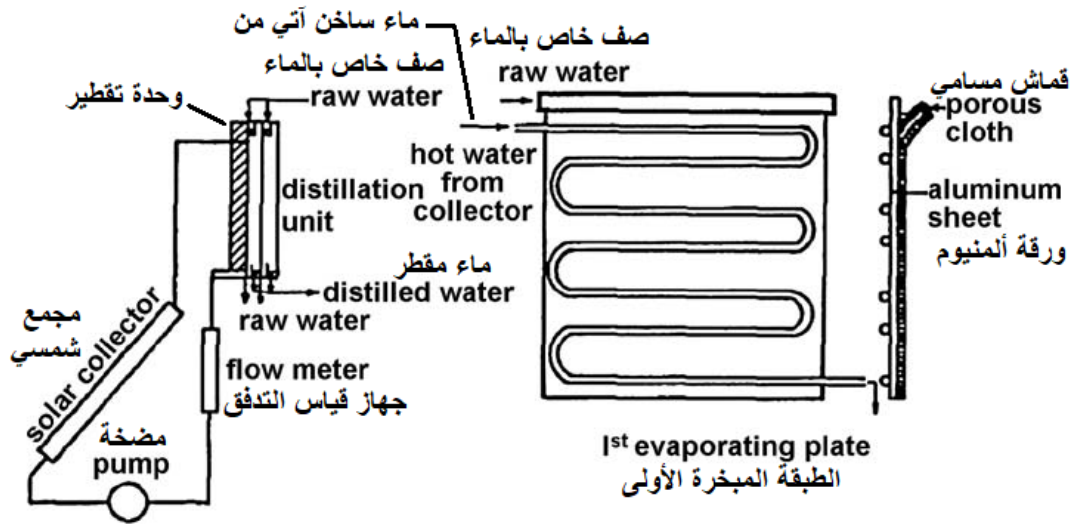
الشكل (1-2) : رسم تخطيطي للتأثيرات المتعددة (مُجَمِّع لوحي مستوي + طبقة مستوية موازية للمبخر

(Yadav and Prasad. 199)

### 2-1-1) المقطر الشمسي المرتبط بطبقة مستوية متعامدة مع المبخر بوجود مُجمِّع لוחي مستوي:

قام الباحث [24] مع فريق بحثه بتحليل التأثير المتعدد على المقطر الشمسي العمودي المقترن بلوح تجميع الطاقة الشمسية المستوي كما يظهر في الشكل الشكل (1-3)، حيث تتكون وحدة التقطير من "n" صفيحة عمودية متوازية مع اللوحة الأولى المعزولة في جانبها الأمامي واللوحة الأخيرة معرضة للجو المحيط.

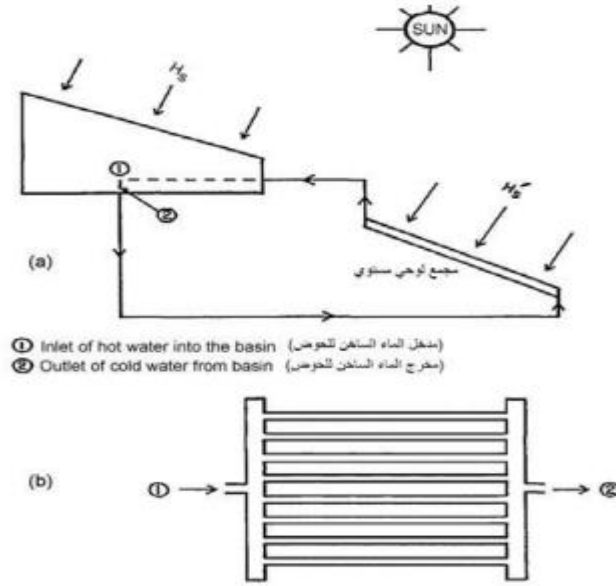
كل لوحة في العلية مغطاة بقطعة قماش مبللة على جانب واحد، يتم تمديد قطعة القماش للأعلى للتغذية بالماء والأسفل لإعادة تدويره للأعلى، ومن الممكن اخراج الماء الزائد إلى أسفل اللوحة بدون تدوير. يتم تبريد اللوحة الأخيرة عن طريق الهواء أو الماء. وجد الباحث أن ناتج التقطير يزداد بشكل طفيف عندما يزيد رقم الصفيحة عن 5، ويزداد بنحو 34% و 15% عندما تكون أرقام ألواح التبخير 1 و 6 على التوالي.



الشكل (1-3): رسم تخطيطي للتأثيرات المتعددة (مُجمِّع لוחي مستوي + طبقة مستوية موازية للمبخر) (Kiatsiriroat et al. 1987)

### 3-1-1) مقطر يعمل بالتدوير الطبيعي للماء:

إن بساطة وموثوقية الأجهزة الحرارية التي تعمل بالتدوير الذاتي بفعل الحرارة (الترموسيفون thermosiphon) يجعلها أكثر فائدة مقارنة مع الأجهزة ذات التدوير القسري، وقد تمت دراسة نظرية لمقطر شمسي بسيط متصل بمجمع لוחي مستوي باستخدام مبادل حراري، ونظام التقطير موضح في الشكل (1-4) التالي:



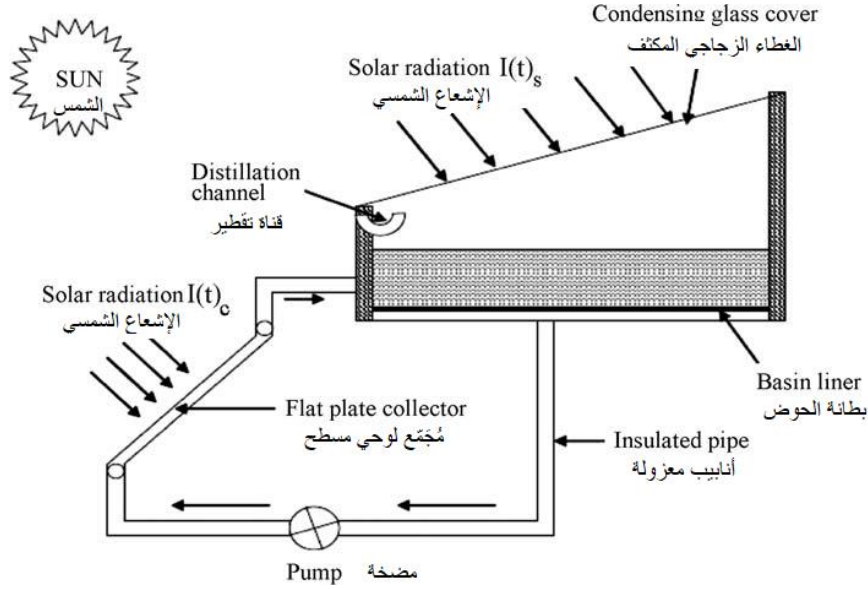
الشكل (1-4) : رسم تخطيطي لنظام التقطير

الجدول (1-1): اهم الدراسات التي تمت من قبل بعض الباحثين التي تخص هذا النظام.

الباحثون	الدراسة	النتائج
(Lawrence et al. 1990)	دراسة نظرية لمقطر متصل بمجمع لوجي مستوي باستخدام مبادل حراري	- كفاءة المقطر المعدل أقل من كفاءة المقطر البسيط . - الإنتاجية تتناقص مع عمق المياه .
(Yadav 1991)	أداء مقطر شمسي مرتبط بمجمع لوجي مستوي بفعل حرارة الترموسيفون، كما وضع التدوير القسري في ظروف مناخية لنيودلبي.	- محصول نظام التدوير القسري اعلى بنسبة <b>10%</b> من نظام الترموسيفون . - زيادة في الإنتاجية بنسبة <b>35%</b> مقارنة بجهاز المقطر الشمسي البسيط .
(Badran, Al-Hallaq, et al. 2005)	إجراء اختبارات على مقطرات شمسية مرتبطة بمجمع لوجي مستوي وباستخدام ماء الصنوبر والماء المالح.	- زيادة في كمية الماء المقطر بنسبة <b>231%</b> عند استعمال ماء الصنوبر كتغذية، و بنسبة <b>52%</b> باستعمال الماء المالح.
(Badran and Al-Tahaineh 2005)	تأثير دمج مجمع لوجي مستوي على إنتاجية المقطر الشمسي.	- الإنتاجية تتناسب مع شدة الإشعاع الشمسي . - زيادة عمق المياه يؤدي الى انخفاض في الإنتاجية (الحد الأقصى لعمق اقل من 2سم)

### 4-1-1) مقطر يعمل بالتدوير القسري للماء:

يزود مُجمِّع اللوح المستوي طاقة حرارية إضافية لحوض التقطير الشمسي، حيث يتم استخدام مضخة لتدوير المياه من الحوض عبر هذا المجمع المستوي إلى الحوض. وأول استخدام لهذه الطريقة كانت من قبل [25] ووجدوا أن إنتاجية المقطر المُحسَّن أكبر بـ 24 % من المقطر البسيط بدون تحسينات. ويوضح [25] في الشكل (1-5) رسم تخطيطي لمقطر شمسي مرتبط مع مُجمِّع لוחي مستوي تحت وضع التدوير القسري للماء [26].



الشكل (1-5): رسم تخطيطي لمقطر شمسي مدمج مع مجمع لוחي مستوي (Tiwari and Dhiman. 1991)

الجدول (1-2): اهم الدراسات والأبحاث التي تمت من قبل بعض الباحثين التي تخص بهذا النموذج.

الباحثون	الدراسة	النتائج
(Rai et al)		مدى تأثير ملوحة الماء في إنتاجية المقطر (الإنتاجية تتناقص مع زيادة تركيز الملح)
(Kumar et al. 1998)	مقطر شمسي مدمج مع مجمع لוחي مستوي تحت وضع التدوير القسري .	تزويد المقطر بعدة مجمعات يزيد من إنتاجيته (يفضل 8 مجمعات من اجل اقصى قدر من الإنتاجية)
الباحثين	الدراسة	النتائج

الإنتاجية مرتبطة بشكل مباشر مع التوصيلية الحرارية للمواد (كلما كانت توصيلية للمادة عالية زادت نسبة الإنتاجية)	دراسة تحليلية و نظرية و تجريبية لمقطر شمسي بمواد غطاء تكتيف مختلفة مدجا مع ملوح شمسي مستوي .	(Dimri et al. 2008)
---	--	---------------------

### 1-1-5) المقطر الشمسي بمسترجع مع مُجمِّع لוחي مستوي:

يمكن تحقيق معدلات تبخر أعلى عندما يكون المقطر الشمسي يعمل في درجات حرارة عالية من خلال توفير الحرارة للحوض من مصدر خارجي. بهذه الطريقة سيتلقى زجاج الغطاء الحرارة الكامنة للتبخر في المقابل ، تزداد درجة حرارة زجاج الغطاء ويقل فرق درجة الحرارة بين زجاج الغطاء وماء الحوض. ينتج عن هذا تبخر منخفض وبالتالي إنتاجية منخفضة. لخفض درجة حرارة الزجاج ، تم توزيع الماء البارد على الغطاء بتدفق منخفض. تنتقل الحرارة من الزجاج إلى المياه المتدفقة ، مما يحافظ على فارق كبير في درجة الحرارة. أيضًا ، إذا كانت درجة حرارة المياه المتدفقة عند المخرج أعلى من درجة حرارة مياه الحوض ، فيمكن تغذية الحوض لزيادة الإنتاج. يسمى هذا النظام بنظام التقطير الشمسي بمسترجع ، ويظهر المخطط المقطع العرضي في الشكل (1-6).

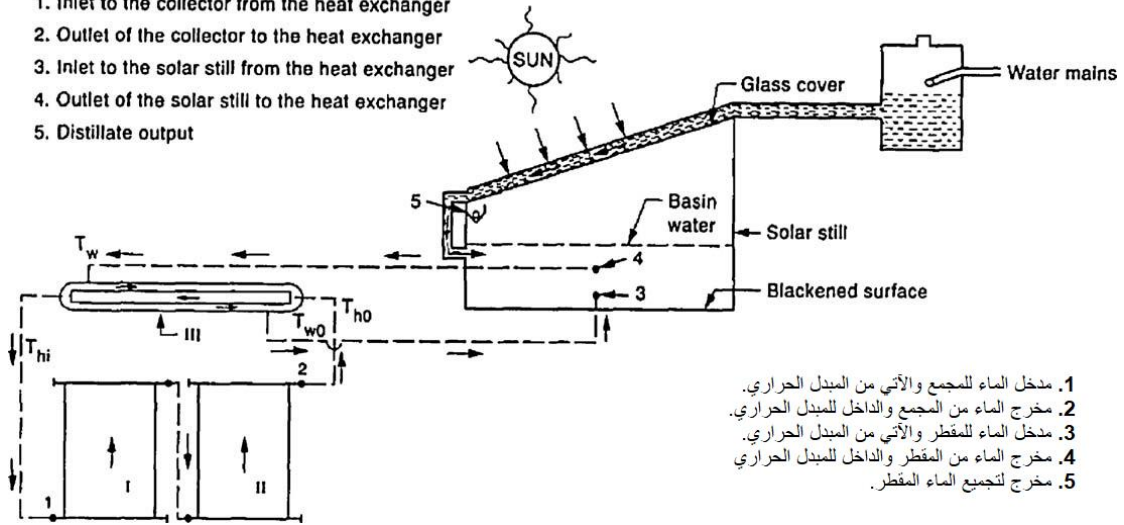
لاحظ [27] بناءً على دراسة تجريبية على مقطرات شمسية بمسترجع أن المقطر الشمسي بمسترجع وبدون مُجمِّع له كفاءة حرارية أكبر من المقطر الشمسي بمسترجع وبوجود مُجمِّع، وتزيد الكفاءة الحرارية مع زيادة تدفق الماء.

I and II Flat-plate collector

III Tube-in-tube heat exchanger (Insulated)

----- Connecting insulated pipe

1. Inlet to the collector from the heat exchanger
2. Outlet of the collector to the heat exchanger
3. Inlet to the solar still from the heat exchanger
4. Outlet of the solar still to the heat exchanger
5. Distillate output



I و II مجمع شمسي لوحي مستوي  
III أنبوب داخل أنبوب للمبادل الحراري (معزول حرارياً)  
----- توصيلات أنبوبية معزولة

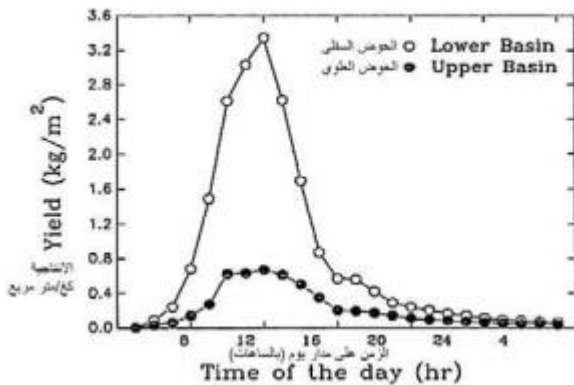
1. مدخل الماء للمجمع والآتي من المبادل الحراري.
2. مخرج الماء من المجمع والداخل للمبادل الحراري.
3. مدخل الماء للمقطر والآتي من المبادل الحراري.
4. مخرج الماء من المقطر والداخل للمبادل الحراري.
5. مخرج لتجميع الماء المقطر.

الشكل (6-1): مقطع عرضي لمقطر شمسي يعمل بمسترجع مع وجود مجمع لوحي مستوي  
(Tiwari and Sinha. 1993)

### 6-1-1) مقطر يعمل بتأثير مزدوج مع مُجمّع لوحي مستوي:

تعتبر درجة حرارة الزجاج عاملاً رئيسياً آخر يؤثر على أداء جهاز التقطير الشمسي ، حيث تزداد معدلات التبخر مع انخفاض درجة حرارة الزجاج. يكون معدل تبخر الماء من سطح الماء أعلى من المعدل الذي تنتقل به الحرارة من الغطاء الزجاجي إلى البيئة المحيطة من خلال عمليات الحمل الحراري والإشعاعي

اجرى [28] تجارب على أداء مقطر شمسي مزدوج التأثير مع تدفق ماء في مجمع لوحي مستوي. وظهرت النتائج ان انتاج الماء في الحوض السفلي زاد بحد أقصى 3,34 كجم/م<sup>2</sup>/سا في منتصف النهار لأن درجة



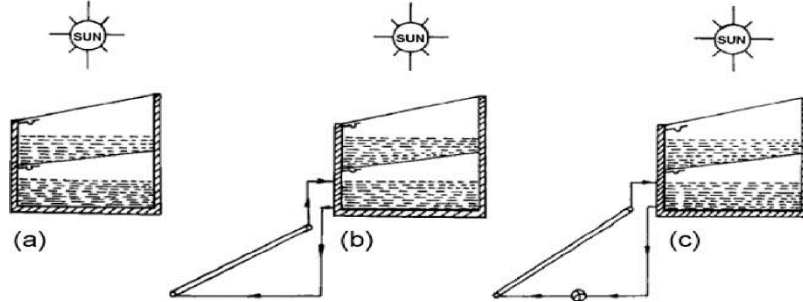
الشكل (7-1): تغيرات إنتاجية الماء للحوض العلوي و السفلي

(Kumar Sanjeev and Tiwari. 1999)

حرارة الماء كانت تصل إلى 95 درجة مئوية في ذلك الوقت كما هو موضح في الشكل الشكل (7-1). وعند زيادة كمية الماء، تنخفض درجة حرارته في الحوض السفلي مما يؤدي إلى انخفاض الإنتاجية والكفاءة. ويزداد الانتاج اليومي مع زيادة مساحة المجمع اللوحي، لأن الطاقة الحرارية في الحوض تزداد مع زيادة مساحة المجمع.



كما أجرى [29] التجارب على مقطر شمسي بحوض مزدوج مرتبط بمجمع لוחي مستوي في وضع الترموسيفون وبمجمع في وضع الدوران القسري كما في الشكل. أظهرت النتائج أن الحوض الشمسي المزدوج الذي كان مقترناً بالمجمع اللوحي المستوي يعمل بشكل أفضل في وضع الدوران القسري مقارنة بوضع الترموسيفون؛ ومع ذلك هذه العروض أفضل من تلك التي ينتجها الحوض المزدوج بدون مجمع.

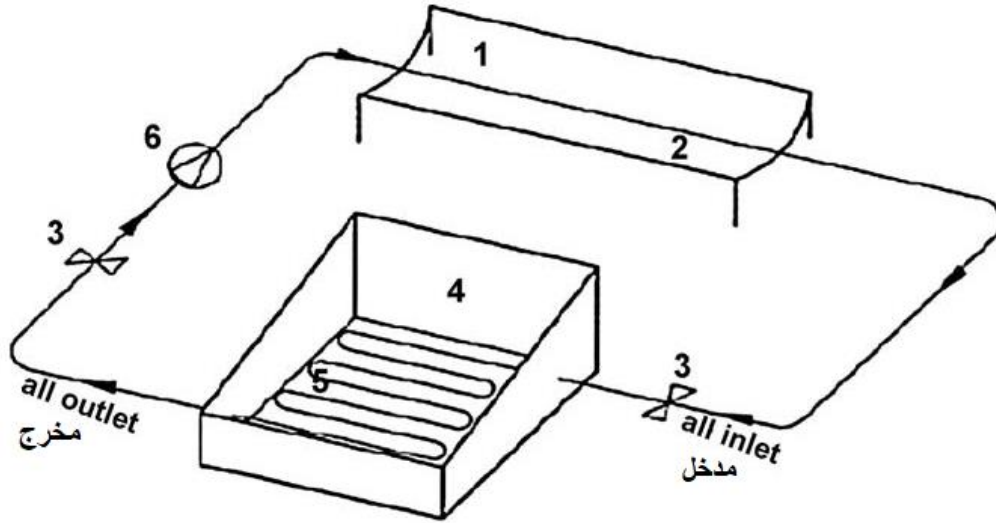


الشكل (1-8): عرض تخطيطي لأنظمة ذو أحواض مزدوجة مختلفة (a) مقطر شمسي بدون مُجَمِّع (b) مقطر شمسي مقترناً بمُجَمِّع في وضع الترموسيفون (c) مقطر شمسي مقترناً بالمُجَمِّع في وضع الدوران القسري

(Yadav. 1996)

## 1-2) المقطرات الشمسية المرتبطة بمركز قطع مكافئ :

تم استخدام أنواع مختلفة من مُرَكِّز على مر السنين بناءً على التطبيقات. لتحقيق إنتاجية أعلى، يظهر الرسم التخطيطي للمقطر الشمسي المرتبط بمُرَكِّز على شكل قطع المكافئ في الشكل (1-9). تعتمد الزيادة في التقطير الشمسي بزيادة درجة حرارة الماء في الحوض. ويتم توفير الماء أو الزيت إلى أنبوب الاستقبال عبر وضع الدوران الطبيعي أو وضع الدوران القسري. وجد [30] تحليلاً لدرجة حرارة الماء المقطر الشمسي مع مجمعات لوحية مستوية ومركز قطع مكافئ من خلال وضع الدوران الطبيعي. وأظهرت النتائج أن كفاءة النظام مع المُجَمِّعات اللوحية أعلى من المُرَكِّزات قطع مكافئ حيث أن معامل نقل الحرارة بالتبخير أعلى في المُجَمِّعات اللوحية.

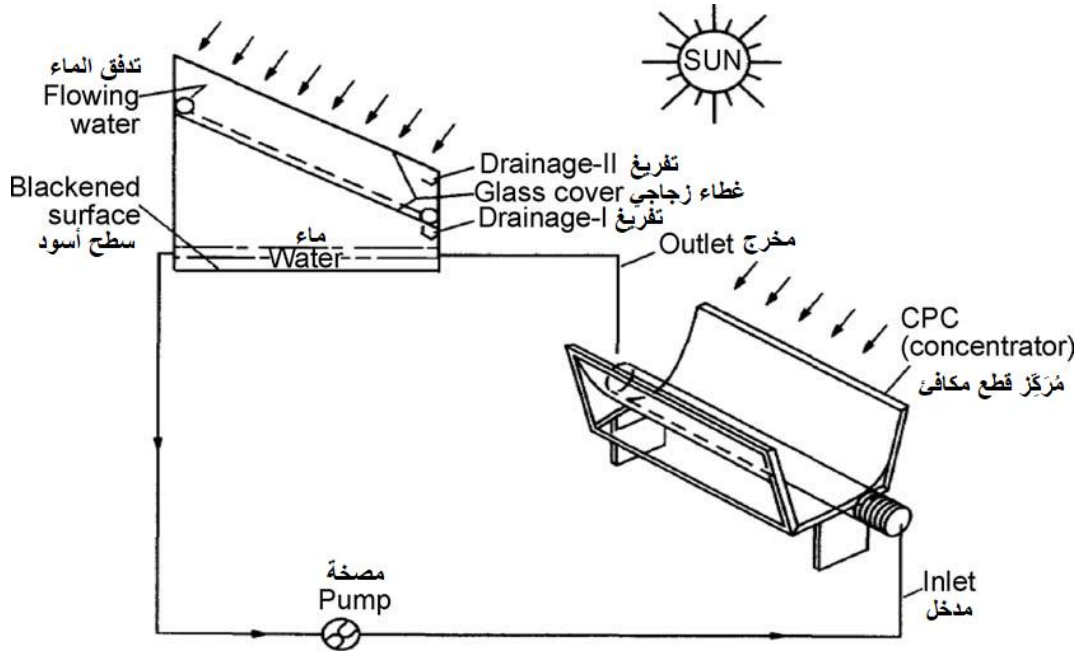


الشكل (1-9): رسم تخطيطي للمقطر الشمسي المرتبط بمُرَكِّز قطع مكافئ (Zeinab and Ashraf, 2007)  
 (1) قطع مكافئ، (2) خط أنابيب بما زيت، (3) صمامات (4) عمود شمسي (5) مبادل حراري للزيت (6) مضخة .

كذلك أجرى كل من [31] دراسة تجريبية ونظرية لنظام تحلية المياه بالطاقة الشمسية مقترنة بمُرَكِّز قطع مكافئ شمسي من خلال أنبوب بؤري ومبادل حراري بسيط كما هو موضح في الشكل. تظهر النتائج أنه مع مرور الوقت، تزداد جميع درجات الحرارة وتبدأ في الانخفاض بعد الساعة 4.00 مساءً. ورغم أن قيم درجات الحرارة للنظام المعدل أعلى من القيم في النظام بدون تعديل زادت إنتاجية المياه العذبة بمعدل 18%.

1-2-1) مقطرات شمسية تعمل بالتأثير المزدوج ومرتبطة بمُرَكِّز قطع مكافئ:

عرض (Prasad et al. 1996) تحليلاً للتأثير المزدوج لوحدة تقطير شمسي مرتبطة بمُرَكِّز قطع مكافئ مركب (CPC- compound parabolic concentration) في وضع الدوران القسري كما هو موضح في الشكل (1-10).



الشكل (1-10): نظام تقطير يعمل بالتأثير المزدوج ومرتبطة بمُرَكِّز قطع مكافئ

(Bhagwan Prasad and Tiwari. 1996)

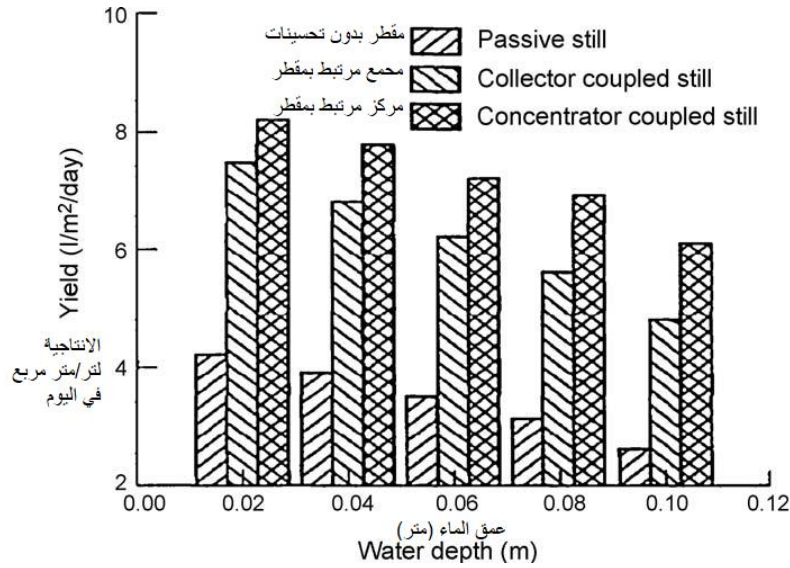
و ابرز النتائج المتحصل عليها من قبل المؤلفون :

- (1) يوجد زيادة في درجة حرارة الماء في الحوض السفلي بالمقارنة مع التقطير ذو التأثير الأحادي، بسبب انخفاض في فقدان الحرارة من الزجاج السفلي لوجود طبقة زجاجية فوقه تمنع الانتقال الحراري وتعمل كعازل.
- (2) يوجد نقصان في الإنتاج لكل ساعة في الحوض السفلي بسبب الفرق المنخفض في درجة الحرارة بين الماء والزجاج. ومع ذلك، يزداد الناتج الإجمالي بسبب إعادة استخدام حرارة التبخر الكامنة في الحوض العلوي.
- (3) يزداد الإنتاج لكل ساعة في الحوض السفلي مع زيادة سرعة التدفق بسبب انخفاض درجة حرارة الزجاج. يرجع ذلك إلى حقيقة أن درجة حرارة الغطاء الزجاجي السفلية تنخفض بسبب الانتقال السريع للحرارة الكامنة للتبخير.
- (4) معامل نقل الحرارة بالتبخير هو دالة مرتبطة بدرجات حرارة النظام. أما معاملات انتقال الحرارة بالحمل فهي لا تختلف عن الإشعاع بشكل كبير.

### 1-2-2) مقطرات شمسية تعمل بمسترجع ومرتبطة بمُرَكِّز قطع مكافئ:

يعمل تدفق الماء فوق الغطاء الزجاجي على خفض درجة حرارة الزجاج للمقطرات الشمسية ، حيث تنتقل الحرارة الى المياه المتدفقة مما يجعل الفرق في درجة الحرارة كبيرا بين الزجاج والماء .يساعد هذا التأثير على

استرجاع جزء من الحرارة و تحقيق إنتاجية أعلى في إنتاج الماء . وقد أجرى العديد من الباحثين تحليلاً تجريبياً لعملية استرجاع الحرارة من الزجاج نجد منهم [32] وكانت المقطرات المستعملة ذات انحدار مزدوج مقترنة بمُرَكِّز قطع مكافئ أسطواني غير متتبع للشمس (ثابت) وبوجود مضخة كهربائية، ويعمل النظام في وضع دوران قسري لتجنب لتربع. لاحظ المؤلفون أن المُرَكِّز المرتبط بالمقطر يعطي أقصى إنتاجية في جميع مقادير العمق ماء الحوض والمقارنة في الشكل (1-11).

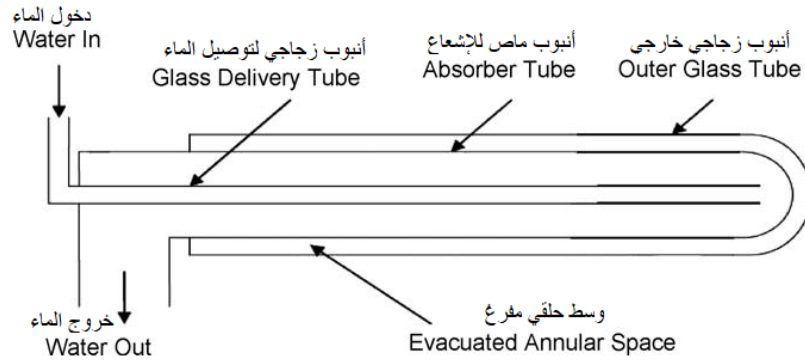


الشكل (1-11): تغيرات الإنتاج اليومي بدلالة سمك الماء لنظام يعمل بمسترجع ومرتبطة بمُرَكِّز قطع مكافئ (Sanjay Kumar and Sinha. 1996)

المقطر الشمسي الذي يعمل بمسترجع والذي يساعده المُرَكِّز يتمتع بكفاءة حرارية عالية جدا بالمقارنة مع المقطرات التي تعمل بمسترجعات لوحية مستوية، حيث أن المسترجعات تساعد على استرجاع الحرارة مهما كان مقدار عمق المياه واستنتجوا أن هناك فقداً حرارياً أقل في المُرَكِّز مقارنة بالمسترجعات اللوحية المستوية. من التحليل السابق، فإن الزيادة في معدل تدفق الماء البارد فوق الغطاء الزجاجي تزيد أيضاً من الكفاءة الحرارية الكلية، تليها زيادة كبيرة في إنتاجيتها للماء.

### 3-1) مقطرات شمسية مرتبطة بمجمع أنبوبي مفرغ:

تشتهر مجمعات الأنابيب المفرغة (Evacuated Tube Collectors-ETC) بكفاءتها الطاقوية العالية عند مقارنتها بالمجمعات اللوحية الشمسية المستوية. في المجمعات اللوحية المستوية، تكون أشعة الشمس متعامدة مع المجمع عند الظهيرة فقط ، ولكن في المجمع الأنبوبي المفرغ فتكون متعامدة على سطح الزجاج معظم اليوم نظراً لشكله الأسطواني. ومنه تقلل الأنابيب المفرغة بشكل كبير من فقدان الحرارة حيث يوجد فراغ في الأنابيب. في الشكل (1-12) رسم توضيحي للمجمع الأنبوبي المفرغ أوينز-إلينويس (Owens-Illinois).



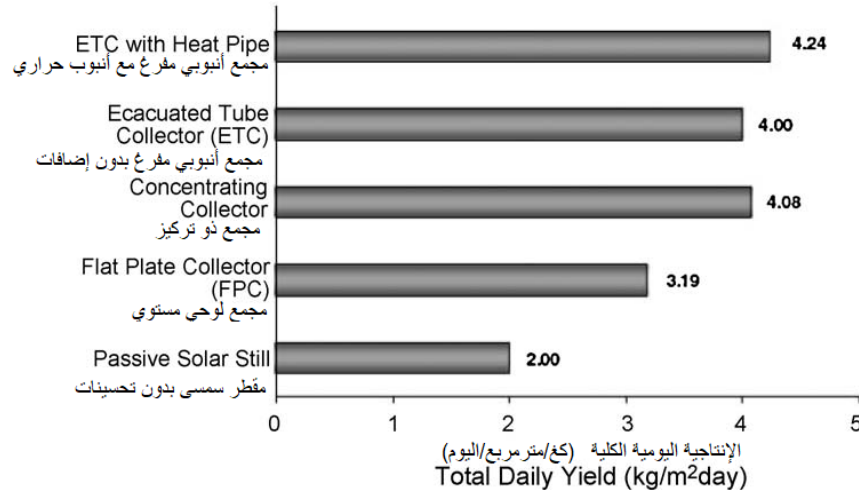
الشكل (1-12): رسم تخطيطي لمُجمِّع الأنبوب المفرغ أوينز-إلينويز (Owens-Illinois) (Tiwari et al. 2007)

يتكون مجمِّع (Owens-Illinois) من أنبوبين متحدًا المحور مع وجود فراغ بين السطح الخارجي للأنبوب الداخلي والسطح الداخلي للأنبوب الخارجي. يتم طلاء السطح الخارجي للأنبوب الداخلي بطلاء أسود. يدخل السائل الناقل للحرارة من خلال أنبوب زجاجي صغير القطر ويخرج من نفس نهاية الأنبوب من خلال الفراغ بين أنبوب التوصيل وأنبوب الامتصاص الملون بالأسود (والذي يتم غلقه من طرف واحد). يتم تفريغ الحيز بين الأنبوب المغلف والأنبوب الزجاجي الخارجي المصنوع من زجاج البورسيليكات (glass borosilicate) لتقليل فقد الحمل الحراري.

طور [33] النماذج الحرارية لجميع أنواع المجمعات الشمسية المدججة مع المقطرات الشمسية بالاعتماد على معادلات توازن الطاقة من حيث درجة حرارة الزجاج الداخلي والخارجي. ويوضح الشكل (1-13)، إجمالي العائد اليومي للمقطرات الشمسية المستعملة: (FPC) مجمع التركيز، مجمعات الأنايب المفرغة (ETC) و (ETC) مع أنابيب حرارة.

الجدول (1-3): إجمالي العائد اليومي لمُجمِّع الأنبوب المفرغ أوينز-إلينويز .

$(n_{en})_{moy}$	$(n_{Th})_{moy}$	$(n_{Th})_{Total}$	$(h_T)_{max}$ (W/m.K)	المقطرات الشمسية المحسنة
٪ (0.25-0.85)	٪ (5.6-19.1)	٪13.14	76	المجمع اللوحي المستوي (FPC)
		٪17.57	67	المجمع ذو التركيز
٪ (0.59-1.82) مع إضافة (FPC)		٪17.22	86	مجمعات الأنايب المفرغة (ETC)
		٪18.26	43	(ETC) مع أنابيب حرارة

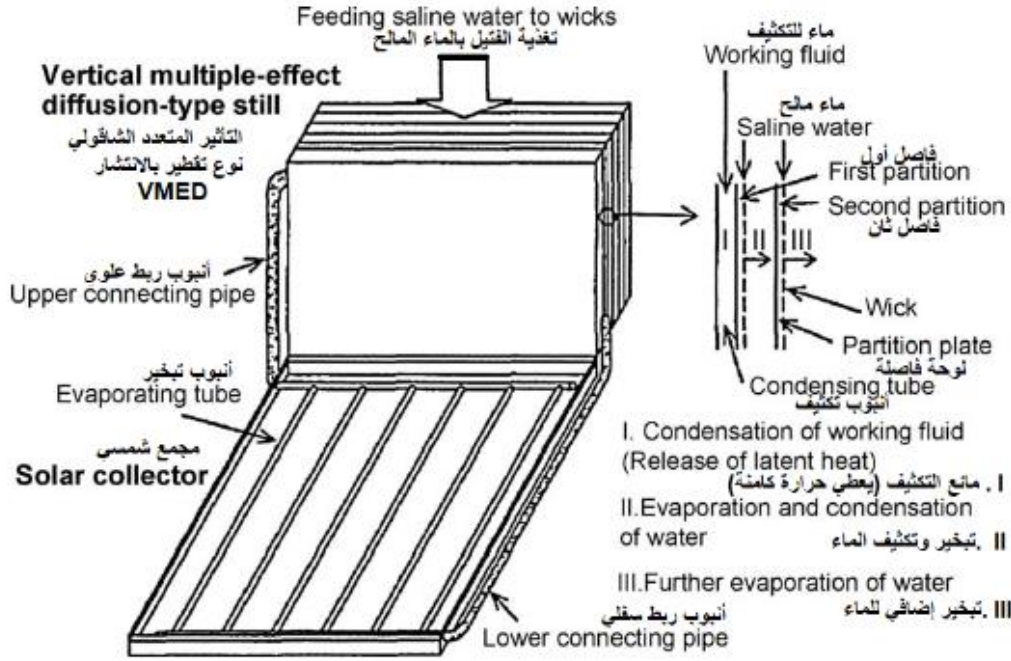


الشكل (1-13): إجمالي الناتج اليومي للمقطرات الشمسية المستعملة  
(al. 2007 Tiwari et)

#### 1-4) مقطرات شمسية مرتبطة بأنابيب حرارة:

اقترح [34] تصميمًا حديثًا مركب من عدة طبقات انتشار متعددة التأثير، والمقطر الذي يتكون من مجمع شمسي مع أنابيب حرارية بإضافة خلايا متوازية موضوعة بشكل شاقولي مدعومة بألياف لحمل الماء المالح. نسمي هذه التركيبة التأثير متعدد الانتشار الشاقولي (Vertical Multiple Effect Diffusion-VMED)، يتكون (VMED) من خلايا شاقولية ومتوازية مع فجوات هوائية ضيقة بينها، والجزء العلوي على اتصال مع فتائل مبللة بمحلول ملحي، ويتم تغذية الفتائل بالمياه المالحة باستمرار. يتم عزل السطح الأمامي لـ (VMED) والسطح السفلي للمجمع الشمسي. ينتقل الإشعاع الشمسي من خلال الغطاء الزجاجي ويمتص على مستوى لوحة المجمع، ويتم تسخين وتبخير الإيثانول في أنابيب النحاس المتصلة بخلايا التقطير. يمر بخار الإيثانول عبر أنابيب التوصيل فيتبخر ويلامس الخلية الأولى ويخرج منها متكاثف على هيئة سائل ويعود للمجمع الشمسي بفعل الجاذبية. تنتقل الحرارة الكامنة لتبخير الإيثانول إلى (VMED) ويتم نقلها لخلايا التقطير لإنتاج الماء في كل خلية كما هو موضح في الشكل (1-14).





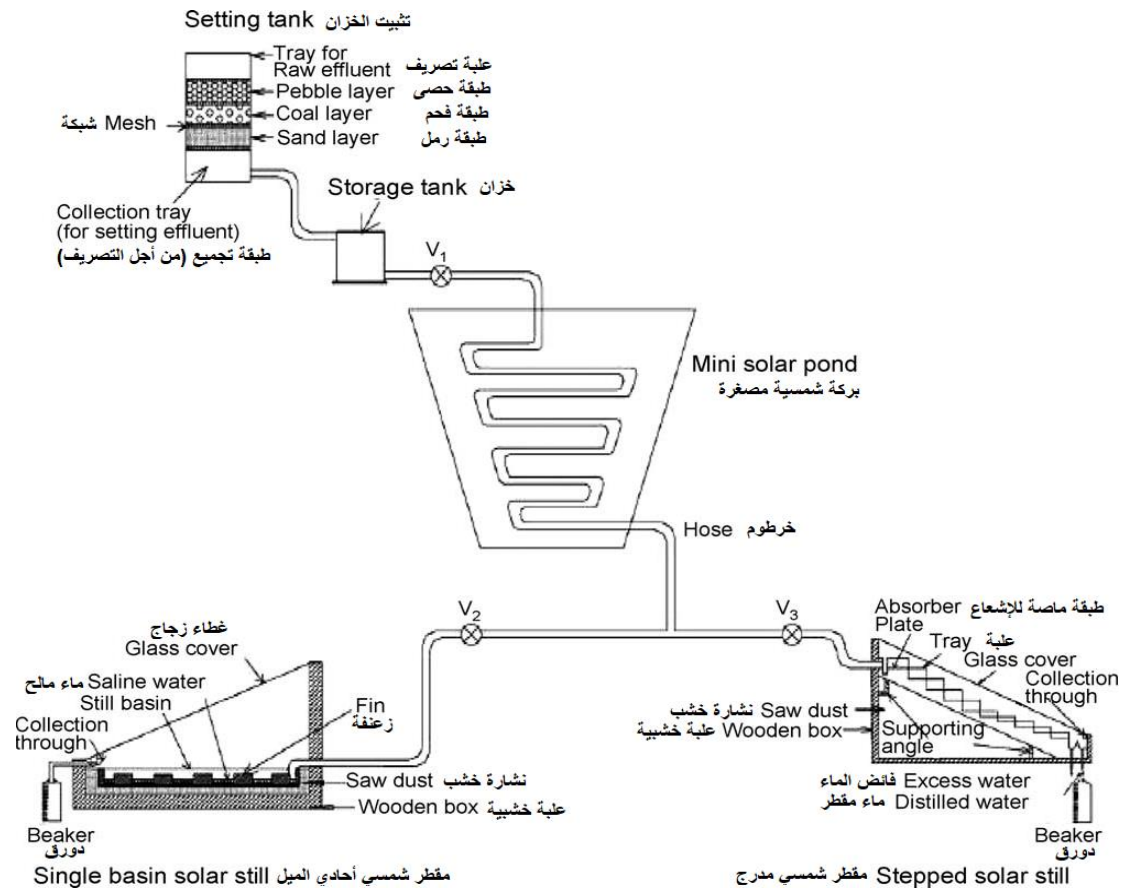
الشكل (1-14): رسم التخطيطي لنوع الانتشار متعدد التأثير مقترناً بمجمع الطاقة الشمسية لأنابيب الحرارة أجرى [35] تجارب على المقطر الشمسي (VMED) باستخدام مُجمَع شمسي لأنابيب حرارية، وكانت النتائج التجريبية لمعدلات الإنتاج الإجمالية للتأثير المتعدد حوالي 93٪، مما يشير إلى أن أنابيب الحرارة قادرة على نقل حرارة كافية لتبخير الماء.

### 1-5) مقطرات شمسية مرتبطة ببركة شمسية:

البركة الشمسية عبارة عن بركة صناعية يتم تسخينها بشكل كبير بالحمل الحراري. تُستخدم الأحواض الشمسية لتجميع وتخزين الطاقة الشمسية، وللتطبيقات الحرارية المختلفة مثل تدفئة البيوت البلاستيكية، وتوليد الطاقة لتحلية المياه. تم استعراض أحواض الطاقة الشمسية بالتفصيل بواسطة حيث حلل [36] في بحث آخر نظرياً وتجريبياً البركة الشمسية المصغرة (mini solar pond) بمساعدة الطاقة الشمسية وباستخدام مكعب إسفنجي. وأوضحت النتائج أن متوسط الزيادة في الإنتاجية عند دمج البركة مع المقطر تصل إلى 27.6٪ وعند دمج البركة والإسفنج مع مقطر تبلغ 57.8٪.

درس [37] تأثير زيادة الأملاح في المقطرات الشمسية المدججة مع بركة شمسية صغيرة. وتم استخدام النفايات الصناعية كمشغل للسخان الشمسي من نوع أحادي الانحدار ذو حوض بسيط والحوض الشمسي المتدرج. البركة الشمسية المصغرة موصولة بالمجمعات لتعزيز الإنتاجية وتم اختبارها كذلك بشكل فردي. يظهر الشكل (1-15) الرسم التخطيطي التركيب التجريبي. وتبين النتائج أنه تم الحصول على أقصى إنتاجية بنسبة 100٪ عندما تم دمج أحادي الانحدار ذو حوض بسيط مع الحصى والإسفنج.

وتزداد الإنتاجية مع زيادة الاشعاع الشمسي وفرق درجة حرارة بين الزجاج والماء، وتنخفض مع زيادة سرعة الرياح. ومن جهة أخرى بحث [38] تجريبياً إمكانية تعزيز إنتاجية المقطرات الشمسية عن طريق توصيل بركة شمسية مصغرة ومقطر شمسي متدرج وآخر ذو حوض بسيط على التسلسل. وتم استخدام الحصى والإسفنج لزيادة الإنتاجية. تُظهر النتائج التي توصلوا إليها أن الحد الأقصى للإنتاجية وصل إلى نسبة 78 ٪ عند استخدام الإسفنج في المقطر المتدرج، ووجدوا أيضاً أن الإنتاجية أثناء الليل تحسنت أيضاً عند استخدام الحصى في هذه المقطرات.



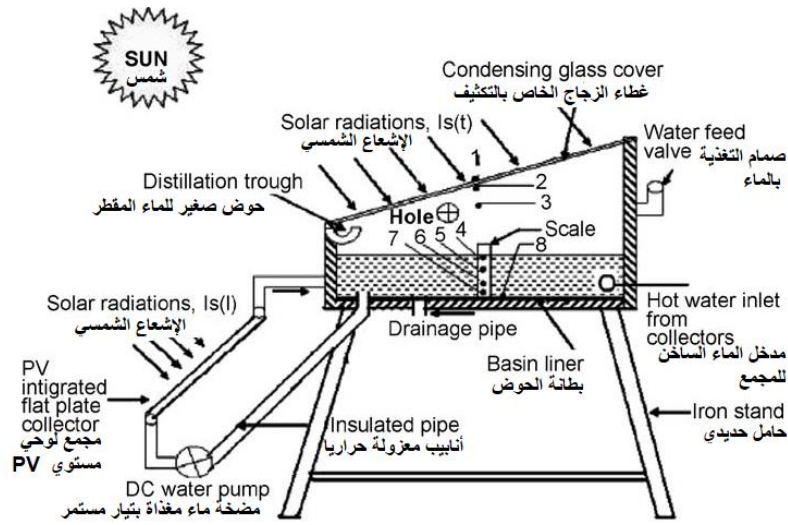
الشكل (1-15): رسم التخطيطي لبركة شمسية مصغرة مدمجة مع مقطرين شمسين (حوض بسيط-حوض مدرج) (Velmurugan et al. 2009)

### 1-6) مقطرات شمسية مرتبطة بنظام هجين (PV/T):

تكمن مشكلة الخلايا الكهروضوئية العادية في أن معظم الإشعاع الشمسي الذي تمتصه الخلية الشمسية لا يتحول إلى كهرباء. كما تزيد الطاقة الزائدة التي لا تمتصها الخلية الشمسية من درجة حرارة الخلية الكهروضوئية وتقلل من كفاءتها. بالإضافة إلى ذلك ، فإن الدوران الطبيعي أو القسري لسائل التبريد يقلل من درجة حرارة البطارية ، حيث يمكن استخدام السوائل. غالبًا ما يستخدم نظام التبريد في الخلايا



الكهروضوئية. هذه الطريقة هي إحدى الطرق الإضافية التي يمكن للنظام الكهروضوئي من خلالها توفير الحرارة للأنظمة الحرارية الأخرى ، نسميها النظام الهجين (PV/T). ومن ثم فإن هذه الأنظمة، بالإضافة إلى تحويل ضوء الشمس إلى كهرباء ، تجمع هذه الأنظمة أيضاً الطاقة الحرارية المتبقية وتوفر الطاقة الحرارية والكهربائية في شكل قابل للاستخدام. أجرى دراسة [22] دراسة تجريبية للسخان الشمسي الهجين الكهروضوئية/الحرارية (PV/T) ووجدوا أن المحصول زاد بأكثر من 3.5 مرات من التقطير الشمسي بدون تحسينات. ويظهر الشكل (1-16) رسم تخطيطي لمقطر شمسي بسيط مرتبط بنظام هجين (PV/T).



الشكل (1-16): رسم تخطيطي لمقطرات شمسية مرتبطة بنظام هجين (PV/T)

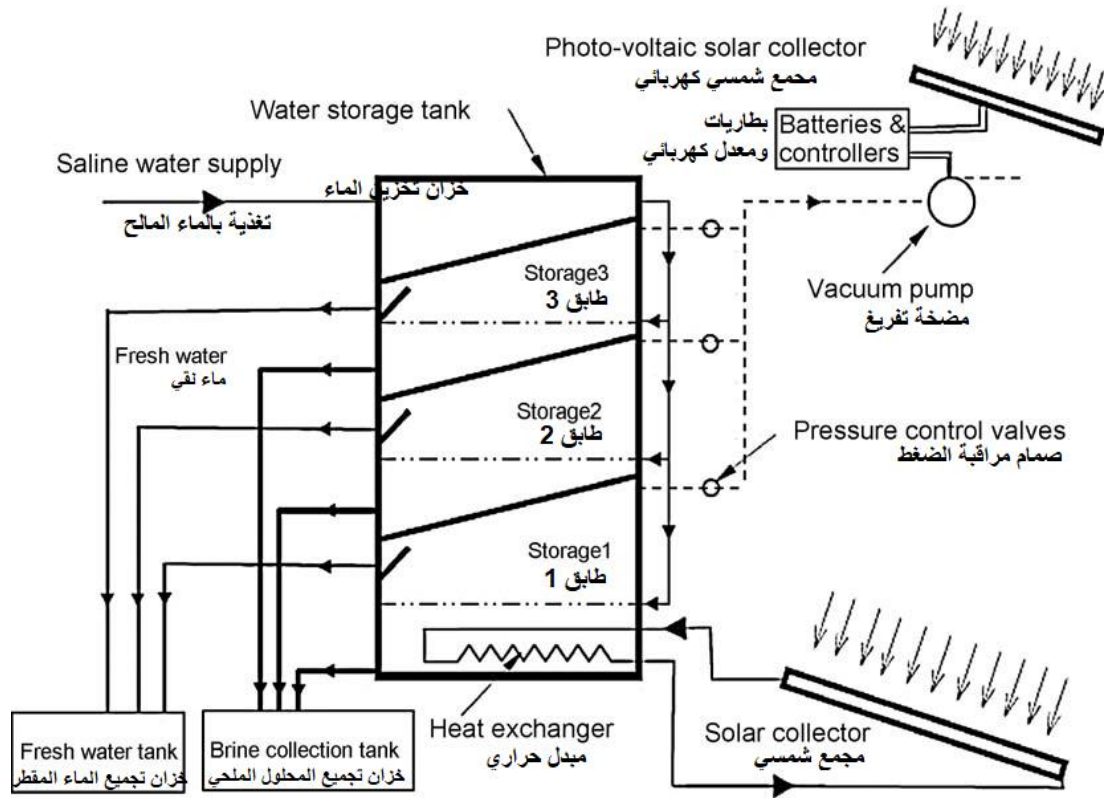
(Tiwari. 2009 and Kumar Shiv)

### 7-1) مقطرات شمسية تعمل بنظام تقطير متعدد الطبقات:

طور كل من [39] واختبر نظام تقطير ثلاثي التأثير (ذو ثلاث طبقات تقطير) بدون استخدام الطاقة الشمسية. وعند استخدام الطاقة الشمسية تم الحصول على أعلى أداء تقطير قدره 73.6 كغ/يوم وهو ما يعادل 9.44 كغ/م<sup>2</sup> من الماء العذب المقطر في حالة الإشعاع الشمسي البالغ 13.85 ميغاجول/م<sup>2</sup> في اليوم الأول (108.3 ميغاجول)، وكانت الحرارة الكامنة الكلية للتقطير (178.8 ميغاجول) حوالي 1.7 مرة من الإشعاع الشمسي.

يوضح الشكل (1-17) مخططاً توضيحياً للمقطرات الشمسية المفرغة ومتعددة المراحل. يتم تغذية المياه المالحة في كل مرحلة من الخزانات الموجودة في الجزء العلوي. يتكثف البخار المتولد في المرحلة الدنيا على السطح السفلي للمرحلة الوسيطة، مما يعطي حرارته للمياه المالحة في المرحلة المتوسطة، ثم يتكثف البخار المتولد في المرحلة المتوسطة عند السطح السفلي للمرحلة العليا مما يعطي حرارته إلى الماء المالح في المرحلة

العليا. يتم تسخين المياه التي يتم تغذيتها مسبقًا بالحرارة عن طريق تكثيف البخار المتولد في المرحلة العليا، والذي يتكثف في قاع خزان مياه التغذية. يظل الضغط داخل كل مرحلة من المراحل الثلاث أقل من المرحلة السابقة. تستخدم مجموعة من الصمامات للتحكم بالفراغ داخل المراحل المختلفة. وقد بينت النتائج أنه تم الحصول على الحد الأقصى لإنتاج الطاقة الشمسية في الطبقة الأولى وهو 6 كغ/م<sup>2</sup>/يوم، و4.3 كغ/م<sup>2</sup>/يوم في الطبقة الثانية و2 كغ/م<sup>2</sup>/يوم في الطبقة الثالثة عند ضغط الفراغ 0.5 بار. في الواقع، إجمالي إنتاجية الطاقة الشمسية يتأثر بشدة بتغيير الضغط الداخلي، حيث انخفضت الإنتاجية مع زيادة الضغط وذلك بسبب انخفاض معدلات التبخر عند قيم الضغط الأعلى.

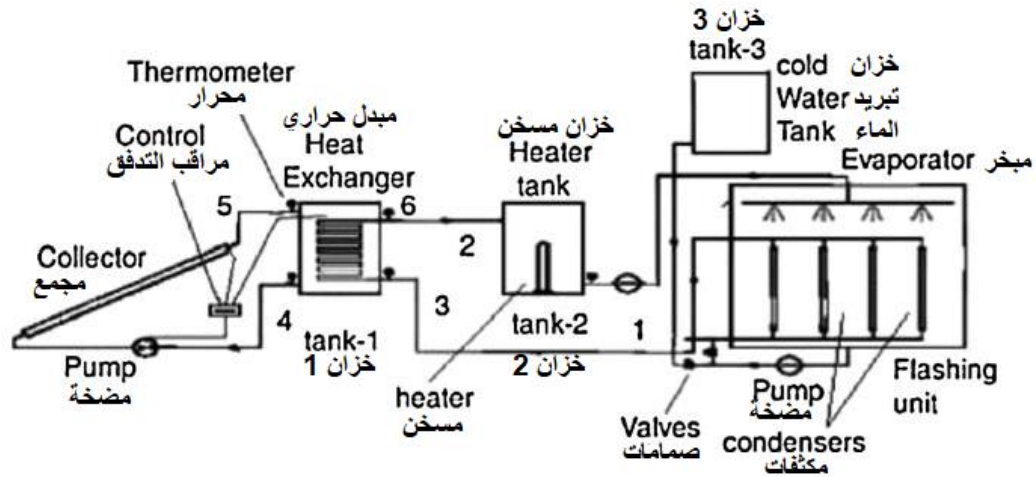


الشكل (1-17): رسم التخطيطي لمقطر شمسي يعمل بنظام تقطير متعدد الطبقات

(al. 2009 et Ahmed)

### 8-1) مقطرات شمسية تعمل بنظام تقطير متعدد التأثير:

تعتمد أنظمة التقطير المتعددة بشكل مباشر على (دورات تكثيف - تبخر متعددة). تعتبر الطاقة الشمسية المستخدمة فعالة في إنتاج المياه المحلاة عند درجة حرارة منخفضة نسبيًا تبلغ 70 درجة مئوية. أظهر [40] بشكل تجريبي وعددي أداء إعداد بسيط للتقطير الشمسي. ويوضح الشكل (1-18) الرسم التخطيطي للنظام.



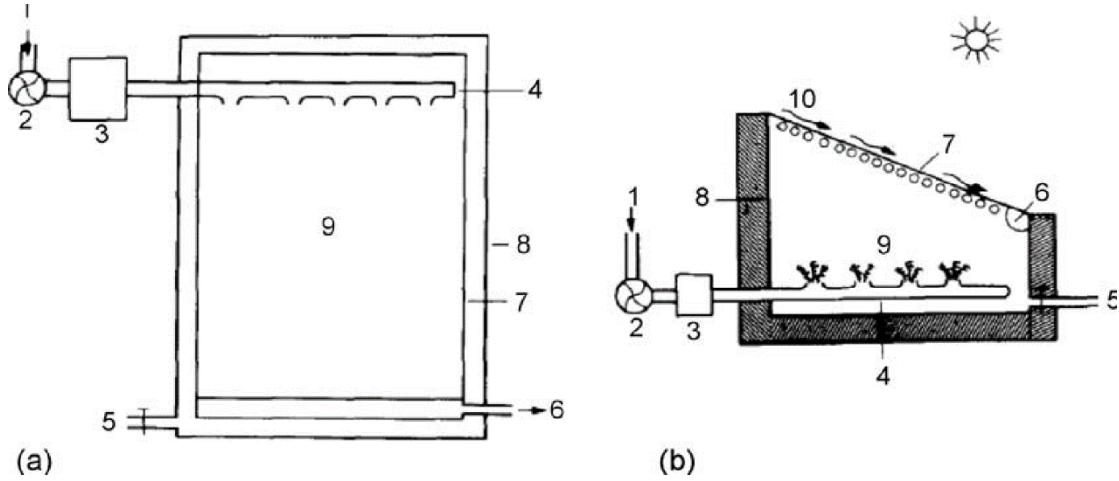
الشكل (1-18): رسم التخطيطي لمقطرات شمسي يعمل بنظام تقطير متعدد التأثير  
(Adel M Abdel Dayem. 2006)

### 9-1) مقطرات شمسية تعمل بفقايع الهواء:

أفاد [41] عن تأثير التجفيف لفقايع الهواء وتبريد الغطاء الزجاجي بشكل قسري في التقطير الشمسي، أن إنتاج الفقايع للهواء الجاف والمتزامن مع تبريد الزجاج تعطي أعلى زيادة، حيث تليها فقايع من الهواء الجاف وحده وتلقائياً، الشكل (1-19) يوضح النظام المستخدم، والنتائج مدونة في الجدول:

الجدول (1-4): الناتج اليومي للماء المقطر حسب طريقة التقطير بفقايع الهواء [41]

°N	Process معالجة	Distillat water (L/m <sup>2</sup> .day) ماء مقطر (لتر/م <sup>2</sup> .يوم)		Per cent increase in distillate output	
		Exp still تقطير تجريبي	Ref still تقطير تقليدي	Ration النسبة	الزيادة في الماء المقطر
1	تشكيل فقايع من الهواء المحيط	1.981	1.849	1.071	7.1
2	تشكيل فقايع من الهواء المحيط بعد التجفيف	2.216	1.659	1.335	33.5
3	تشكيل فقايع من الهواء المحيط بعد التجفيف + تبريد الغطاء الزجاجي	2.608	1.767	1.475	47.5
4	تبريد الغطاء الزجاجي فقط	1.790	1.372	1.305	30.5



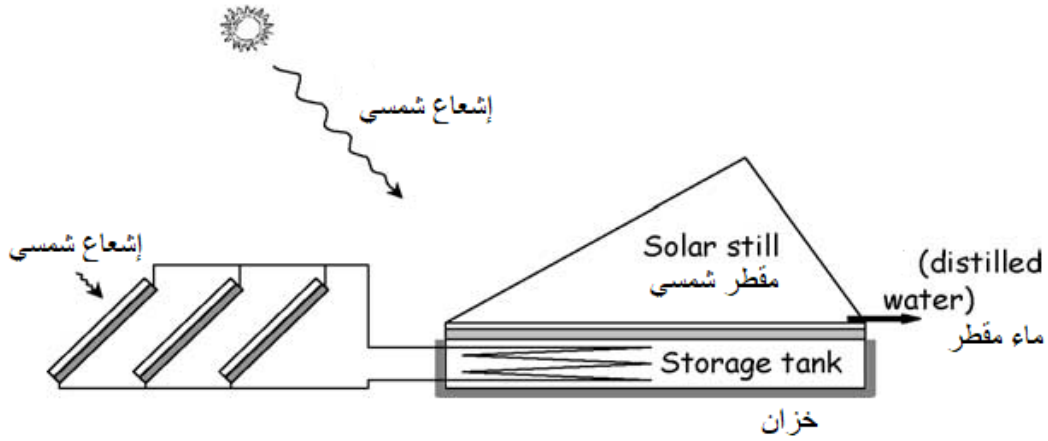
الشكل (19-1): رسم التخطيطي لمقطر شمسي يعمل بفقاعات الهواء [41]

### 10-1) مقطرات شمسية هجينة:

يمكن أن تنتج المقطرات الشمسية الهجينة مياه محلاة وساخنة من نفس النظام. هذه الأنواع تتميز بتصاميم تتيح استخدامها على نطاق واسع. قام [42] بالتركيب التجريبي لهذه المقطرات المقترنة بمجمّعات الاشعاع الشمسي كما في الشكل (1-20). وتظهر النتائج أن:

1. تبلغ إنتاجية النظام الهجين حوالي ضعف إنتاجية النظام بدون مُجمّعات.
2. تم الحصول على زيادات معتبرة في إنتاجية الماء المقطر أثناء النهار وأثناء التشغيل الليلي للنظام، حيث وصلت إلى ثلاثة أضعاف إنتاجية النظام الشمسي غير الهجين.
3. يؤدي التسخين المستمر لمياه الحوض إلى معدلات إنتاج أعلى في جميع فترات التشغيل نتيجة للاختلافات الكبيرة بين درجات حرارة الماء والغطاء، خاصة في الليل.

درس [43] انتقالات الطاقة في المقطر الشمسي الهجين وخلص إلى أن هذه الطريقة يمكن أن تكون طريقة قيمة لتحسين أداء نظام التقطير، حيث استخدم أثناء تصميمها منشآت تقطير لتقييمها من خلال اختبار قصير المدى. وتم إثبات صحة النماذج الرياضية من خلال إدخال البيانات التجريبية على النماذج، والتي من خلالها يتم تحديد قيم المعاملات المميزة لعملية التقطير. وباستخدام القيم المحددة تجريبياً، وجد أن النماذج قادرة على التنبؤ، ويعتبر الناتج النظري للمياه طوال فترة الاختبار دقيق وقريب للإنتاج الحقيقي بدقة متناهية.



الشكل (1-20): رسم التخطيطي لمقطر شمسي هجين [43]

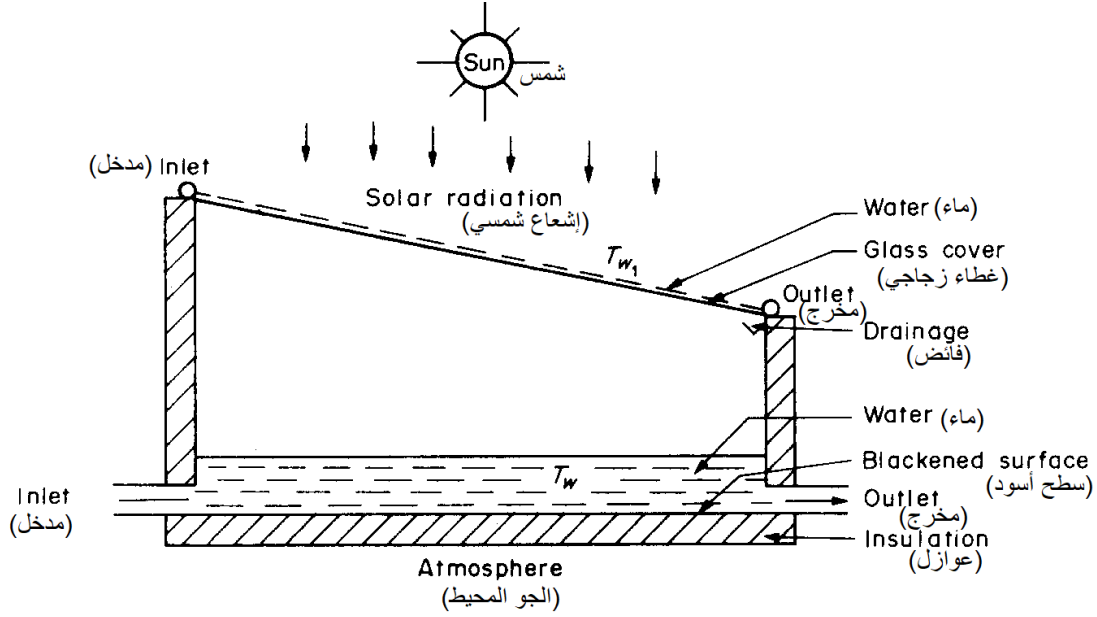
## 2) النوع الثاني: مقطرات تعمل بتطبيق التسخين المسبق: (Pre-heated)

في هذا الصنف، يتم الاعتماد على الماء المسخن مسبقاً لزيادة درجة حرارة الماء في الحوض. كما تستغل المياه الساخنة الضائعة والمتاحة من مصادر مختلفة مثل الصناعات الورقية والصناعات الكيماوية ومحطات الطاقة الحرارية وما إلى ذلك، لزيادة الإنتاجية. يتم توفير الماء الساخن مباشرة للحوض أو من خلال المبادلات الحرارية. وقد عرض [44] نتائج تجريبية في استخدام المياه الساخنة مسبقاً في التقطير. وهذه التجارب أخضعت لنمطين:

- ❖ تدفق المياه الساخنة مسبقاً من محطات الطاقة الحرارية يكون بمعدل ثابت.
  - ❖ تغذية المياه الساخنة مسبقاً يتم الحصول عليها من محطات الطاقة الحرارية مرة واحدة في اليوم. وأظهرت النتائج أن مدة التقطير الشمسي، وعمق المياه في الحوض، ودرجة حرارة الماء الداخل، والإشعاع الشمسي هي العوامل التي تؤثر على أداء المقطر، حيث التغذية بالماء الساخن بمعدلات ثابتة تعطي إنتاجية أعلى بالمقارنة مع الماء الساخن الذي يتم الحصول عليه مرة واحدة فقط في اليوم.
- درس [45] تأثير تدفق المياه على الغطاء الزجاجي لحوض تقطير شمسي مع تدفق متقطع من المياه الساخنة مسبقاً للحوض كما هو موضح في الشكل (1-21).

واستناداً إلى الدراسة التجريبية، أوضح الباحثان النقاط التالية:

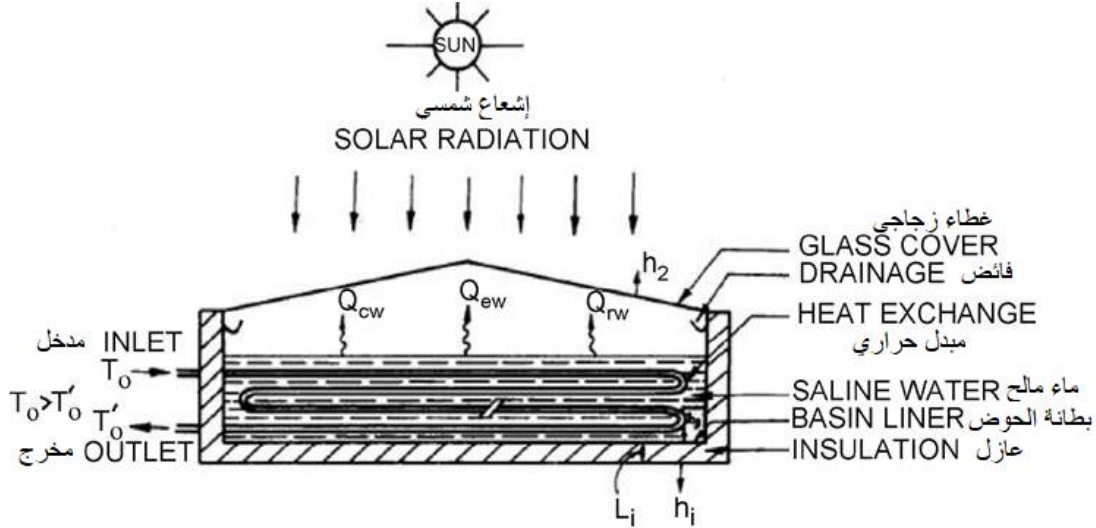
- 1) زيادة الإنتاجية مع زيادة كل من معدل التدفق الكتلي ودرجة حرارة المياه الداخلة للحوض.
- 2) مع تدفق المياه الساخنة مسبقاً خلال ساعات النهار حيث الشمس غير ساطعة، يمكن أن يكون للمقطر أعلى إنتاج للمياه، وذلك بسبب وجود المياه الساخنة مسبقاً.
- 3) تظل درجة حرارة الماء المتدفق فوق الغطاء الزجاجي أقل من درجة الحرارة المحيطة ودرجة حرارة الغطاء الزجاجي.



الشكل (1-21): رسم التخطيطي لمقطر يعمل بتطبيق التسخين المسبق مع تدفق الماء فوق الغطاء الزجاجي (Tiwari et al. 1985)

ودرس [46] استخدام الماء الساخن في التقطير الشمسي مزدوج الميل من خلال مبادل حراري الشكل (1-22). لاحظ الباحثان أن معامل انتقال الحرارة بالتبخير يعتمد كثيرا على درجة الحرارة، وينصحون باستخدام المياه الساخنة مسبقا بدرجة حرارة عالية وأثناء ساعات النهار. كما حلل [47] أداء المقطرات الشمسية ذات الحوض المزدوج الانحدار في الزجاج المقرونة بمبادل حراري. بناءً على التحليل، لاحظ الباحث النقاط التالية:

- 1) كفاءة مقطر بحوض شمسي مزدوج الميل في الزجاج مقترناً بمبادل حراري، أكبر بكثير مقارنةً بذلك الذي بدون مبادل حراري.
- 2) باعتبار كفاءة المقطر بحوض ومزدوج الانحدار مقترن بمبادل حراري تكون كبيرة، فإن هذا المقطر يعتبر بديل للمقطر البسيط، وذلك لسبب بساطة التركيب وخاصة إذا توفرت المياه الساخنة مسبقاً.



الشكل (1-22): رسم التخطيطي لمقطر يعمل بتطبيق التسخين المسبق

(Tiwari. 1990 Ashok Kumar and)

### (3) النوع الثالث: مقطرات تعمل بالإنتاج الليلي (Nocturnal):

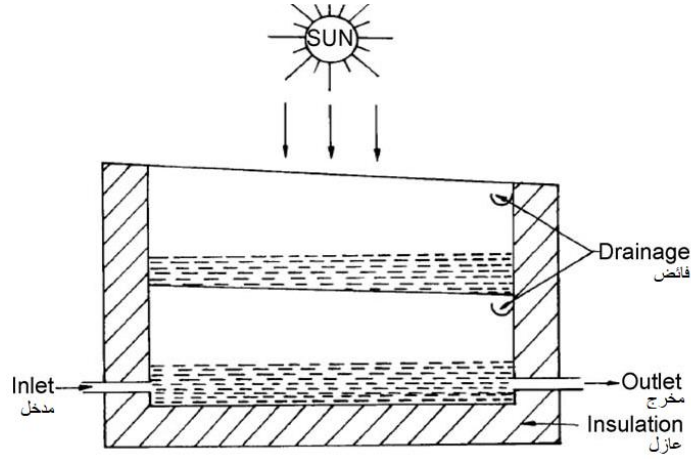
يعتمد هذا النوع على عملية الإنتاج الليلي ، والتي يقوم بها المقطر الشمسي في غياب ضوء الشمس ، ويمكن تحقيق ذلك عن طريق استخدام الطاقة الشمسية المخزنة أثناء النهار للتزويد بالطاقة ليلاً أو من خلال توفير الحرارة الضائعة من مصادر مختلفة. يتم تسخين الماء في وجود ضوء الشمس ويتم تخزين معظم الطاقة الحرارية المكتسبة بواسطة كتلة الماء. ثم يتم استخدام هذه الطاقة المخزنة بشكل أساسي في أوقات السطوع المنخفض أو غياب تام للإشعاع الشمسي ، و تعرف بالتقطير الليلي ، وكما ذكرنا سابقاً يمكن تحقيق ذلك أيضاً عن طريق تغذية بالماء الساخن المتاح من خلال أي مصدر خارجي (بخلاف الطاقة الشمسية) في الصباح أو المساء لزيادة الإنتاج [48] .

أجرى [45] تجارب على مقطر شمسي يشبه للمقطر الموضح في الشكل (1-23) مع تدفق

متقطع للمياه الساخنة في حوض أثناء ساعات النهار. لاحظ الباحث ما يلي:

- (1) أن الناتج يزداد مع زيادة درجة حرارة الماء الداخل ويظل كما هو في حالة انعدام التدفق.
- (2) في حالة التدفق المستمر والثابت للمياه خلال ساعات الشمس الساطعة، يمكن أن يكون هناك إنتاج أعلى.



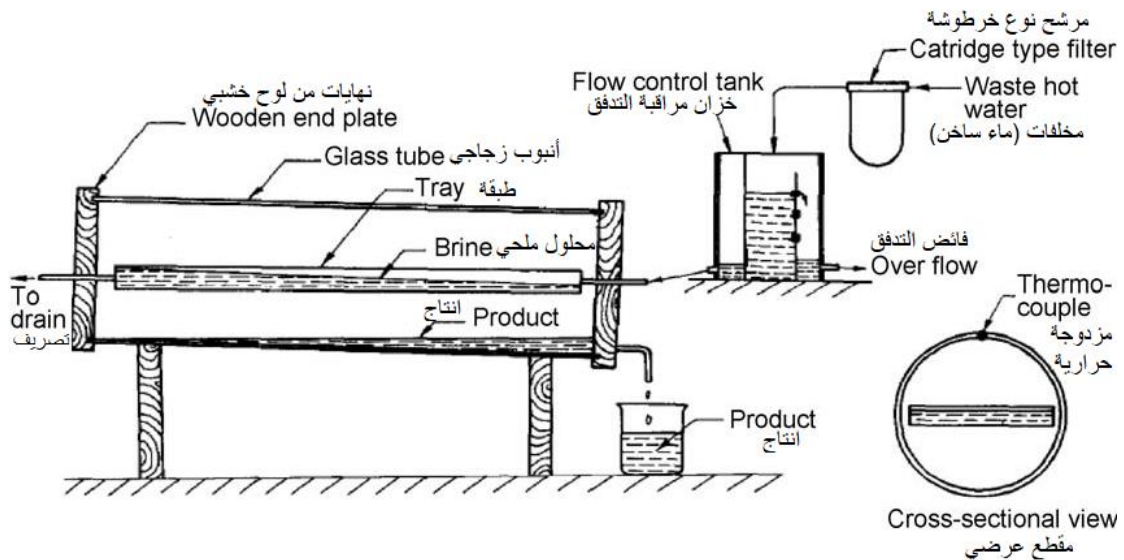


الشكل (1-23): حوض تقطير مزدوج مع تدفق مياه تسخين ثابتة (al et Gupta)

قام [49] بدراسة الانتاج الليلي للمقطرات من نوع الحوض تجريبياً لعمق 0.178 متر و 0.076 متر، وأشارت النتائج إلى أن التقطير الليلي، في المتوسط ، يمثل 78 ٪ من إجمالي الإنتاج اليومي من عمق 0.178 متراً بينما يمثل حوالي 50 ٪ من إجمالي الإنتاج اليومي للعمق البالغ 0.076 متر.

درس [50] تجريبياً التصميم الأنبوبي للمقطر الشمسي. المقطر يتألف من علبة معدنية سوداء (black metallic tray) مستطيلة الشكل أبعادها كما يلي:

(0.1 × م 1.1 × م 0.0127) موضوعة على المستوى القطري لأنبوب زجاجي أسطواني كما هو موضح في الشكل.



الشكل (1-24): رسم التخطيطي لمقطر شمسي أنبوبي مزود بعلبة معدنية سوداء

(Kumar Ashok and Tiwari)

طول وقطر الأنبوب الزجاجي أكبر بقليل من طول وعرض العلبة المعدنية. أثناء التشغيل، يتم غلق نهايات الأنبوب الزجاجي برؤوس خشبية مغلقة (heads wooden gasketed). تم تثبيت الدرج والأنبوب



الزجاجي بإمالة طفيفة بالنسبة للمستوى الأفقي ولكن في الاتجاه المعاكس لحركة الماء. يتبخر الماء المالح الذي يتم تغذيته من أحد الأطراف جزئياً، ويتم تفريغ الجزء المتبقي من خلال الطرف الآخر للأنبوب. ويتدفق الماء المتكثف على الجدران الداخلية للغطاء الزجاجي إلى أسفل ويتم إزالته من أحد الأطراف في أسفل الأنبوب الزجاجي. بناءً على الدراسة، وجد الباحثان أن:

(1) متوسط درجة حرارة الماء المالح مستقلة عن معدل التدفق، بينما تعتمد درجة حرارة المخرج على طول المقطر.

(2) الناتج اليومي من التقطير أعلى من الناتج الخاص بالمقطر الشمسي العادي لنفس الشروط المناخية.

(3) يظل المعامل الكلي لانتقال الحرارة الداخلي ثابتاً بالنسبة لتغيرات درجة حرارة الماء المالح على عكس المقطر الشمسي العادي.

(4) نقاوة الماء في المقطر الأنبوبي أحسن من المقطر العادي، ويمكن استخدامه في المختبرات الكيميائية.

## (5) النوع الرابع: تقطير بتبريد المكثف بدرجات حرارة منخفضة (Low

:temperature)

جميع الأنواع المذكورة سابقاً من المقطرات تعتمد بشكل مباشر على رفع درجة الحرارة لزيادة التبخر، غير أن هذا الصنف من المقطرات يعتمد على خفض درجة حرارة المكثف لزيادة عملية التكثيف. حيث أن حرارة التكثيف ترفع درجة حرارة الزجاج بدرجة كبيرة. ونتيجة لذلك، فإن العائد خلال فترة التشمس الأقصى للشمس أقل بكثير مما هو متوقع. من بين منحني التشمس الشمسي ومنحني العائد المستمر، هناك تأخر زمني محدد يمكن أن يُعزى إلى ارتفاع درجات حرارة الزجاج. لمدة ساعة واحدة بعد الشروع في ذروة التشمس، على الرغم من إنتاج أبخرة مشبعة داخل جهاز التقطير في هذه الذروة، لا يحدث التكثيف لأن درجة حرارة الزجاج أعلى بكثير من درجة حرارة التكثف لبخار الهواء.

### تصنيف المقطرات حسب نوعية المكثف:

بذل الباحثون جهوداً كبيرة لتصميم عدة نماذج مختلفة من المقطرات الشمسية لتحسين أدائها، وقد استنتجوا أن المدمجة منها مع مكثف إضافي هي أكثر فعالية. يمكن تقسيم المكثفات إلى ثلاثة أنواع أساسية؛ المكثفات المدمجة والمكثفات الخارجية والداخلية. وقد تمت دراسة العديد منها، ونخص بدراسة نموذجين من كل نوع، تتم هذه الدراسة في العموم على أساس الموقع، والعائد اليومي من الماء، ونسبة التحسين (زيادة الإنتاجية بالنسبة للمقطر الشمسي العادي)، والكفاءة والملاحظات في التجربة.

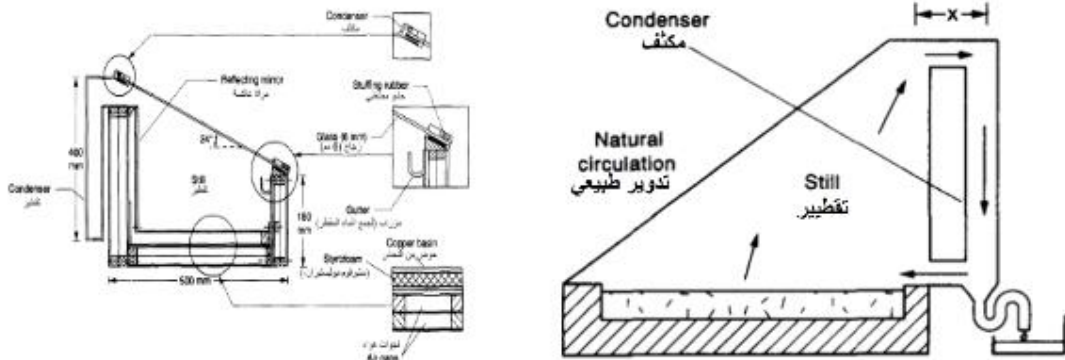
ويمكن تصنيف المقطرات حسب ما سبق كما يلي إلى ثلاث حسب ما قدمه الباحث ( Kabeel et al. ) : (2016)

- (1) مقطرات شمسية تعمل بمكثفات مدمجة (Built-in condensers).
- (2) مقطرات شمسية تعمل بمكثفات داخلية (External condensers).
- (3) مقطرات شمسية تعمل بمكثفات خارجية (condensers Internal).

#### 1-4 (Built-in condensers) مقطرات شمسية تعمل بمكثفات مدمجة.

1-1-4) نموذج مكثف مدمج للباحث (Fath and ELsherbiny) سنة 1993

قام [51] بتحليل لتأثير مكثف مدمج على أداء التقطير الشمسي أحادي الميل. يوضح الشكل (1-1-25) المكثف المقترح، والموضوع في المنطقة المظللة في الجهة الجنوبية. يرجع انتقال بخار الماء من المقطر إلى المكثف إلى واحد أو أكثر من العوامل التالية: (1) الانتشار، (2) نسبة التنقية، (3) الدوران الطبيعي. بالمقارنة مع مقطر بدون مكثف، تمت زيادة الناتج إلى ما يقرب من 70٪ عند استخدام مكثف في وضع الدوران الطبيعي.



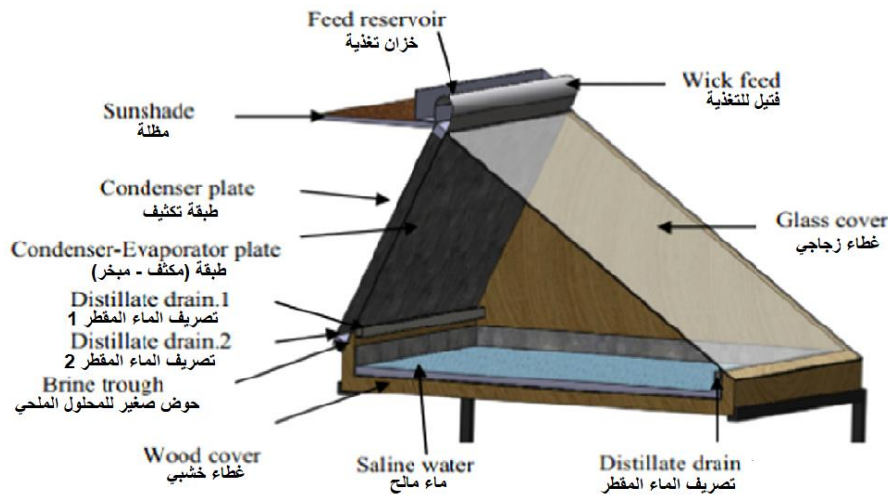
الشكل (1-25): تخطيط لوحدة تقطير أحادية الميل بمكثف مدمج من اقتراح [50]

ولوحظ من النتائج أن تحريك جزء من البخار إلى المكثف المدمج يقلل من الضغط داخل المبخر وتكوين قطرات الماء على سطح الزجاج الداخلي، لكن هذا يؤدي لانخفاض انعكاس وامتصاص الإشعاع الشمسي، وبالتالي يتم عزل الإشعاع وامتصاصه من طرف الماء، ويتم أيضاً خفض درجة حرارة الزجاج وتحسين التبخر. وتقليل ميل الغطاء الزجاجي أدى إلى استقبال الوحدة لكمية أكبر من الإشعاع الشمسي في وقت أقل؛ كما تم تحسين درجة حرارة الماء ومعدل التبخر.

2-1-4) نموذج مكثف مدمج للباحث (Belhadj) سنة 2015:

تم التحقيق عددياً في تأثير دمج خلية تكثيف إلى وحدة تقطير شمسية أحادية الحوض ومزدوجة الميل من قبل الباحث [52] كما هو موضح في الشكل (1-26). والتركيب يعمل كما يلي: جزء من البخار

الناتج يتكثف على الوجه الداخلي للغطاء الزجاجي ويتكثف الباقي على الوجه الداخلي المعدني، حيث أن هذه الطبقة المعدنية تقوم بتبخير ماء يغذى من الأعلى، ومن ثم يتم تكثيفه على طبقة أخرى مبردة بالهواء الخارجي. في هذه الدراسة تم حساب الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة ودرجات حرارة مكونات النظام المختلفة. ولإعطاء فكرة عن مردودية هذا النظام تم تقييم أداء النظام ومقارنته بأداء النظام التقطير الشمسي التقليدي الذي تحت نفس ظروف الأرصاد الجوية. كان للنموذج الأولي المقترح ناتج يومي يبلغ 7.15 كغ/م<sup>2</sup>، وأظهرت نتائجهم أن إنتاجية النظام كانت أعلى بحوالي 60% من إنتاجية النوعين التقليدي والشعيري، والشعيري الذي يعتمد على شريط شعيري لتحريك الماء. وبلغت مساهمات الغطاء الزجاجي واللوح المعدني ولوحة المكثف 43% و18% و39% من إجمالي ناتج التقطير على التوالي.

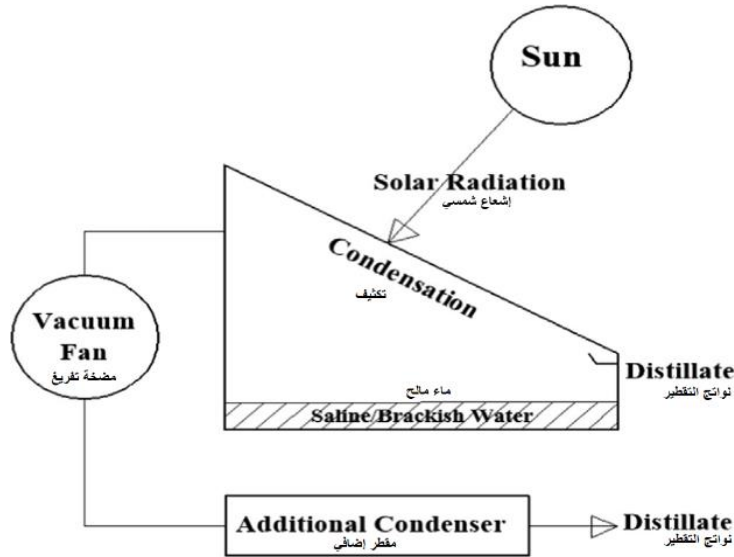


الشكل(1-26): حوض أحادي ذو ميل مزدوج مرتبط بخلية تكثيف من اقتراح

(Belhadj et al. 2015).

#### 2-4) مقطرات شمسية تعمل بمكثفات خارجية (External condensers).

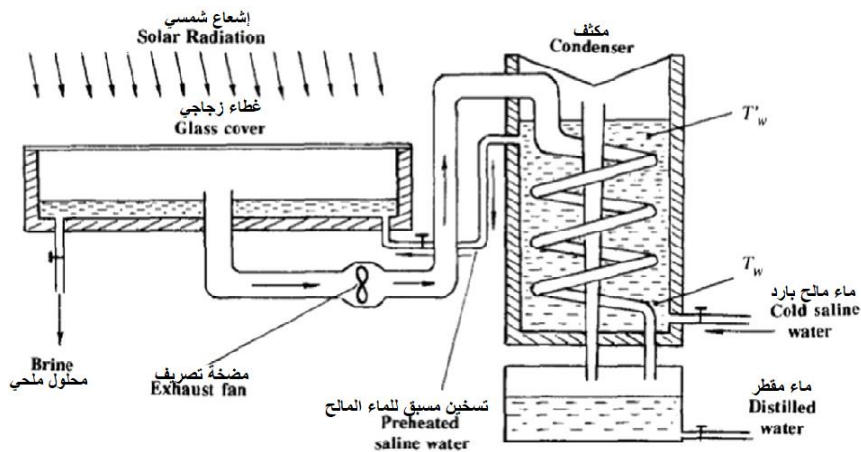
كل المقطرات الشمسية التي تعمل بمكثفات خارجية، هي مقطرات مرتبطة بالمكثفات وبمضخة لسحب البخار. ان الظروف الجيدة للتكثيف يمكن أن تسرع من تبخر الماء المالح. ومن جهة أخرى وجد معظم الباحثين أن قيم درجة حرارة الزجاج في المقطر المرتبط بمكثف خارجي أقل من القيم في المقطر بدون مكثف خارجي، وكذلك درجة حرارة ماء الحوض تكون أعلى. وبالتالي، فإن العمل بالمكثفات الخارجية طريقة لها تأثير كبير على إنتاجية المقطر وكفاءته الطاقوية، ويعطي الشكل(1-27) فكرة عامة لتركيب هذه المقطرات.



الشكل (1-27): تخطيط يوضح آلية سحب البخار من المقطر باستخدام مضخة (Kabeel et al. 2016)

#### 1-2-4) نموذج مكثف خارجي للباحث (Mohamad) سنة 1994

درس [53] تأثير إضافة مكثف خارجي على أداء مقطر شمسي بدون ميل، حيث أن الزجاج وضع بشكل أفقي، والهدف من هذا الزجاج حجز البخار. يتم سحب وتحريك الهواء المشبع ببخار الماء بواسطة مضخة منخفضة الطاقة إلى أنبوب مغمور في وسط مائي بارد. وهذا الماء البارد بدوره يعتبر ماء تغذية لحوض التبخير. ويمكن تغذية الجهاز بالطاقة الكهربائية لتبخير الماء المالح، بما يسمى بالطريقة الكهروحرارية الشمسية لتنقية المياه بالتقطير (The solar thermal-electrical method was described to purify water by distillation)، ويعتبر التركيب المكون من الأنبوب وماء التغذية البارد مكثف خارجي. والمخطط في الشكل (1-28) يوضح التركيبة التجريبية لهذا المقطر. وتزداد الكفاءة الحرارية للمقطر بأكثر من ضعف الكفاءة الحرارية للمقطر بدون إضافات وتحسينات في المقطر التقليدي.



الشكل (1-28): عرض تخطيطي للمقطر الشمسي الكهروحراري من اقتراح

(Nijegorodov et all. 1994)

#### 2-2-4) نموذج مكثف خارجي للباحث (Almuhanna) سنة 2014

تمت دراسة وتحليل الأداء الحراري لمقطر شمسي بميل واحد مرتبط بمكثف خارجي مزود بمياه مبردة من نظام تبريد تحت الظروف المناخية الحارة والرطبة، بواسطة [54] ، كما يوضح الشكل (1-29). وجد أن متوسط الإنتاجية اليومية للمياه المقطرة قد زاد من 5.94 إلى 9.23 لتر/م<sup>2</sup> مما أعطى معدل زيادة قدره 55.41%. بالإضافة إلى ذلك، أدى استخدام المكثف إلى زيادة الكفاءة الحرارية بنسبة 30.1% مقارنةً بالمقطر بدون مكثف.

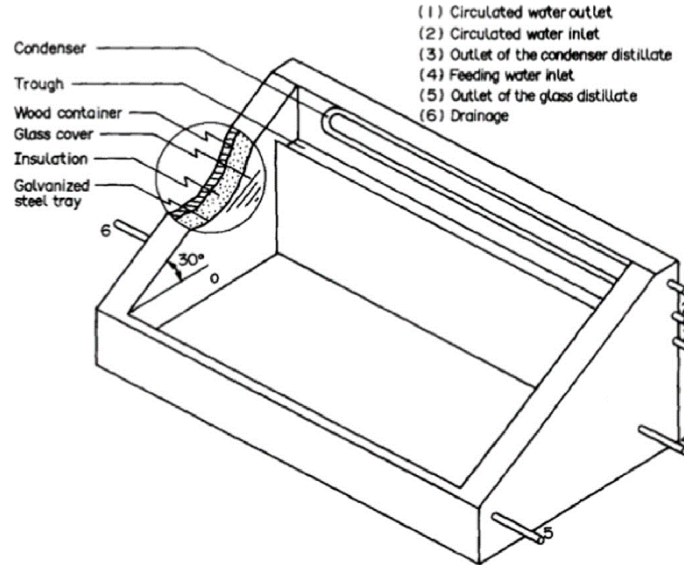


الشكل (1-29): صورة للتركيب التجريبي لمقطر شمسي مرتبط بمكثف خارجي (Almuhanna 2014).

#### 3-4) مقطرات شمسية تعمل بمكثفات داخلية. (Internal condensers)

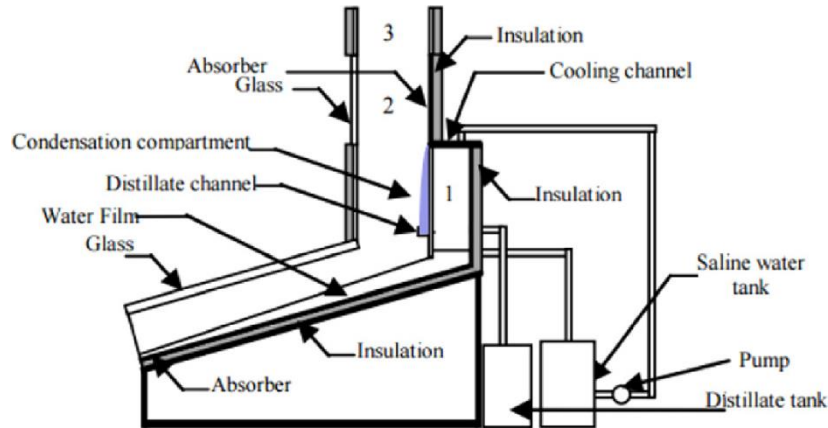
##### 1-3-4) نموذج ثان لمكثف داخلي للباحث (Ahmed ST) سنة 1988

أجرى [55] دراسة تجريبية لمعرفة تأثير استخدام مكثف داخلي على أداء المقطر الشمسي أحادي الميل . تم اختبار طريقتين مختلفتين للتجارب على الحوض . تم استخدام الأول لتكثيف بخار الماء بدون مكثف إضافي . بينما تم استخدام الثاني بإضافة مكثف كما هو موضح في الشكل (1-30)، كان المقطر مع مكثف داخلي مزدوج التأثير . حيث كانت مساحته قاعدتها الفعالة 0.4 م<sup>2</sup> وبميل الغطاء بمقدار 30 درجة على الأفق . أظهرت النتائج أن دمج مكثف داخلي مع مقطر شمسي يحسن أداءه . حيث كانت الزيادة في الإنتاجية من 5.5 كغ/م<sup>2</sup> في اليوم الأول إلى 5.9 كغ/م<sup>2</sup> في اليوم الثاني .



الشكل(1-30): مخطط لمقطر شمسي مرتبط بمكثف داخلي (Ahmed ST et al. 1988)  
 4-3-2) نموذج مكثف داخلي للباحث (Kerfah) سنة 2012

أجرى [56] نمذجة ومحاكاة لوحدة تقطير مكونة من مستوي لمياه متدفقة على المبخر، ويتم تبريدها وإعادة لها للمبخر بعد مرورها على المكثف، كما في الشكل الشكل(1-31). تم إجراء عمليات المحاكاة باستخدام بيانات الطقس (10 سنوات) في منطقة بوزريعة (بالجزائر). لقد توصلوا إلى أن الحد الأقصى لمتوسط الكفاءة اليومية لغرفة التكثيف يتم تسجيله خلال شهر مايو. كما أن الإشعاع الشمسي هو العامل الرئيسي المؤثر على النظام.



الشكل(1-31): مخطط لمقطر شمسي مرتبط بمكثف داخلي (Rabah et al. 2012).



## (5) مراجع الفصل الأول:

- [20] Sampathkumar, K, TV Arjunan, P Pitchandi, and P Senthilkumar. 2010. "Active solar distillation—A detailed review." *Renewable and sustainable energy reviews* 14 (6):1503-1526.
- [21] Kabeel, AE, ZM Omara, FA Essa, and AS Abdullah. 2016. "Solar still with condenser—A detailed review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59 (C):839-857.
- [22] Tiwari, GN, and Anil Kumar Tiwari. 2008. *Solar distillation practice for water desalination systems*: Anshan Pub.
- [23] Yadav, YP, and AS Prasad. 1995. "Performance analysis of a high temperature solar distillation system." *Energy conversion and management* 36 (5):365-374.
- [24] Kiatsiriroat, T, SC Bhattacharya, and P Wibulswas. 1987. "Performance analysis of multiple effect vertical still with a flat plate solar collector." *Solar & wind technology* 4 (4):451-457.
- [25] Rai, SN, and GN Tiwari. 1983. "Single basin solar still coupled with flat plate collector." *Energy Conversion and Management* 23 (3):145-149.
- [26] Rai, SN, DK Dutt, and GN Tiwari. 1990. "Some experimental studies of a single basin solar still." *Energy conversion and management* 30 (2):149-153.
- [27] .Tiwari, GN, and S Sinha. 1993. "Parametric studies of active regenerative solar still." *Energy conversion and management* 34 (3):209-218.
- [28] Sanjeev, Kumar, and GN Tiwari. 1999. "Optimization of daily yield for an active double effect distillation with water flow." *Energy conversion and management* 40 (7):703-715.
- [29] Yadav, YP. 1989. "Transient analysis of double-basin solar still integrated with collector." *Desalination* 71 (2):151-164.
- [30] Singh, SK, VP Bhatnagar, and GN Tiwari. 1996. "Design parameters for concentrator assisted solar distillation system." *Energy Conversion and Management* 37 (2):247-252.
- [31] Abdel-Rehim, Zeinab S, and Ashraf Lasheen. 2007. "Experimental and theoretical study of a solar desalination system located in Cairo, Egypt." *Desalination* 217 (1-3):52-64
- [32] Tiwari, GN, Sanjay Kumar, PB Sharma, and M Emran Khan. 1996. "Instantaneous thermal efficiency of an active solar still." *Applied Thermal Engineering* 16 (2):189-192.
- [33] Tiwari, GN, Vimal Dimri, Usha Singh, Arvind Chel, and Bikash Sarkar. 2007. "Comparative thermal performance evaluation of an active solar distillation system." *International Journal of Energy Research* 31 (15):1465-1482.
- [34] Tanaka, Hiroshi, and Yasuhito Nakatake. 2004. "A vertical multiple-effect diffusion-type solar still coupled with a heat-pipe solar collector." *Desalination* 160 (2):195-205.
- [35] Tanaka, Hiroshi, Yasuhito Nakatake, and Masahito Tanaka. 2005. "Indoor experiments of the vertical multiple-effect diffusion-type solar still coupled with a heat-pipe solar collector." *Desalination* 177 (1-3):291-302.
- [36] Velmurugan, V, and K Srithar. 2007. "Solar stills integrated with a mini solar pond—analytical simulation and experimental validation." *Desalination* 216 (1-3):232-241.
- [37] Velmurugan, V, J Mandlin, B Stalin, and K Srithar. 2009. "Augmentation of saline streams in solar stills integrating with a mini solar pond." *Desalination* 249 (1):143-149.

- [38]Velmurugan, V, S Pandiarajan, P Guruparan, L Harihara Subramanian, C David Prabaharan, and K Srithar. 2009. "Integrated performance of stepped and single basin solar stills with mini solar pond." *Desalination* 249 (3):902-909.
- [39]Nishikawa, H, T Tsuchiya, Y Narasaki, I Kamiya, and H Sato. 1998. "Triple effect evacuated solar still system for getting fresh water from seawater." *Applied thermal engineering* 18 (11):1075-67
- [40]Dayem, Adel M Abdel. 2006. "Experimental and numerical performance of a multi-effect condensation–evaporation solar water distillation system." *Energy* 31 (14):2710-2727.
- [41]Pandey, GC. 1984. "Effect of dried and forced air bubbling on the partial pressure of water vapour and the performance of solar still." *Solar energy* 33 (1):13-18
- [42]Voropoulos, K, E Mathioulakis, and V Belessiotis. 2001. "Experimental investigation of a solar still coupled with solar collectors ".*Desalination* 138 (1-3):103-110.
- [43]Voropoulos, K, E Mathioulakis, and V Belessiotis. 2003. "Solar stills coupled with solar collectors and storage tank—analytical simulation and experimental validation of energy behavior." *Solar Energy* 75 (3):199-205.
- [44]Sodha, MS, Ashvini Kumar, and GN Tiwari. 1981. "Utilization of waste hot water for distillation." *Desalination* 37 (3):325-342.
- [45]Tiwari, GN, and HP Garg. 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 (3):315-322.
- [46]Kumar, Ashok, and GN Tiwari. 1990. "Use of waste hot water in double slope solar still through heat exchanger." *Energy conversion and management* 30 (2):81-89.
- [47]Yadav, YP. 1993. "Transient performance of a high temperature solar distillation system." *Desalination* 91 (2):145-153.
- [48]Kumar, Shiv, and Arvind Tiwari. 2008. "An experimental study of hybrid photovoltaic thermal (PV/T)-active solar still." *International Journal of Energy Research* 32 (9):847-858.
- [49]Onyegegbu, SO. 1986. "Nocturnal distillation in basin-type solar stills." *Applied energy* 24 (1):29-42.
- [50]Tiwari, GN, and Ashok Kumar. 1988. "Nocturnal water production by tubular solar stills using waste heat to preheat brine." *Desalination* 69 (3):309-318.
- [51]Fath, Hassan ES, and Samy M Elsherbiny. 1993. "Effect of adding a passive
- [52]Belhadj, Mohamed Mustapha, Hamza Bouguettaia, Yacine Marif, and Moussa Zerrouki. 2015. "Numerical study of a double-slope solar still coupled with capillary film condenser in south Algeria." *Energy Conversion and Management* 94:245-252.
- [53]Nijegorodov, Nikolai, Pushpendra K Jain, and Stig Carlsson. 1994. "Thermal-electrical ,high efficiency solar stills." *Renewable energy* 4 (1):123-127.
- [54]Almuhanna, Emad A. 2014. "Evaluation of single slop solar still integrated with evaporative cooling system for brackish water desalination." *Journal of Agricultural Science* 6 (1):48.
- [55]Ahmed, ST. 1988. "Study of single-effect solar still with an internal condenser on solar still performance." *Energy Conversion and Management* 34 (1):63-72.
- [56]Kerfah, Rabah, El ghalia Filali, and Zeghmati Belkacem. 2012. "Modelling and simulation of a modular solar still constituted of a streaming plate collector and a condensation chamber." *Mechanika/Mechanics* 18 (1):49-55.



# الفصل الثاني

نمذجة نظرية للمقطر الشمسي البسيط

**المقدمة :** تعد المقطرات الشمسية أحد أبسط التقنيات للحصول على الماء العذب و الصالح للشرب ، كما أنها لا تحتاج الى صيانة بشكل مكثف و غير ملوثة للبيئة ، كما تعتمد في مبدا عملها على الطاقة الشمسية بشكل مباشر في تسخين الماء الموجود داخل حوض التقطير .

### (1) التقطير الشمسي:

#### (1-1) لمحة عن التقطير الشمسي :

تعتبر الشمس من أهم المصادر الطاقوية، وذلك لتحريرها كمية كبيرة جدا من الطاقة الشمسية، سعى الإنسان منذ القدم في تطويرها واستغلالها بشكل صحيح والاستفادة منها، ومن خلال اكتشاف مادة الزجاج ساعد ذلك في استغلال الطاقة الهائلة للشمس. وقد كان أول من استخدم الطاقة الشمسية في التقطير سنة 1872 في شمال الشيلي (*Chili*) في صحراء (*Las salinas*)، وكان ذلك على شكل أحواض سوداء مغطاة بالزجاج. فالقاعدة السوداء تستعمل كماص للأشعة الشمسية ويوضع في هذا الحوض ماء على سمك رقيق، فيعمل السطح الأسود عمل المبخر ويستقبل البخار المتصاعد من طرف السطح الداخلي للزجاج المائل بزاوية  $20^\circ$ ، مما يؤدي إلى تكاثفه مباشرة ويتجمع في قناة خاصة بالماء المقطر [1].

يُعتمد هذا المبدأ إلى حد الآن مع تغير بعض العوامل الداخلة في زيادة كمية الماء المقطر ، ويسمى أيضا هذا المبدأ : التقطير الشمسي ذو الحوض أو حوض التقطير؛ ان كمية الماء المقطر الناتج من المقطر الشمسي ذو الحوض تتراوح بين 1 إلى 5 لترات في اليوم لكل متر مربع من الحوض ،وتتغير تبعا للعوامل الداخلية المتعلقة بالجهاز والخارجية المتعلقة بحالة الجو و شدة الإشعاع الساقط [2].

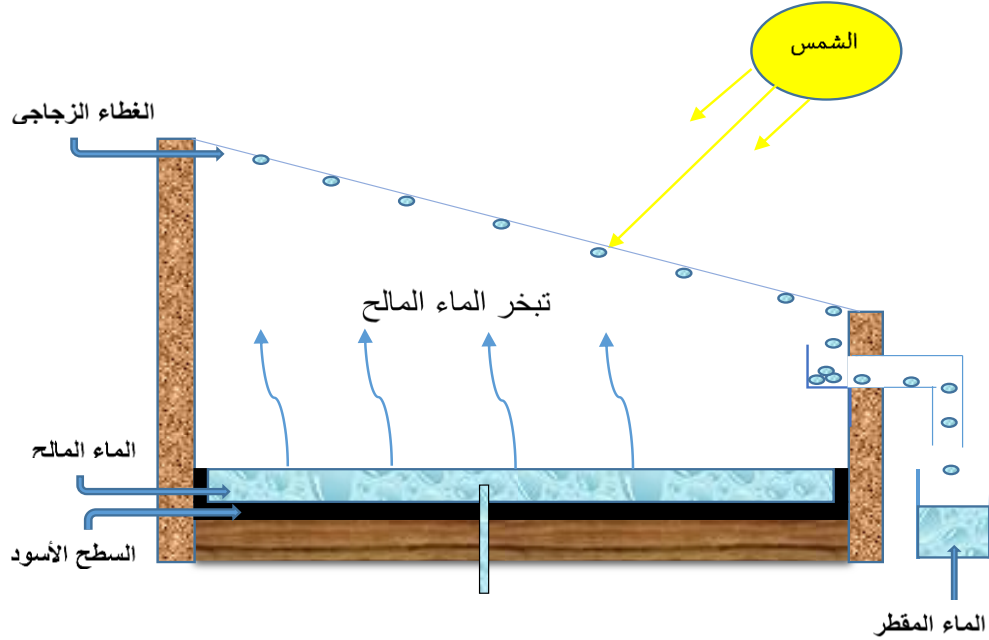
#### (2-1) مبدأ عمل المقطر الشمسي :

التقطير الشمسي ظاهرة طبيعية و له نفس مبدأ الظاهرة الحقيقية التي تحدث في الطبيعة، حيث أن الإشعاع الشمسي الساقط على وسط مائي (البحر، المحيط، البحيرة، النهر) يقوم بتسخين الماء فيتبخر و يرتفع البخار إلى السطح ثم يتم نقله عبر الرياح إلى مكان أكثر برودة فيتكاثف وتشكل الغيوم وبعد ذلك يمكن أن يكون مطر أو ثلوج [3].

ويكون مبدأ عمل المقطر الشمسي الموضح في الشكل (2-1) كالتالي:

- ❖ يسقط الإشعاع الشمسي على الغطاء الزجاجي نحو المقطر.
- ❖ يمتص السطح الأسود الاشعاع الوارد فيسخن الماء المالح .
- ❖ يتبخر الماء المالح (ظاهرة التبخير).
- ❖ ينتقل البخار عن طريق الحمل الحراري الطبيعي إلى سقف المقطر (الغطاء الزجاجي).

❖ يتكثف البخار على السطح الداخلي للغطاء الزجاجي مشكلا قطرات ماء، تسري فتتجمع في وعاء (ظاهرة التكثيف) .



الشكل (1-2) : مبدأ عمل المقطر الشمسي البسيط بشكل عام

3-1) أنواع المقطرات الشمسية

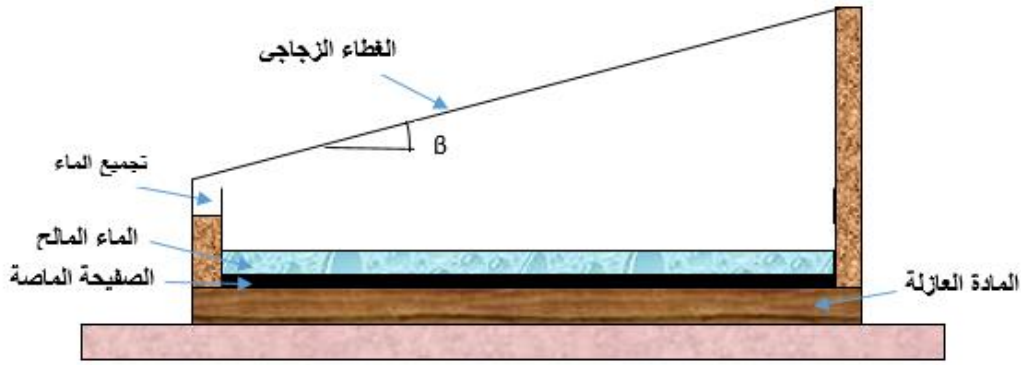
1-3-1) المقطرات البسيطة :

يعتبر هذا النوع الأكثر استعمالا في العالم ، يحتوي المقطر على حوض مملوء بالماء المالح أسفل طبقة الماء صفيحة ماصة مطلية باللون الأسود لإلتقاط أكبر كمية من الإشعاع الشمسي ، ويغطي بغطاء زجاجي يوضع بشكل مائل وذلك ليتكثف البخار، و يتميز بسهولة تركيبه و صيانتته ، بالإضافة الى ثمنه المنخفض نوعا ما [3].

يوجد لهذا النوع عدة نماذج أبرزها :

1-3-2) مقطر ذو الميل الواحد :

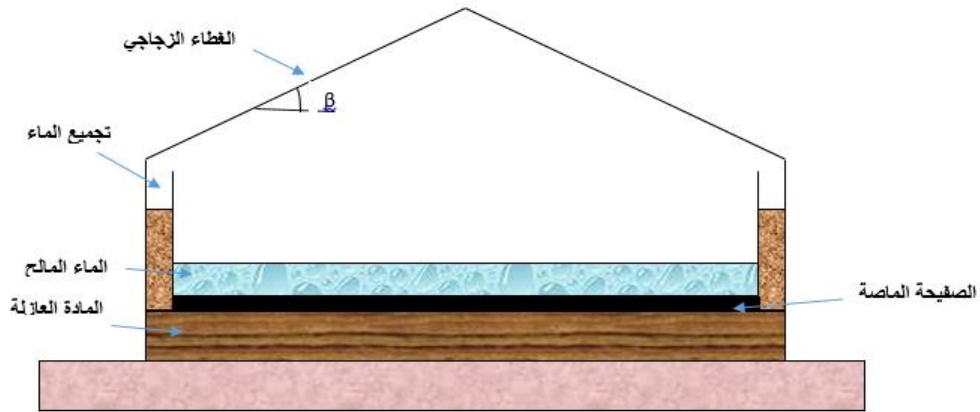
هو مقطر بلاقط واحد مائل بزاوية ( $\beta$ )، ذو تركيبة بسيطة وسهلة التنظيف كما هو موضح في الشكل (2-2) [4]:



الشكل (2-2) : المقطر البسيط ذو الميل الواحد

### 1-3-3) مقطر بميلين:

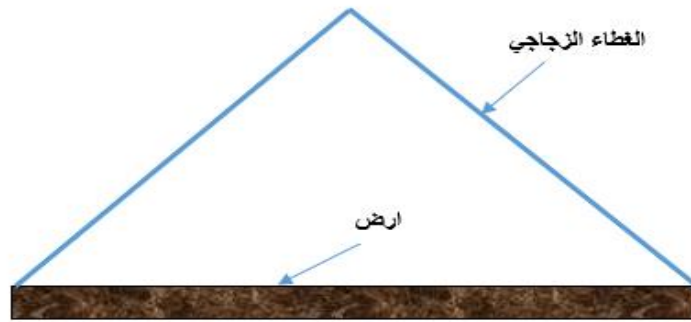
هو مقطر بلاقطين ، كل واحد منهما بميل زاوية ( $\beta$ ) ، احدهما يكون موجه للشمس لزيادة التقاط الاشعاع الشمسي ، بينما الآخر يكون مظلّل لتسريع عملية التكثيف ، كما هو موضح في الشكل (2-2) (3) [5]:



الشكل (3-2) : المقطر البسيط بميلين

### 1-3-4) مقطر شمسي أرض - ماء:

هذا النموذج له نفس تركيبة المقطر ذو الميلين لكن يختلف عنه فقط باستبدال الحوض الأسود بالأرض ، ويستعمل من أجل استغلال كمية الرطوبة الكبيرة المخزنة في الأرض التي تعود الى الغلاف الجوي خلال الفصل الحار ، كما في الشكل (2-4) [4]:



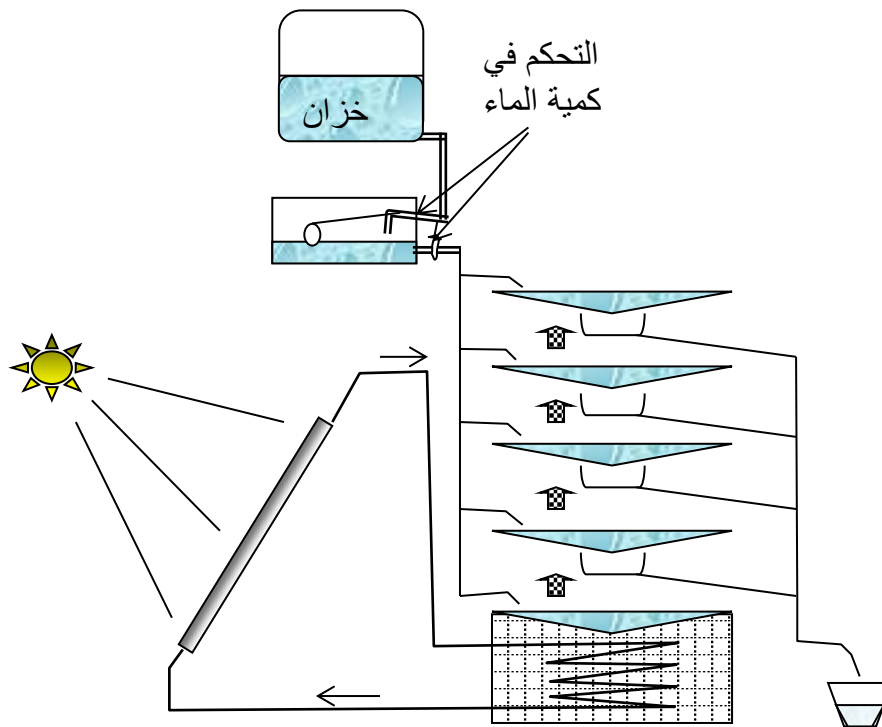
الشكل (2-4) : مقطر شمسي أرض - ماء

### 1-3-5) المقطرات المتعددة :

بصفة عامة هذا النوع يحتوي على عدة مبخرات وله عدة نماذج من بينها :

### 1-3-6) المقطر الشمسي متعدد الطوابق :

يتكون هذا النموذج من عدة طوابق كل طابق يحتوي على الماء المالح ، يعمل المقطر بالاستغلال اشعة الشمس الساقطة على لاقط شمسي الذي بدوره يسخن المائع المخزن فيه ، يستقبل المبدل الحراري حرارة من المائع فتنقل للطابق الأول عندها يتبخر الماء المالح و يتكاثف على الطابق أعلاه هذا الأخير يسخن بحرارة التكثف وتكرر العملية للطوابق الأخرى، والشكل (2-5) يوضح ذلك [4]:



الشكل (2-5) : المقطر الشمسي المتعدد الطوابق

1-4-4) العوامل الداخلية و الخارجية المؤثرة على مردود المقطر :

1-4-1) العوامل الخارجية [6]:

شدة الاشعاع الشمسي : وهي أهم عامل في دراسة المقطر الشمسي ، ويقدر الطول الموجي للطاقة المنبعثة ما بين (  $0.17_4 \mu m$  ) وتكون شدة الاشعاع الشمسي أعظمية عند  $0.47 \mu m$  ، حيث تبلغ الشدة الكلية للشمع الشمسي التي تصل الى السطح  $1.3 kW/m^2$  اذ تعتبر قيمة ضئيلة نظرا لامتناس الغلاف الجوي جزءا من هذا الشعاع . تتراوح الاستطاعة المتوفرة نظريا على سطح الأرض ما بين  $0.95 - 1.22 kW/m^2$  .

سرعة الرياح : يلعب تأثير الحمل الحراري الذي يتعرض له الغطاء الزجاجي دورا مهما في تشغيل النظام، وتقاس سرعة الرياح بمقياس الريح (Anemomètre) الموضوع قرب الزجاج. وقد اعتبر Beckman et Duffie بأن سرعة الرياح مرتبطة بمعامل الانتقال الحملية بين الغطاء والوسط الخارجي.

درجة حرارة الهواء المحيط : يتم تضمين قيمة درجة حرارة الهواء المحيط في تحديد التغيير الحراري بين الوسائط الداخلية والخارجية للمقطر وترتبط مباشرة بالحمل الطبيعي على مستوى الزجاج، فتأثيرها يتناسب طرديا مع درجة حرارة الزجاج.

عوامل أخرى جوية: بالإضافة إلى سرعة الرياح ودرجة حرارة الهواء المحيط، هناك عوامل أخرى جوية مثل رطوبة الهواء و المغيائية اللتين يجب أن تؤخذان بعين الاعتبار في القياس، بحيث أنهما تغيران في الموازنة الحرارية للمقطر .

1-4-2) العوامل الداخلية :

ندرس تأثير العوامل التالية على فعالية النظام:

- عزل الأوجه الجانبية للمقطر .
- سمك الماء الموجود في المبخر .
- الخصائص الفيزيائية للجدار الداخلي .

ميل الزجاج على السطح الأفقي:

إن لميل الزجاج دورا مهما في عمل المقطر الشمسي، لذلك من المهم اختيار ميلان أدنى للزجاج دون إحداث تسرب (نزول) لقطرات الماء إلى حوض الماء المالح، وتقدر القيمة التقريبية لهذا الميلان بعد دراسة أجريت لعدة قيم (زوايا) أن القيمة المثلى للميلان محصورة بين (10-50°).

**ارتفاع مستوى كتلة الماء المقطر:**

إن ارتفاع مستوى الماء المالح في الحوض له دور مهم في عملية التقطير، فيزداد الانتاج اليومي للتقطير كلما كان عمق الماء صغيرا ومحصورا بين (1-1.5cm).

**المسافة التي تقسم السطح الحر إلى لاقطين:**

يؤثر بشكل مباشر على الضغط الداخلي للنواتج المقطر، حيث تؤدي الزيادة في حجم المقطر إلى انخفاض الضغط، مما يؤثر على التغير الحراري وينتج عنه انخفاض في درجة حرارة نواتج التقطير.

**خصائص المكونات:**

**الزجاج: يختلف الزجاج حسب خصائصه**

- السمك.
- اللون: يجب أن يكون شفافا.
- الانعكاس: يجب ان يكون على الاقل ما بين (5-10)% .
- الامتصاص يجب ان يكون من 5%.
- العبور أكثر من 90%.

**الصفیحة المعدنية:** توجد عدة أنواع من الصفائح المعدنية وفقا لخصائصها؛ لذا يجب أن نختار الصفیحة الملائمة لاستخدامها للماص وكذلك للغطاء الخارجي:

- السمك.
- التوصيلية: من الأحسن اختيار صفیحة ذات توصيلية حرارية مرتفعة.
- مقاومة التآكل: الصفیحة المعدنية تكون في تلامس مع الماء، من أجل هذا يجب اختيار صفیحة تقاوم ظاهرة التآكل.

**العازل:** العازل في المقطر هو العنصر الرئيسي، ولاختيار عازل جيد يجب معرفة كل الخصائص التي قد تؤثر على أداء المقطر أهمها: التوصيلية الحرارية للعازل حيث يجب أن تكون قليلة ليكون عزل حراري جيد.

**1-4-3) العوامل الهندسية [7]:**

**سطح وسمك ومكان المكثف :** لتلقي أقصى قدر من الإشعاع الشمسي وللحصول على أقصى إنتاجية، يجب أن نلعب على اتجاه وسمك الغطاء الزجاجي (المكثف)، وقد تم تأكيد هذا التأكيد من خلال دراسة لمجموعة الباحثين، كما تم التأكيد على أن الزاوية يجب أن يكون الغطاء الزجاجي مساويا لخط عرض مكان التجربة.

**نظام التبريد المكثف :** لتبريد الغطاء الزجاجي لجهاز التقطير الشمسي، أي لتوسيع الفرق في درجة الحرارة بين الماء والزجاج؛ هذا له نتيجة لزيادة الإنتاجية. قام بعض الباحثين بتكييف هذا الحل وقاموا بإنشاء تدفق ضعيف ومستمر لغشاء من الماء على الغلاف. أدت هذه التقنية إلى تحسينات في إنتاجية الماء النقي.

**نظام تسخين المياه :** يمكن تسخين مياه البركة من خلال أنظمة شمسية مدمجة في وحدة الطاقة الشمسية مثل مجمع الطاقة الشمسية المسطح أو مجمع الطاقة الشمسية المكافئ أو الأسطوانة المكافئة أو غيرها من الأنظمة، ناهيك عن اللعب على تباين عمق المياه في الحوض. استخدام مواد التخزين الحراري موجود في التقطير الشمسي؛ تستخدم هذه التقنية على نطاق واسع لضمان استمرارية الإنتاج بعد غروب الشمس. يعد العاكس الشمسي من أسهل الطرق لزيادة كفاءة التقطير الشمسي. وقد طورت الدراسات استخدام هذا مفيداً للانتقال إلى الكاسرين الخارجيين والداخليين في وقت واحد. أعطت هذه الإضافة مزيداً من التحسن.

## (2) الظواهر الفيزيائية الأساسية في عملية التقطير:

**1-2) الانتقال الحراري :** انتقال الحرارة هو تحرك كمية الحرارة من نقطة الى نقطة بوجود تدرج في درجة الحرارة والانتقال يتم مهما كان نوع الوسط حتى بعدم وجود وسط مادي (مثلا فراغ في حالة الاشعاع) ويتم الانتقال بثلاثة أنماط و هي كالتالي :

**1-1-2) التوصيل الحراري:** تظل جزيئات المادة ثابتة وتنتقل الحرارة بينهما بالتلامس، ولذلك فإن التوصيل الحراري هو الطريقة الوحيدة لانتقال الحرارة في المواد الصلبة ويمثل نسبة ضئيلة جدا من انتقال الحرارة في السوائل و الغازات و لا يحدث في الفراغ حيث لا توجد جزيئات.

## قانون " فورييه" ( $1^{er}$ loi de Fourier) الأول في الانتشار الحراري:

نعتبر وسط غير متحرك (مستقر حركيا) ومتجانس (متشابه الخواص) محدود بصفيحتين متوازيتين هُما مساحة تساوي  $A$  ومسافة بينية  $dx$ ، وبينهما فرق في درجة الحرارة  $dT$ ، يكون بينهما تيار حراري



استطاعة حرارية ، كمية الحرارة المنقولة في وحدة الزمن  $Q = \frac{dQ}{dt}$  مقاسة بـ ( $W=J/s$ ) من الصفيحة الساخنة إلى الصفيحة الباردة، هذه الاستطاعة الحرارية تعطى بقانون "فوريه" الأول :

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot A \frac{dT}{dx} \quad (2-1)$$

بحيث المُعَامِل  $\lambda$  خاصية ذاتية لِمَادَة الوسط ،تسمى التوصيلية الحراريّة (تقاس بـ  $W/m \cdot ^\circ C$ )  $[\lambda]_{SI}$  .  
**2-1-2) الحمل الحراري :**

في الانتقال الحراري بالحمل ،تُنْقَل الحرارة مباشرة بالحركة الماكروسكوبية (العَيَانِيَّة) للمائع ، و عندها يسمى المائع بـ: المائع الحامل للحرارة ،والحِمْل هو شكل من أشكال الانتقال جد سريع بالمقارنة مع التوصيل .وعند ترك المائع يتحرك لوحده أو بفعل التيار الحراري الناتج من التسخين ،نسمي هذا النوع بالحِمْل الحراري الطبيعي (الحر) ، لكن عند التأثير على المائع بقوة فتعطيه عملا ميكانيكيا (مروحة -رج -ضخ ...) نسميه الحِمْل الحراري القسري  
**قانون نيوتن :**

نعتبر مائع حراري ذو درجة حرارة  $T_\infty$  في تماس مع سطح جسم صلب ،مساحته  $A$  ودرجة حرارته  $T_s$  ،  
يَحْدُث بينهما تبادل حراري (تسخين أو تبريد) ،ويُنْقَل تيار حراري  $\frac{dQ}{dt}$  قيمته حسب قانون "نيوتن":  
$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A (T_\infty - T_s) \quad (2-2)$$

بحيث  $h$  معامل الانتقال الحراري السطحي أو معامل الحِمْل الحراري

### 2-1-3) انتقال الحرارة بالإشعاع:

انتقال الحرارة بالإشعاع يتم بين سطحين ، سطح باث و سطح ماص للإشعاعات الكهرومغناطيسية ،بعكس ما يَحْدُث في التوصيل والحِمْل ،الإشعاعات الكهرومغناطيسية تنتشر بدون وجود وسط مادي ناقل للحرارة، فهي تنتشر حتى في الفراغ المِثَالِي .

**الجسم الأسود:**

يعتبر الجسم الأسود جسما مثاليا في ظاهرة الإشعاع الكهرومغناطيسي ، فهو يَمْتَص (أو يَبْث) كل الإشعاعات (له معامل انبعاث  $\epsilon=1$  ومعامل امتصاص  $\alpha=1$ ) ، ومنه يعتبر معيار للمقارنة بين الأجسام البائِة والماصة للإشعاع.

**قانون ستيفان بولتزمان:**

يعبر عن التدفق الحراري المنبعث من السطح الباث و يعطى بالعلاقة التالية :

$$M = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2 - 3)$$

بحيث :

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

$\varepsilon$ : معامل الانبعاث الإشعاعي للسطح الباث.

$\sigma$ : ثابت ستيفان بولتزمان (  $\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} (W/m^2 \cdot K^4)$  ) .

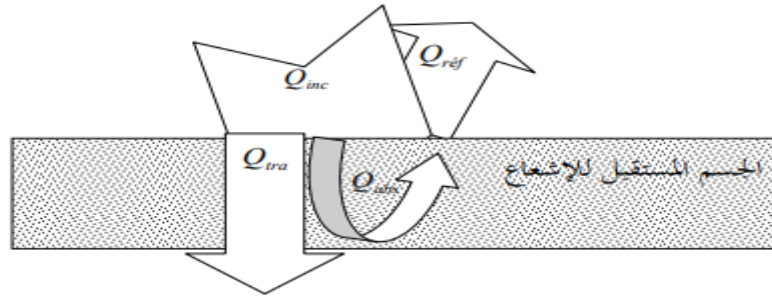
(2-2) استقبال الجسم للإشعاع (الانعكاس-الامتصاص-الامرار) :

عند استقبال جسم للإشعاع، فإن الاستطاعة الواردة له  $Q_{inc}$  تتوزع على ثلاث أجزاء كما موضح في الشكل (2-6):

1. جزء يمر عبر الجسم  $Q_{tra}$ ، ومعامل الامرار:  $\tau = \frac{Q_{tra}}{Q_{inc}}$ .
2. جزء يمتص عبر الجسم  $Q_{abs}$ ، ومعامل الامتصاص:  $\alpha = \frac{Q_{abs}}{Q_{inc}}$ .
3. جزء ينعكس عبر الجسم  $Q_{ref}$ ، ومعامل الانعكاس:  $\rho = \frac{Q_{ref}}{Q_{inc}}$ .

العلاقة بين المعاملات:

$$1 = \tau + \alpha + \rho \quad \text{معناه} \quad Q_{inc} = Q_{tra} + Q_{abs} + Q_{ref}$$



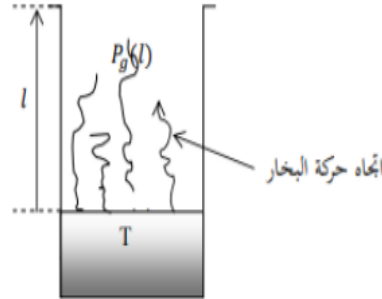
الشكل (2-6) : مخطط يوضح استقبال الإشعاع من طرف جسم غير عاتم

### 3-2) ظاهرتي التكثيف و التبخر

ظاهرة التبخير:

نعتبر حدوث ظاهرة التبخير بغياب الحمل الكتلي بجوار سطح ماء، نسخن الماء فيحدث له تبخر (تغير في الطور من سائل إلى بخار) فوق السطح مباشرة، ثم ينتقل البخار إلى الأعلى بفعل الاختلاف في

الضغط (وعموما نقول التركيز) في حركة بطيئة أو سريعة حسب نوعية التسخين .ومنه ينقسم التبخير (*évaporation*) إلى زمنين:



الشكل (2-7) : وعاء به ماء سائل تحت التبخير في غياب الحمل الكتلي و الحراري

الزمن الأول: حركة جزيئات البخار (بخار الماء) في الطور الغازي للهواء المحيط، بفعل التدرج في الضغط الجزئي  $P_g$ : وهي ظاهرة الانتشار الجزيئي في الطور الغازي (*diffusion moléculaire en phase gazeuse*).

الزمن الثاني: التحول (سائل-غاز)، على مستوى سطح السائل، ويحدث عندها توازن بين الماء السائل والبخار، يخل بهذا التوازن حركة الانتشار. وهذه الظاهرة هي ظاهرة التبخر (*vaporisation*).  
ظاهرة التكثيف: وهي ظاهرة فيزيائية معاكسة لعملية التبخير، وتنقسم الى عمليتين:

الأولى حرارية وهي عملية الاسالة أما الثانية ميكانيكية و تتمثل في ظاهرة التقطير، وتحتاج عملية التكثيف لسطح صلب بارد له درجة حرارة أقل من درجة حرارة البخار [8].

(3) التوازن الحراري في المقطر الشمسي البسيط:

لنمذجة معادلات التوازن الطاقوي لمستويات درجة الحرارة المرتبطة بهذا النموذج، نحتاج لوضع فرضيات، الفرضيات هي كالتالي:

(1-3) الفرضيات المبسطة لنمذجة معادلات التوازن:

**فرضية 1:** توزيع درجة الحرارة منتظم في السطح الأسود والماء والغطاء الزجاجي وأي مستوى آخر، حيث يمكن اعتبار أن درجة الحرارة لا تتغير من نقطة إلى أخرى، يعني لا يوجد أي تدرج لدرجة الحرارة في أي مستوى.

**فرضية 2:** لا يوجد ضياع حراري في حواف خلية التقطير. وجميع هذه الانتقالات أصلها توصيل، وبالتالي نعتبر أن توصيلية المواد المصنع منها الحواف الأفقية والشاقولية لها قيم صغيرة لا تؤثر في نقل الحرارة.

**فرضية 3:** الانتقال الحراري عبر المواد المصنع منها السطح الأسود تكون بالتوصيل فقط، والانتقال الحراري في الماء يكون بالحمل فقط. كذلك يمكن اعتبار حركة جزيئات الماء مهملة.

**فرضية 4:** المستويات الحرارية الأساسية في المقطر البسيط هي ثلاث مستويات وهي: السطح الأسود، الماء، الغطاء الزجاجي، ويمكن أن يزداد عدد المستويات حسب النموذج المقترح.

**فرضية 5:** في كل مستوى يمكن وضع معادلة للتوازن الحراري كما يلي [9]:

$$\left( \text{Rate of } q \right)_{\text{accumulation}} = m c \frac{dT}{dt} = \left( \text{Rate of } q \right)_{\text{in}} - \left( \text{Rate of } q \right)_{\text{out}} + \left( \text{Rate of } q \right)_{\text{generation}}$$

**فرضية 6:** في كل مستوى يمكن اعتبار التوالد الحراري معدوم، أي يمكن كتابة ما يلي :

$$\left( \text{Rate of } q \right)_{\text{generation}} \approx 0$$

(2-3) النموذج الصفري للمقطر البسيط (بدون تحسينات)

هذا النموذج يخص المقطر البسيط ذو ميل واحد وبدون تحسينات، ونرمز لهذا المقطر بالرمز (SSS):

اختصاراً **Simple Solar Still**

وله ثلاث مستويات لدرجة الحرارة، وهي:

**المستوى 1:** السطح الأسود (*black surface*) أو ما يسمى بطانة الحوض، ونرمز له بالرمز  $b$ .

**المستوى 2:** الماء (*water*) أو الماء المالح وهو يقوم مقام المبخر، ونرمز له بالرمز  $w$ .

**المستوى 3:** الزجاج أو الغطاء الزجاجي (*glass cover*) وهو يقوم مقام المكثف، ونرمز له بالرمز  $b$ .

و الشكل (2-8) يوضح هذه المستويات، وكيفية تركيب المزدوجات الحرارية في النقاط المخصصة لكل مستوى.

(3-3) فرضيات على المستويات الحرارية في النموذج (SSS) :

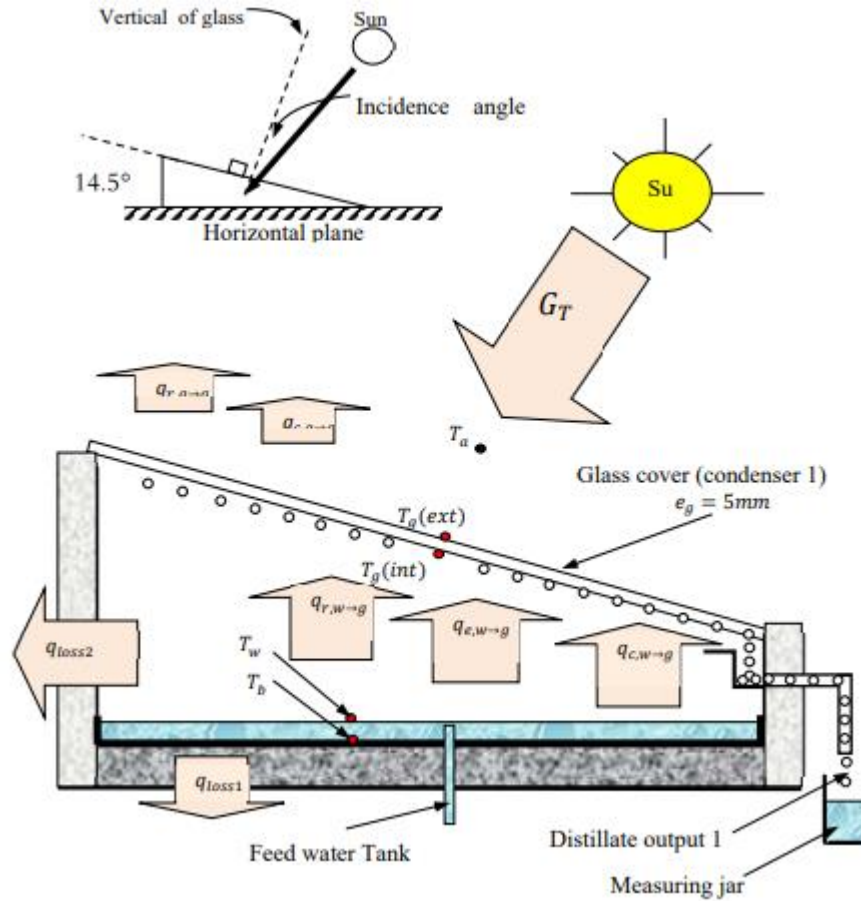
مبدأياً يمكن اعتبار الترتيب التصاعدي لقيم درجات الحرارة كل لحظة، كما يلي  $T_g < T_w < T_b$  ،

لكن يمكن أن يحدث في التجارب أن يختلف هذا التوازن أو أن يتساوى مستويين في درجة الحرارة،

وهذا حسبما تمليه التجربة من ظواهر كالضياع في الحرارة في أحد المستويات، أو تأثير مستوى

حراري على مستوى آخر. يمكن اعتبار درجة حرارة الغطاء الزجاجي  $T_g$  هي درجة الحرارة

المتوسطة بين الوجه الداخلي والوجه الخارجي:



الشكل (2-8) : رسم تخطيطي للتدفقات الحرارية على المقطر الشمسي

### 3-3-1 التحليل النظري للمستويات داخل خلية التقطير في النموذج (SSS) :

مجموعة كبيرة من الباحثين وضعوا نماذج رياضية على شكل معادلات تفاضلية لدرجة الحرارة بالنسبة للزمن، ومن هؤلاء نجد [12; 11; 10] المعادلات التفاضلية للمستويات الحرارية في النموذج (SSS):

**المستوى 1** : التوازن الحراري على مستوى السطح الأسود (الأسود الماص للإشعاع)

تتمثل التبادلات الطاقوية في هذا المستوى:

يمتص السطح الأسود اشعاع مقدر بـ  $\alpha_b(1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_w)G_T$  ، ويفقد حرارة بالحمل الى

الماء بالمقدار  $q_{c,b \rightarrow w}$  و تضييع حرارة عبر العوازل بـ  $(q_{loss1} + q_{loss2})$  .

وفي الأخير تكون معادلة التوازن الحراري بالشكل التالي :

$$m_b c_b \frac{dT_b}{dt} = \alpha_b(1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_w)G_T + q_{c,b \rightarrow w} - (q_{loss1} + q_{loss2}) \quad (2-4)$$

**المستوى 2** : التوازن الحراري على مستوى الماء (مبخر المقطر)

تتمثل التبادلات الطاقوية في هذا المستوى:

يمتص الماء الاشعاع المقدر بـ  $\alpha_w(1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)G_T$  و أيضا من السطح الأسود مقدار من الحرارة

بالحمل  $q_{c,b \rightarrow w}$  ، و يفقد حرارة بالتبخير و الاشعاع و الحمل  $(q_{e,w \rightarrow g} + q_{r,w \rightarrow g} + q_{c,w \rightarrow g})$

الى الجدار الداخلي للغطاء الزجاجي. وفي الأخير تكون معادلة التوازن الحراري بالشكل التالي :

$$m_w c_w \frac{dT_w}{dt} = \alpha_w(1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)G_T + q_{c,b \rightarrow w} - (q_{e,w \rightarrow g} + q_{r,w \rightarrow g} + q_{c,w \rightarrow g}) \frac{A_g}{A_w} \quad (2-5)$$

حيث  $A_w$  و  $A_g$  مساحة الزجاج و الماء على التوالي  $(m^2)$

**المستوى 3:** التوازن الحراري على مستوى الغطاء الزجاجي (مكثف المقطر)

تتمثل التبادلات الطاقوية في هذا المستوى:

يمتص من الاشعاع الشمسي الوارد له من الشمس المقدار التالي :  $\alpha_g(1 - \rho_g)G_T$  ، و يأخذ

حرارة عن الماء المالح بمقدار  $(q_{e,w \rightarrow g} + q_{r,w \rightarrow g} + q_{c,w \rightarrow g})$  ، ويفقد حرارة بالاشعاع و

الحمل الى الجو المحيط به بالمقدار  $(q_{r,g \rightarrow a} + q_{c,g \rightarrow a})$  . وفي الأخير تكون معادلة التوازن

الحراري بالشكل التالي :

$$m_g c_g \frac{dT_g}{dt} = \alpha_g(1 - \rho_g)G_T + (q_{e,w \rightarrow g} + q_{r,w \rightarrow g} + q_{c,w \rightarrow g}) \frac{A_g}{A_w} - (q_{r,g \rightarrow a} + q_{c,g \rightarrow a}) \quad (2-6)$$

**3-3-2) التدفق الكتلي والمقادير الحرارية في النموذج (SSS):**

• كمية الماء المقطر بالنسبة لوحدة الزمن ووحدة المساحة:

$$\frac{dm_d}{dt} = \frac{q_{e,w \rightarrow g}}{\bar{H}_{e1}} = \dot{m}_{d1}(w \rightarrow g) \quad (2-7)$$

• الحرارة الكامنة للتبخير الخاصة بالماء و تعطى بالعلاقة:

$$\bar{H}_{e1} = 2520.22295 - 6.47362T_g + 0.18074T_g^2 - 0.00312T_g^3 + 0.0000260393T_g^4 - 0.000000112655T_g^5 \quad (2-8)$$

**3-3-3) العبارات الخاصة بالمقادير الحرارية في النموذج (SSS):**

**$q_{r,w \rightarrow g}$ :** كمية الحرارة المنتقلة بالإشعاع بين الماء والغطاء الزجاجي:

$$q_{r,w \rightarrow g} = \varepsilon_w \sigma (T_w^4 - T_g^4) = 0,9 \sigma (T_w^4 - T_g^4) ; \varepsilon_w \approx 0,9 \quad (2-9)$$

**$q_{c,w \rightarrow g}$ :** كمية الحرارة المنتقلة بالحمل بين الماء والغطاء الزجاجي:

$$q_{c,w \rightarrow g} = h_{c,w \rightarrow g} (T_w - T_g) \quad (2-10)$$

**$q_{e,w \rightarrow g}$ :** كمية الحرارة المنتقلة بالتبخير بين الماء والغطاء الزجاجي:

$$q_{e,w \rightarrow g} = h_{e,w \rightarrow g} (T_w - T_g) \quad (2-11)$$

**$q_{c,b \rightarrow w}$ :** كمية الحرارة المنتقلة بالحمل بين السطح الأسود والماء:

$$q_{c,b \rightarrow w} = h_{c,b \rightarrow w} (T_b - T_w) \quad (2-12)$$

**$q_{c,g \rightarrow a}$ :** كمية الحرارة الضائعة بالحمل من الغطاء الزجاجي إلى الهواء الخارجي حسب الباحثين:

$$q_{c,g \rightarrow a} = h_{c,g \rightarrow a}(T_g - T_a); \begin{cases} h_{c,g \rightarrow a} = 2,8 + 3V_a & \text{if } V_a \leq 5 \text{ m/s} \\ h_{c,g \rightarrow a} = 6,15V_a^{0,8} & \text{if } V_a \geq 5 \text{ m/s} \end{cases} \quad (2-13)$$

حيث  $V_a$  سرعة الهواء

$$q_{r,g \rightarrow a}: \text{كمية الحرارة الضائعة بالاشعاع من الغطاء الزجاجي إلى الهواء الخارجي} : \\ q_{r,g \rightarrow a} = \varepsilon_g \sigma (T_g^4 - T_{sky}^4) = 0,9 \sigma (T_g^4 - T_{sky}^4) ; \varepsilon_g \approx 0,9 \quad (2-14)$$

حيث:  $T_{sky}$  درجة الحرارة الفعلية للقبة السماوية وتعطى بالعلاقة التالية :

$$T_{sky} = T_a - 6$$

$q_{loss}$ : كمية الحرارة الضائعة بالتوصيل من السطح الأسود للوسط الخارجي حسب [13; 14]:

$$q_{loss1} = \frac{(T_b - T_a)}{\frac{1}{h_a} + \sum_{i=b,1,2} \frac{e_i}{k_i}} = U_{b1}(T_b - T_a) \quad (2-15)$$

$$q_{loss2} = \frac{(T_b - T_a)}{\frac{1}{h_a} + \sum_{i=3,4} \frac{e_i}{k_i}} = U_{b2}(T_b - T_a) \quad (2-16)$$

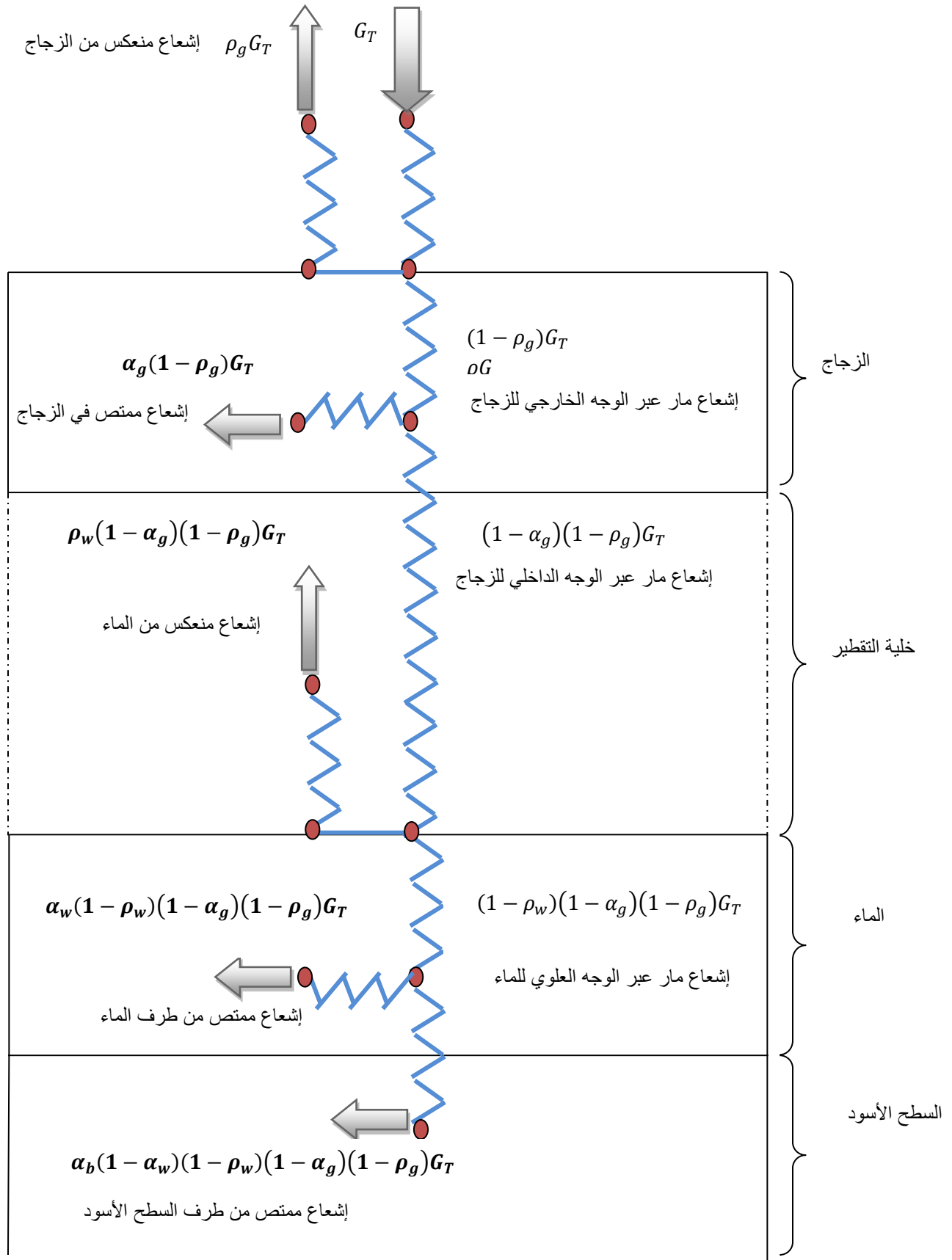
حيث  $k_i$  هي عبارة عن التوصيلية الحرارية لمختلف المواد التي تدخل في تركيب حواف المقطر، لكن حسب الفرضية 2 فإن قيم هذه الانتقالات مهملة، أي ما معناه  $q_{loss1}, q_{loss2}$  ويمكن الإشارة لقيم شئك كل مادة  $e_i$  مع الكتلة السطحية و الحرارة النوعية المتوسطة في الجدول (2-1) التالي :

الجدول (2-1) : بعض الخصائص الفيزيائية للمواد المستعملة في المقطر

حيث نرسم بنقطة ■ للمواد الداخلة في تركيب الحواف، وبنقطة ٥ للمستويات الأساسية في المقطر.

Materials	(e) thickness Mm	(m) Specific mass, kg/m <sup>2</sup>	C average Specific heat ,J/kg.K
• Aluminum plate	$e_b=3$	$m_b=7,629$	$C_b=897$
• Water	$e_w=10$	$m_w=10,000$	$C_w=3958-52,3 T+0,837 T^2$
• Glass	$e_g=5$	$m_g=11,937$	$C_g=753$
• Polystyrene insulation	$e_1=40$	$m_1=1.655$	$C_1=1400$
• Galvanized iron plate	$e_2=1$	$m_2=5,939$	$C_2=449$
• Aluminum foil	$e_3=3$	$m_3=0.166$	$C_3=897$
• Wood	$e_4=30$	$m_4=48.318$	$C_4=2300$

و لفهم المعادلات والتي بها المقدار  $G_T$  لدينا الشكل (2-9) يوضح مقدار الاشعاع الممتص في كل مستوى على حدى.



الشكل (9-2) : مخطط يوضح الإشعاعات الحرارية المارة عبر مختلف أجزاء المقطر (SSS)



### 3-3-4) معاملات انتقال الحرارة بين المستويات الحرارية في النموذج (SSS):

ويمكن إيجاد معاملات متعددة ومختلفة حسب نمط الانتقال والمستويات الحرارية، وهي:

- معامل الانتقال الحراري بالحمل بين الماء والغطاء الزجاجي [15]:

$$h_{c,w \rightarrow g} = 0,884 \left[ (T_w - T_g) + \frac{(P_w - P_g) \cdot (T_w + 273,15)}{268,9 \cdot 10^3 - P_w} \right]^{1/3} \quad (2-17)$$

- معامل الانتقال الحراري بالتبخير بين الماء والغطاء الزجاجي:

$$h_{e,w \rightarrow g} = 16,273 \cdot 10^{-3} h_{c,w \rightarrow g} \frac{(P_w - P_g)}{(T_w - T_g)} \quad (2-18)$$

حيث  $P_w, P_g$  ضغط البخار عند الغطاء الزجاجي و الماء على الترتيب، حسب ما أعطاه الباحثين: [10; 16]

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

- معامل الانتقال الحراري بالحمل بين السطح الأسود والماء، والعلاقات كما وصفها الباحث [13]:

$$h_{c,b \rightarrow w} = 0,54 \frac{k_w Ra_w^{1/4}}{e_w} \quad \text{if} \quad 10^4 < Ra_w < 10^7 \quad (2-19)$$

$$h_{c,b \rightarrow w} = 0,15 \frac{k_w Ra_w^{1/4}}{e_w} \quad \text{if} \quad 10^7 < Ra_w < 10^{11} \quad (2-20)$$

- رقم رايلي Rayleigh للانتقال الحراري بالحمل بين السطح الأسود والماء، حسب [17]:

$$Ra_w = g \frac{e_w^3}{\nu_w \cdot a} \beta_w (T_g - T_a); \beta_w = \frac{1}{\rho_w} \left( \frac{\Delta \rho_w}{\Delta T} \right)_P \quad (2-21)$$

- الإشعاع الحراري الممتص في المستويات الثلاث في المقطر البسيط [10; 16]:

$$\alpha_g (1 - \rho_g) G_T : \text{المتص في الغطاء الزجاجي}$$

$$\alpha_w (1 - \rho_g) (1 - \alpha_g) G_T : \text{المتص في الماء}$$

$$\alpha_b (1 - \rho_g) (1 - \alpha_g) (1 - \alpha_w) G_T : \text{المتص في السطح الأسود}$$

حيث المقادير الإشعاعية للمستويات الثلاث (الامتصاصية  $\alpha$  والانعكاسية  $\rho$ ) مدونة في الجدول (2-2):

### الجدول (2-2): المقادير الإشعاعية للمستويات الثلاث

Materials	(Absorptivity) $\alpha$	(Reflectivity) $\rho$
-----------	-------------------------	-----------------------

Basin liner	$\alpha_b=0,95$	$\rho_b=0,05$
Water	$\alpha_w=0,05$	$\rho_w=0,05$
Glass	$\alpha_g=0,0475$	$\rho_g=0,05$

• الكفاءة الطاقوية للمقطر البسيط [18; 19]:

$$\eta_1 = \frac{q_{e,w \rightarrow g}}{G_T} ; \text{ in type SSS ; } \quad (2 - 22)$$

#### 4) الخاتمة :

من أجل تحسين نظام التقطير الشمسي و السعي لزيادة الإنتاج اليومي للماء المقطر ، فقد تطرقنا في هذا الفصل لدراسة المقطر الشمسي بمختلف أنواعه و خصائصه ، إضافة الى تأثير العوامل الداخلية و الخارجية و الهندسية على مردود المقطر الشمسي ، كما تطرقنا الى الدراسة النظرية للمقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد و استنباط جميع العلاقات و النماذج الرياضية التي يخضع لها .

## 5) مراجع الفصل الثاني:

- [1] ذوادي رشيدة "دراسة مقطر شمسي ذو مكتف مظلل جزئيا، بفعل الاحتباس الحراري الشمسي في المناطق القاحلة مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة، كلية العلوم والتكنولوجيا وعلوم المادة، قسم الفيزياء (2010).
- [2] محمد تخة "دراسة مقارنة وتحسين لمختلف المقطرات الشمسية لإنتاج المياه الصالحة للشرب في المناطق الجافة الصحاوية"؛ مذكرة ماجستير «جامعة ورقلة + كلية العلوم والعلوم الهندسية + قسم الفيزياء (2004).
- [3] جغوبي، رحمانى "دراسة تجريبية وتحليلية لتحسين أداء المقطر الشمسي البسيط في منطقة ورقلة"، مذكرة ماستر، جامعة ورقلة، كلية الرياضيات وعلوم المادة، قسم الفيزياء (2017).
- [4] بن سليمان نور الهدى، شلغام منيرة. "دراسة تجريبية لتحسين أداء المقطر الشمسي البسيط باستعمال المضخة الحرارية"، (Doctoral dissertation)، جامعة قاصدي مرباح ورقلة.
- [5] بوقطاية حمزة، بشكي جمال، ياسين معريف، بالحاج محمد مصطفى المساهمة في تحسين التقطير الشمسي في المناطق الجافة والصحراوية بواسطة المقطر الشمسي المزدوج، جامعة ورقلة، قسم الفيزياء (ورقلة 2007).
- [6] هبية، إسماعيل، دلاش. "دراسة التجريبية لتأثير تغيير الزاوية المقطر الشمسي على إنتاج الماء النقي"، (Doctoral dissertation)، جامعة قاصدي مرباح-ورقلة.
- [7] اليمان سمية، زروقي ربيعة. "دراسة تجريبية لتحسين مردود التقطير الشمسي بضمان ثبوت درجة حرارة أجزائه الخارجية بواسطة لاقط شمسي مستوي"، (Doctoral dissertation)، جامعة قاصدي مرباح-ورقلة.
- [8] بن شريف مارية؛ سعيدي. "دراسة تجريبية لتحسين مردود المقطر الشمسي في منطقة ورقلة". PhD Thesis. جامعة قاصدي مرباح ورقلة.
- [9] Tosun, Ismail. 2007. *Modeling in transport phenomena: a conceptual approach*: Elsevier.
- [10] Edalatpour, Mojtaba, Ali Kianifar, and Shamsoddin Ghiami. 2015. "Effect of blade installation on heat transfer and fluid flow within a single slope solar still." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 66. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2015.05.015
- [11] Omara, ZM, Mohamed A Eltawil, and ElSayed A ElNashar. 2013. "A new hybrid desalination system using wicks/solar still and evacuated solar water heater." *Desalination* 325:56.64-
- [12] Rahbar, Nader, Javad Esfahani, and Ehsan Fotouhi-Bafghi. 2015. "Estimation of convective heat transfer coefficient and water-productivity in a tubular solar still – CFD simulation and theoretical analysis." *Solar Energy* 113:313–323. doi: 10.1016/j.solener.2014.12.032.
- [13] Ben Halima, Hanen, Nader Frikha, and Romdhane Ben Slama. 2014. "Numerical investigation of a simple solar still coupled to a compression heat pump." *Desalination* 337:60-66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.01.010>.
- [14] Madhlopa, A., and C. M. Johnstone. 2009. "Numerical study of a passive solar still with separate condenser." *Renewable Energy* 34:1668-1677. doi: 10.1016/j.renene.2008.12.032.
- [15] Rahmani, Ahmed, and Abdelouahab Boutriaa. 2017. "Numerical and experimental study of a passive solar still integrated with an external condenser." *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (48):29047-29055. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.07.242>.
- [16] Feilizadeh, Mehrzad, M. R. Karimi Estahbanati, Amimul Ahsan, Khosrow Jafarpur, and Amin Mersaghian. 2016. "Effects of water and basin depths in single basin solar stills: An experimental and theoretical study." *Energy Conversion and Management* 122:174-181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.05.048>.

- [17]Xie, Guo, Jianyin Xiong, Hongtao Liu, Baoping Xu, Hongfei Zheng, and Yingjun Yang. 2015. "Experimental and numerical investigation on a novel solar still with vertical ripple surface." *Energy Conversion and Management* 98:151-160.
- [18]Rahmani, Ahmed, Abdelouahab Boutriaa, and Amar Hadeif. 2015. "An experimental approach to improve the basin type solar still using an integrated natural circulation loop." *Energy Conversion and Management* 93:298-308. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.026>.
- [19]Prakash, P., and V. Velmurugan. 2015. "Parameters influencing the productivity of solar stills – A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49:585-609. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.136>.

# الفصل الثالث

الدراسة التحليلية للمقادير الفيزيائية في المقطر الشمسي  
البيسط

## 1) المقدمة:

إن العلاقات التي تربط بين انتقال الحرارة والمادة تعطينا فكرة عن الظواهر الفيزيائية التي تحدث في المَقْطَر وعن مبدأ عمله، وتأثير العوامل الخارجية و الداخلية في إنتاجه للماء المَقْطَر مرتبطة بعضها البعض ، و لوضع تلك العلاقات من الممكن الاعتماد على إحدى الطرق:

(1). القوانين النظرية لانتقال الحرارة: كالتوصيل الحراري، و الحمل الحراري، و كذا الإشعاع الحراري .  
و بواسطتها نستطيع وضع معادلات التوازن الحراري.

(2). القوانين النظرية لانتقال المادة: كالانتشار الجزيئي و الحمل الكتلتي، نضع من خلالها معادلات التوازن الكتلتي و المعادلات الممثلة لظاهرة التبخير ( évaporation ) والتكثيف (condensation).

(3). طريقة جداول المعطيات التجريبية: و بما تَمَلَّا جداول تحتوي كل المقادير الطاقوية (الحرارية) و المقادير الفيزيائية المهمة كالتدفق الكتلتي للماء، و المتغيرات و الثوابت المأخوذة بعين الاعتبار في التجربة، و من الممكن أن نضع علاقات تجريبية مفيدة لإعطاء فكرة تصور لنا ما يحدث، و يمكن اعتبارها نموذجاً تجريبياً يأخذ في عين الاعتبار في المقارنة و الدراسة.

(4). طريقة المنحنيات: وهي منحنيات إما تجريبية ناتجة من ربط كل المتغيرات والثوابت و التوابع في الجداول التجريبية، أو نظرية ناتجة من ربط المتغيرات والتوابع في القوانين النظرية و مهما كان عدد هذه المتغيرات. ولهذه المنحنيات فائدة في القراءة المباشرة، و هي تستعمل كثيراً خاصة في قراءة الخواص الفيزيائية للهواء الرطب مثلاً ، وحرارة التبخير للماء  $Q_e$  بدلالة درجة حرارته  $T_w$  ودرجة حرارة الغطاء  $T_g$ .

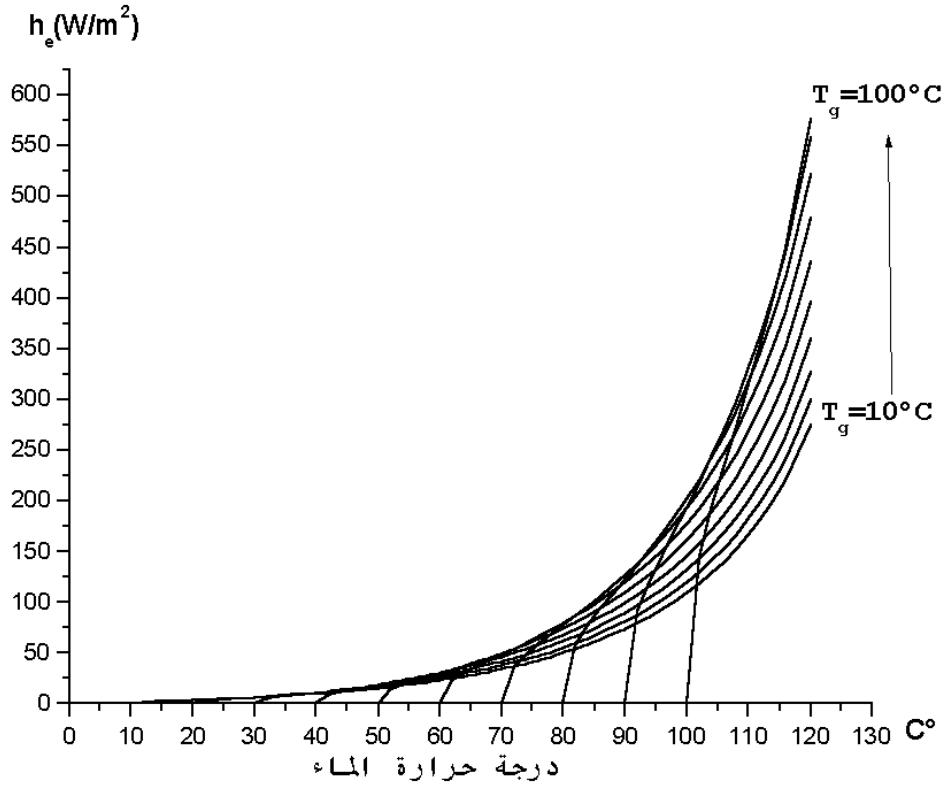
ملاحظة: نرسم لكثافة التدفق الحراري " Q " ونسميها اختصاراً في جميع الفصول بـ: التدفق الحراري، وهي ذات الوحدة  $[Q]_{SI} = W/m^2$ ، وتسمى أيضاً "التدفق الحراري لوحدة السطح".

## 2) المنحنيات المساعدة في حساب $Q_e$ و $Q_c$ و التدفقات الحرارية الضائعة:

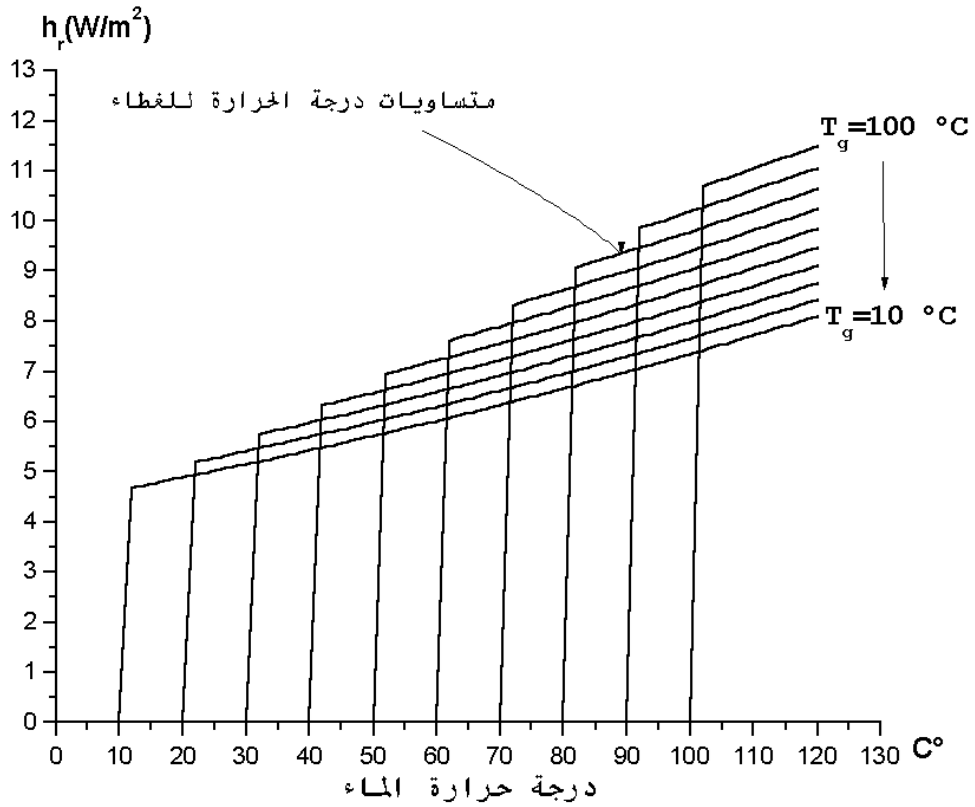
انطلاقاً من العلاقات الثلاثة التي تعطي التدفقات الداخلية: نستطيع إنشاء منحنيات تعطي قيم التدفقات بمعرفة قيم درجات الحرارة لكل من الماء المالح  $T_w$  و الغطاء  $T_g$ ، ويشترط في هذا الإنشاء معرفة ما يلي:

- ضغط التشبع لبخار الماء  $P_w$  عند سطح الماء بدلالة درجة حرارة الماء.
  - ضغط التشبع لبخار الماء  $P_{wg}$  عند سطح الغطاء بدلالة درجة حرارة الماء.
  - الحرارة الكامنة بفعل التبخر  $L_w$  بدلالة درجة حرارة الماء.
  - التدفقات الحرارية بالحمل والإشعاع والتبخير حسب معادلات انتقال الحرارة داخل الخلية.
- و نحتاج لإنشاء هذه المنحنيات برنامج حساب، يعتمد على إدخال قيم  $T_w$  و تثبيت قيم  $T_g$  للحصول على قيم التدفق الحراري، ثم نغير قيمة  $T_g$  للحصول على قيم جديدة للتدفق الحراري ، ثم نرسم المنحنيات المتساوية لدرجة الحرارة  $T_g$  . و من الممكن عكس العملية للحصول على منحنيات متساويات درجة الحرارة  $T_w$  .

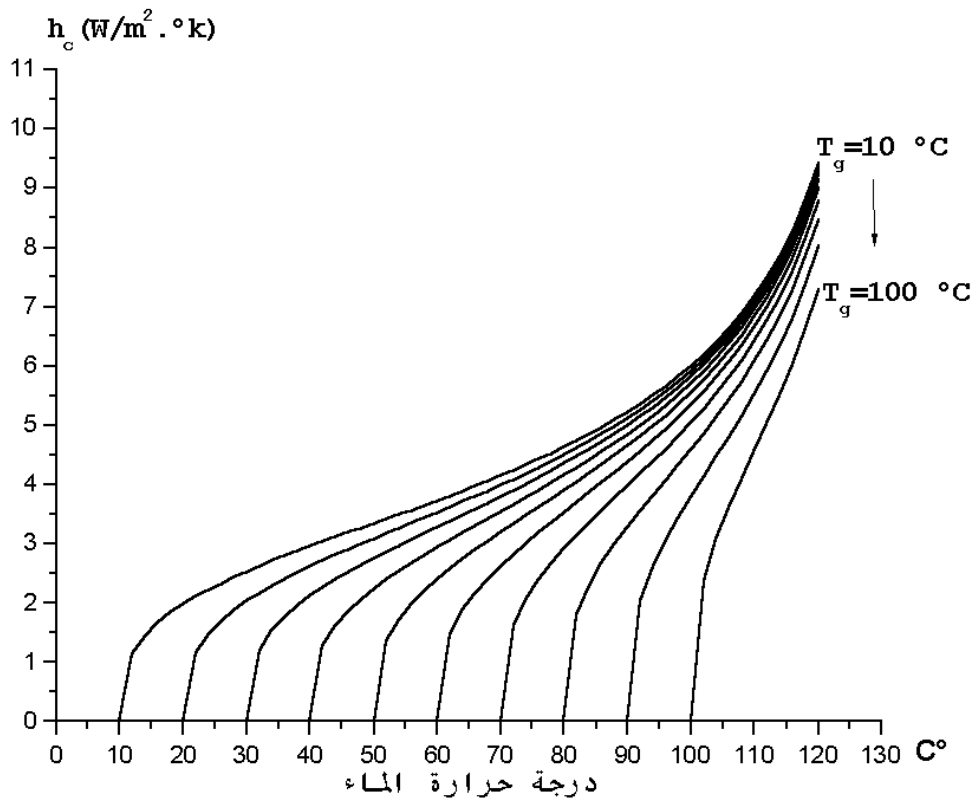
المنحنيات المساعدة في الحساب النظري للتدفقات الحرارية الداخلية وربطها بالنتائج التجريبية في المقطر الشمسي بفعل البيت الزجاجي



الشكل (3-1): المعامل الحراري بفعل التبخر

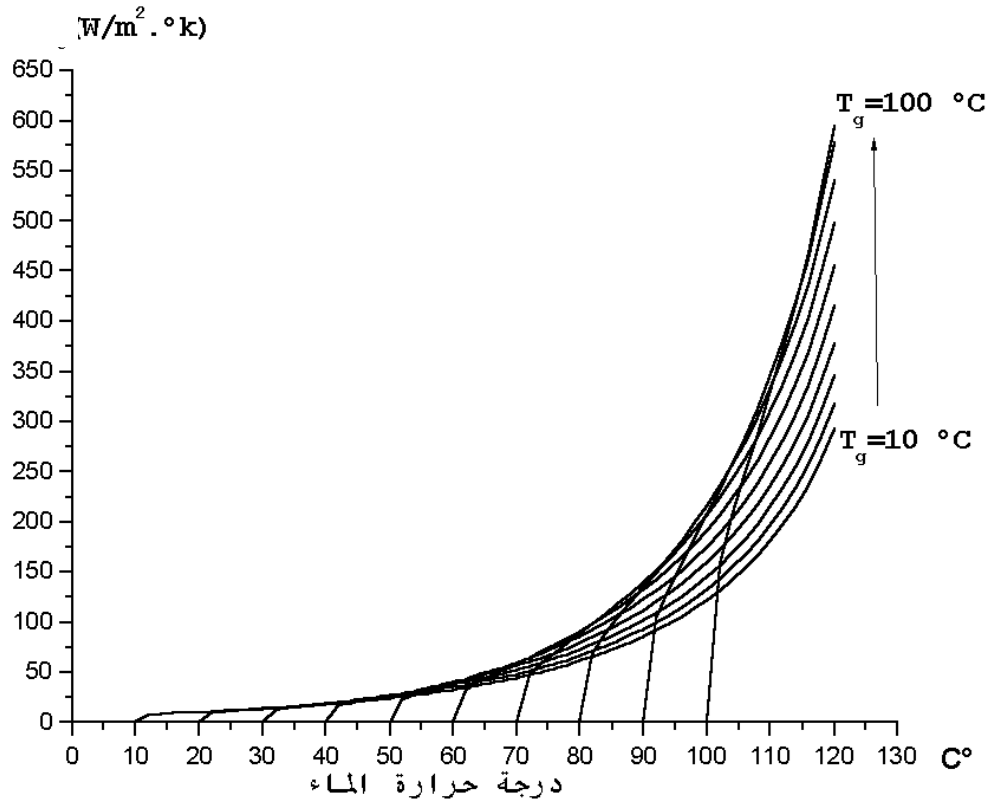


الشكل (2-3): معامل الانتقال الحراري بالإشعاع

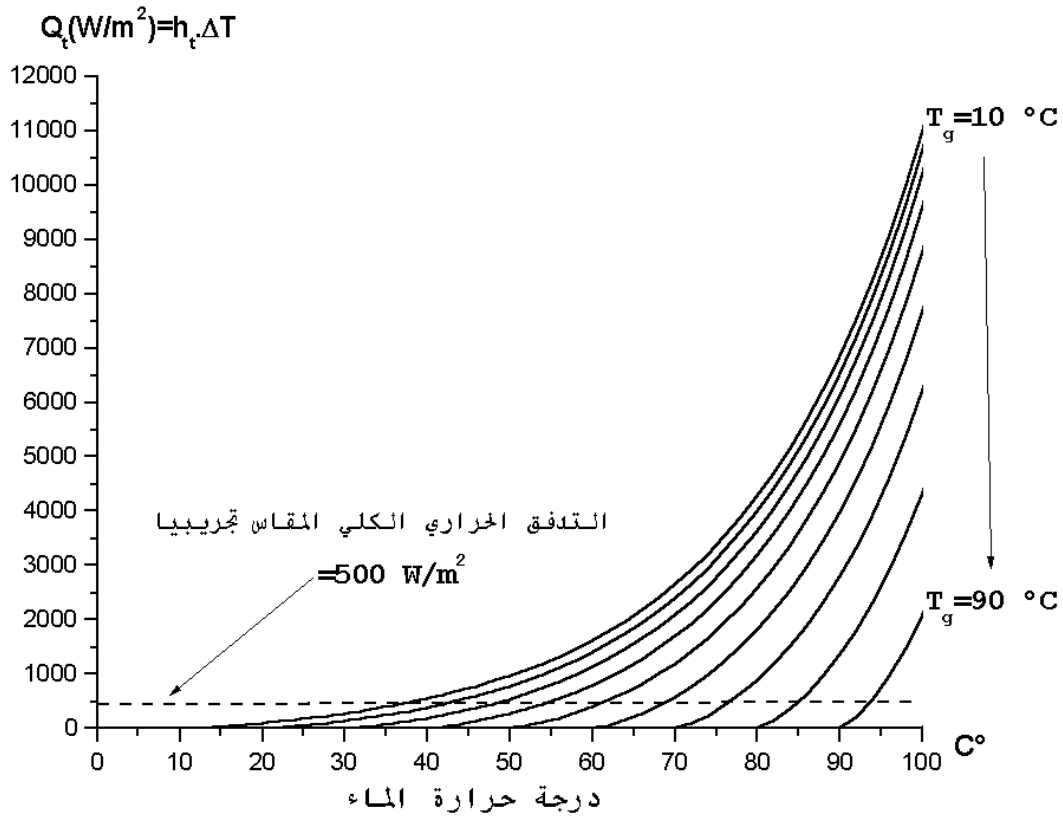


الشكل (3-3): معامل الحمل الحراري





الشكل (3-4): المعامل الحراري الكلي



الشكل (3-5): التدفق الحراري الكلي

(1) المعاملات و التدفقات الحرارية :

من خلال المنحنيات في الأشكال (1-3) (2-3) (3-3) الممثلة لتغير المعاملات الحرارية بفعل التبخير و الحمل والإشعاع على التوالي، نلاحظ أنه تزداد قيم كل من معاملات الحمل و التبخير و الإشعاع الحراري بنسب مختلفة كلما زادت  $T_w$  مع تثبيت  $T_g$  (منحني متساوي درجة الحرارة ل  $T_g$ )؛ و بالتالي يؤدي إلى زيادة المعامل الحراري الكلي  $h_t = (Q_r + Q_c + Q_e)/(T_w - T_g)$  و بالتالي إلى زيادة التدفق الحراري الكلي.

حيث ان القيم تجريبيا في المراجع السابقة لا تتجاوز [2] :

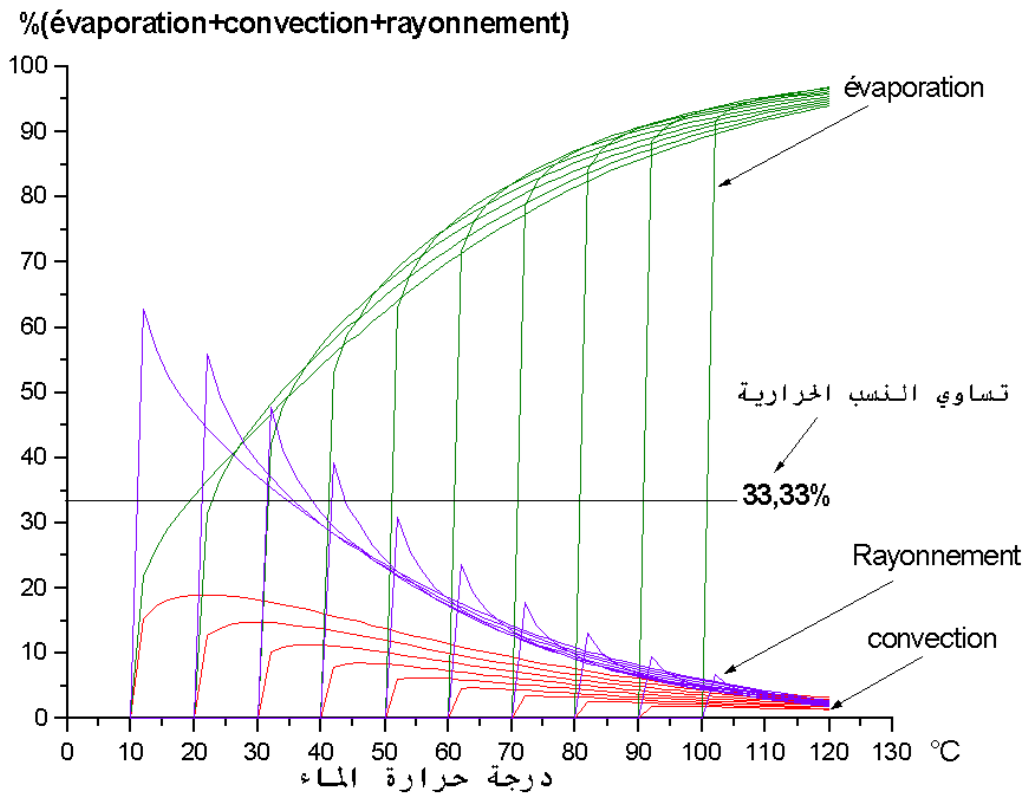
\* معامل الانتقال الحراري بفعل التبخير، القيمة  $h_e = 115W/m^2.K$ .

\* معامل الانتقال الحراري بالإشعاع ، القيمة  $h_r = 10W/m^2.K$ .

\* معامل الانتقال الحراري بالحمل ، القيمة  $h_c = 2,5W/m^2.K$ .

\* معامل الانتقال الحراري الكلي ، القيمة  $h_t = 127,5W/m^2.K$ .

\* التدفق الحراري الكلي ، لا يتجاوز تجريبيا القيمة  $h_e = 500W/m^2$ .

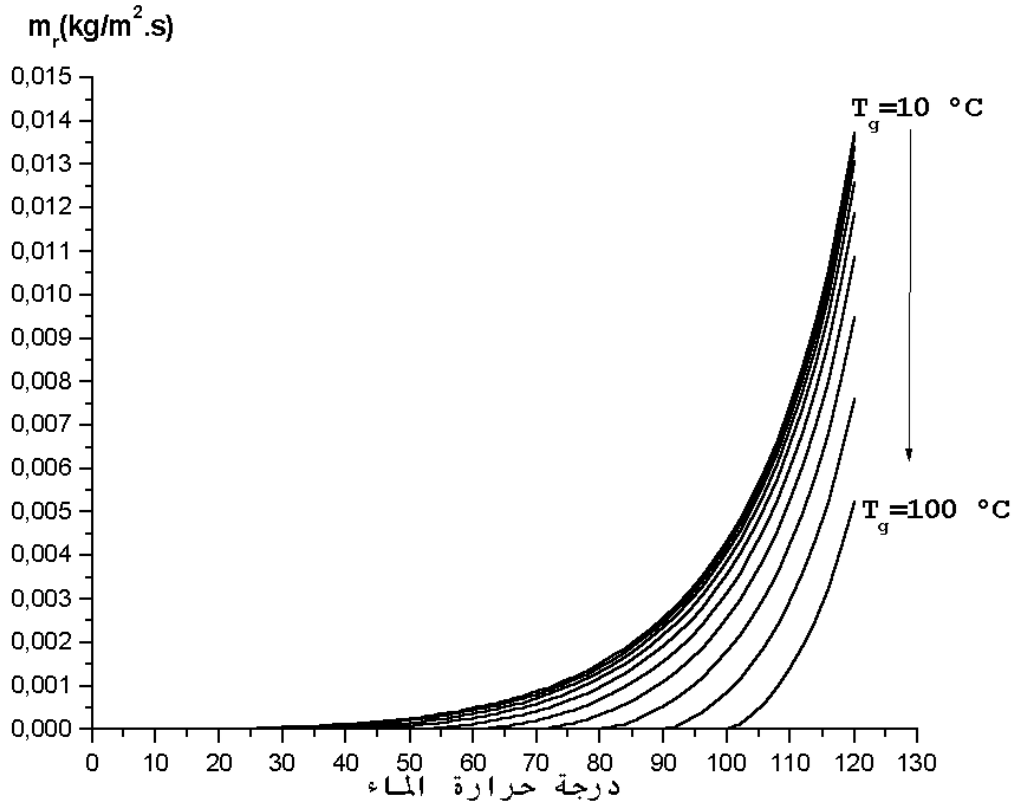


الشكل (6-3): النسب الحرارية الداخلية للتبخير و الحمل و الإشعاع

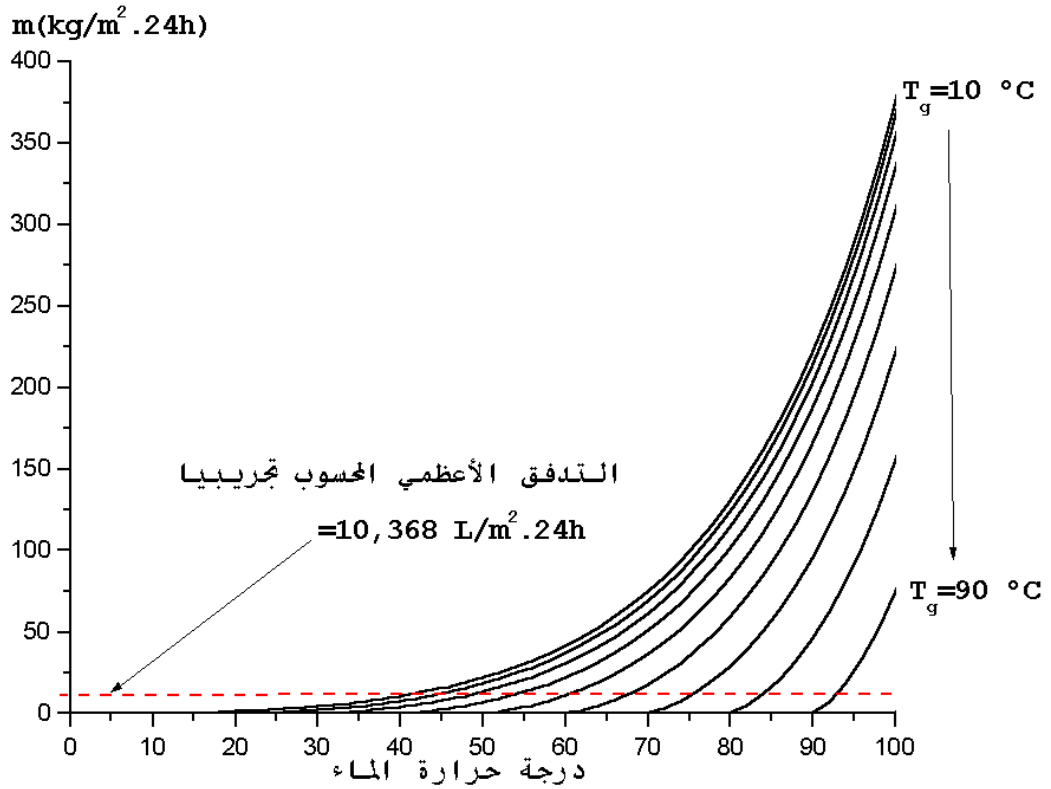
(2) النسب الحرارية الداخلية للتبخير و الحمل و الإشعاع :

حسب الشكل (6-3) للنسب الحرارية لكل من التدفقات الحرارية الثلاثة فإن:

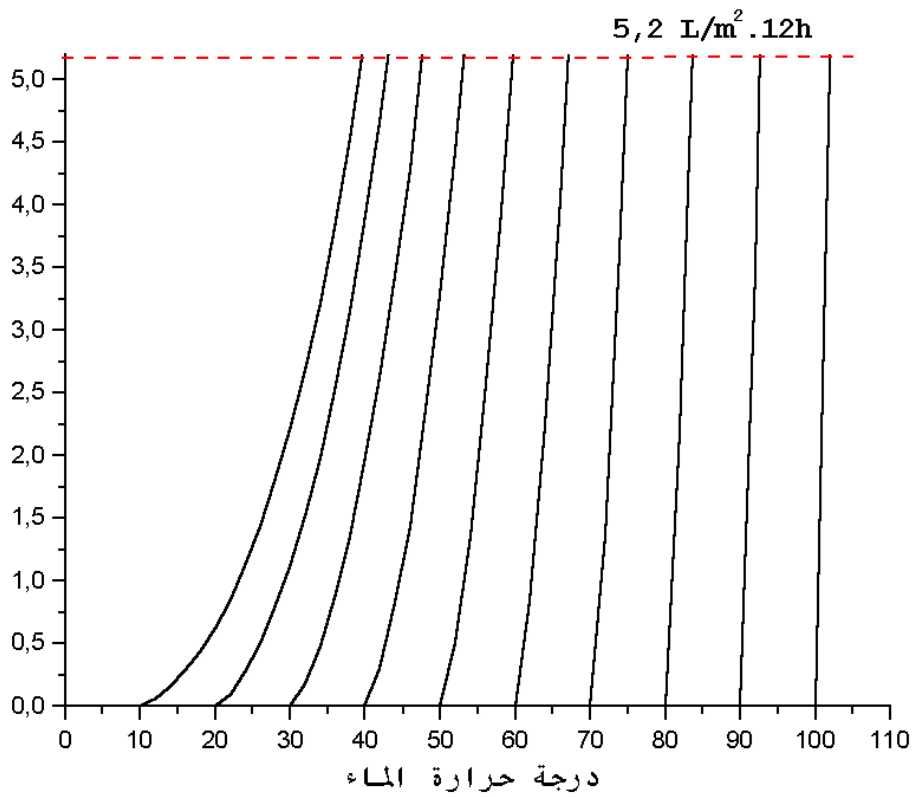
- نسبة التبخير: قدرت هذه النسبة حسب النموذج النظري بقيمة لا تتعدى 94% عند درجات الحرارة القريبة من درجة الغليان  $100^{\circ}\text{C}$ ، بينما عند الدرجات القريبة من درجة  $T_w \leq 10^{\circ}\text{C}$  قدرت بنسبة قليلة جدا.
  - نسبة الإشعاع: حسب النموذج النظري قدرت هذه النسبة بقيمة أقل من 65% عند درجات الحرارة القريبة من  $T_w \leq 10^{\circ}\text{C}$ ، بينما انخفضت بجوار  $100^{\circ}\text{C}$  حيث قدرت نسبتها بأقل من 5% حيث يأخذ التبخير النسبة الكبيرة .
  - نسبة الحمل: حسب النموذج النظري فهي النسبة الأضعف مقارنة مع النسب الأخرى، و لا تتجاوز قيمة 9% عند درجات الحرارة القريبة من  $T_w \leq 10^{\circ}\text{C}$ ، بينما تكاد تنعدم لوجود فعل قوي للتبخير بجوار  $100^{\circ}\text{C}$ .
- عند النسبة 33,33% : تتساوى النسب المئوية للتدفقات الحرارية، حيث يصبح تأثير التبخير مساويا لتأثير الحمل و الإشعاع .



الشكل (7-3): التدفق الكتلي



الشكل (8-3): التدفق الحجمي في 24 ساعة لمقطر شمسي بتغذية حرارية اصطناعية



الشكل (9-3): التدفق الحجمي لبخار الماء بـ L/m<sup>2</sup> .jour

(3) التدفق الكتلي و الحجمي :

حسب النموذج النظري للتدفق الكلي :

$$\dot{m}_{th} = \frac{Q_e}{L_w} ; L_w = 2,596.10^5 (6473 - T_w)^{0.38}$$

✓ عند درجة حرارة الغليان 100°C ; قيمة التدفق الكتلي لبخار الماء لا تتعدى  $\dot{m} = 0,00012 \text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ .

وقيمة هذا التدفق في كل ساعة :  $\dot{m} = (0,00012) \times (3600) = 0,432 \text{kg/m}^2 \cdot \text{h} = 432 \text{g/m}^2 \cdot \text{h}$

✓ أما بالنسبة للتدفق الحجمي لبخار الماء في 24 ساعة يغذي فيها المقطر بمصدر اصطناعي ، لا يتجاوز

$$\dot{m} = (0,00012)(3600) = 0,432 \text{kg/m}^2 \cdot \text{h} \quad \text{القيمة:}$$

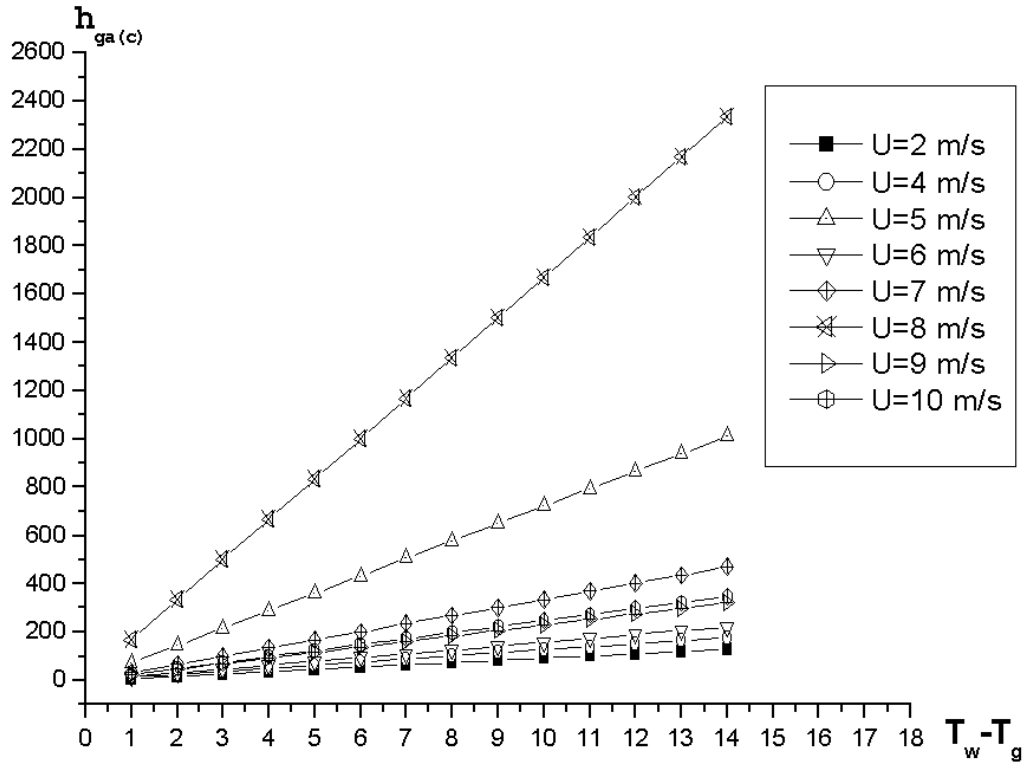
إذا اعتبرنا الكتلة الحجمية للماء السائل  $\rho_{wL} = 1 \text{kg/L}$  ، يصبح التدفق الحجمي للماء المقطر الناتج من تكاثف البخار :

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho_{wL}} = 10,386 \text{L/m}^2 \cdot 24 \text{h}$$

✓ التدفق الحجمي لبخار الماء في 12 ساعة يغذي فيها المقطر بمصدر اصطناعي ، أو بتغذية طبيعية في يوم له

مدى الشمس 12 ساعة لا يتجاوز :

$$\dot{V} = \left( \frac{\dot{m}}{\rho_{wL}} \right) / 2 = 5,193 \text{L/m}^2 \cdot 12 \text{h}$$



الشكل (3-10): تغير معامل الانتقال الحراري باخمل بين الغطاء و الجو

#### 4) تأثير سرعة حركة الهواء في زيادة الضياع الحراري على مستوى الغطاء:

في المنحني (3-10)؛ إذا ثبتنا في قيمة  $U_{ven}$  نلاحظ أن كل منحنى متساوي في قيمة  $U_{ven}$  تزداد فيه قيم  $h_{ga(c)}$  تزايداً خطياً أو أسياً حسب المجال الذي تنتمي له قيمة  $U_{ven}$ .

$$h_{ga(c)} = 5,7 + 1,75.U_{ven} \quad U_{ven} < 4,95m/s$$

$$h_{ga(c)} = 4,12.(U_{ven})^{0,78} \quad 4,95 < U_{ven} < 30m/s$$

#### 5) تأثير درجة حرارة الغطاء $T_g$ :

#### 5-1) تأثير $T_g$ على الانتقال الحراري الداخلي:

من المنحنيات في الأشكال (3-1) (3-2) (3-3) نستنتج:

- الزيادة في درجات الحرارة  $T_g$  يؤدي إلى التناقص في المعاملات الحرارية  $h_c$ ،  $h_r$ ،  $h_e$  وبالتالي يؤدي هذا إلى التناقص في قيمة المعامل الإجمالي للانتقال الحراري بين الماء والغطاء والذي يساوي :

$$h_t = (Q_r + Q_c + Q_e)/(T_w - T_g)$$

$$T_g \uparrow \Rightarrow h_t \downarrow \quad T_g \uparrow \Rightarrow Q_t \downarrow$$

$$T_g \downarrow \Rightarrow h_t \uparrow \quad T_g \downarrow \Rightarrow Q_t \uparrow$$

### 2-5) تأثير $T_g$ على كمية الماء المقطر:

من خلال المنحنيات في الأشكال (6-3) (7-3) (8-3) (9-3) نستنتج:

- الزيادة في درجات الحرارة  $T_g$  يؤدي إلى التناقص في كمية الحرارة  $Q_e$  وبالتالي يؤدي هذا إلى التناقص في كمية

$$\begin{array}{ll} T_g \uparrow \Rightarrow Q_t \downarrow & T_g \uparrow \Rightarrow \dot{m} \downarrow \\ T_g \downarrow \Rightarrow Q_t \uparrow & T_g \downarrow \Rightarrow \dot{m} \uparrow \end{array} \quad \text{الماء الناتج}$$

### 3-5) تأثير $T_g$ في الضياع الحراري على مستوى الغطاء:

انطلاقاً من المنحنى في الشكل (9-3) نستنتج:

- الزيادة في درجة الحرارة  $T_g$  يؤدي إلى زيادة الضياع في الحرارة على مستوى الغطاء ، وهذه الحرارة تضيع في

الجو المحيط على شكلين : بالإشعاع  $Q_{ga(r)}$  وبالحمل  $Q_{ga(c)}$  والمجموع يعطي  $Q_{ga}$ .

نتيجة: زيادة درجة حرارة الغطاء لها تأثير سلبي على كمية الماء المقطر.

$$T_g \uparrow \Rightarrow Q_{ga} \downarrow$$

$$T_g \downarrow \Rightarrow Q_{ga} \uparrow$$

### 3) المردود الطاقوي (الداخلي $\eta_i$ والكلي $\eta_0$ ) للتقطير :

إن استخدام التدفقات الحرارية الداخلية والخارجية لمعرفة وتحديد فعالية التقطير ، لا يعطينا معيار للمقارنة بين مختلف المقطرات ، فمثلاً  $Q_e$  له علاقة مباشرة بكمية الماء المقطر ، وقيمه بالنسبة لـ  $G$  تحدد مردودية الجهاز المقطر ، ومنه نعرف :

المردود الطاقوي الكلي لتقطير  $\eta_0$  كما يلي : هو نسبة التدفق الحراري بالتبخير  $Q_e$  على التدفق الحراري بالإشعاع

$$\eta_0 = \frac{Q_e}{G} \text{ الساقط على الغطاء.}$$

المردود الطاقوي الداخلي للتقطير  $\eta_i$  كما يلي: هو نسبة التدفق الحراري بالتبخير  $Q_e$  على التدفق الحراري

بالإشعاع الممتص في الماء  $\alpha_{weff} G$  معناه:  $\eta_i = \frac{Q_e}{\alpha_{weff} G}$  ، هو معامل الامتصاصية الإشعاعية الفعال للماء

ويعطي بالعلاقة التالية  $\alpha_{weff} = \tau_g \alpha_w + \tau_g \tau_w \alpha_b$  لدليل  $b$  يدل على السطح الأسود، وقيم  $\alpha_{weff}$  مسجلة في

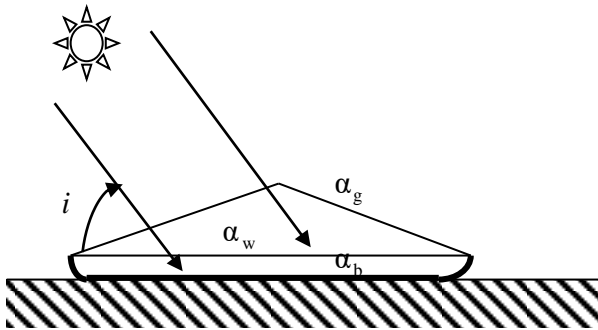
الجدول (1-3): وهو مأخوذ من الدراسة التجريبية التي قام بها P.I.Cooper سنة 1972 في غرب أستراليا ، والشكل

(11-3) : يوضح عوامل الامتصاصية والإمرارية. في الجدول نلاحظ أن قيم  $\alpha_{weff}$  محصورة بين 70% و 80% و

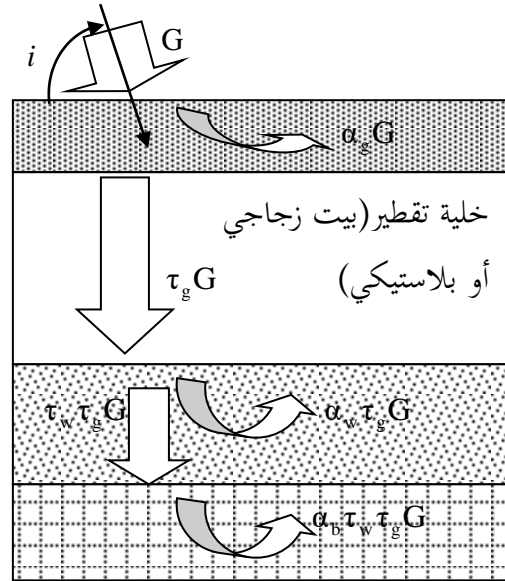
القيمة العظمى والتي تساوي 85,14%، هي من أجل الزوايا الصغيرة والمحصورة بين 0% و 30% ومنه يجب أخذ زاوية الورود في هذا المجال.

الجدول (3-1): قيم الامتصاصية الإشعاعية الفعالة للماء حسب زاوية الورود للإشعاع الشمسي بالنسبة للغطاء.

60	45	30	0	زاوية الورود للإشعاع $i$ (بالدرجات °)
10	6	5	5	الانعكاسية الإشعاعية للغطاء $\rho_g$ %
5	5	5	5	الامتصاصية الإشعاعية للغطاء $\alpha_g$ %
85	89	90	90	الإمرارية الإشعاعية للغطاء $\tau_g$ %
6	3	2	2	الانعكاسية الإشعاعية للماء $\rho_w$ %
30	30	30	30	الامتصاصية الإشعاعية للماء $\alpha_w$ %
64	67	68	68	الإمرارية الإشعاعية للماء $\tau_w$ %
5	5	5	5	الانعكاسية الإشعاعية للسطح الأسود $\rho_b$ %
95	95	95	95	الامتصاصية الإشعاعية للسطح الأسود $\alpha_b$ %
0	0	0	0	الإمرارية الإشعاعية للسطح الأسود $\tau_b$ %
77,18	80,54	85,14	85,14	الامتصاصية الإشعاعية الفعالة للماء $\alpha_{weff}$ %



الشكل (3-12): زاوية ورود الإشعاع الشمسي  $G$  وعوامل الامتصاص الإشعاعي في حوض التقطير.



الشكل (3-11): عوامل الامتصاصية والإمرارية وتأثيرها على  $G$  الوارد بزاوية  $i$

#### 4) فعالية التبخير في الانتقال الحراري $\eta_{ev}$ :

هي النسبة التالية:



$$\eta_{ev} = \frac{Q_c + Q_e}{Q_c} = 1 + \frac{Q_e}{Q_c} = 1 + \frac{0,0144(P_w - P_{wg})}{0,884(T_w - T_g)} = 1 + 0,01628 \frac{(P_w - P_{wg})}{(T_w - T_g)} \gg 1 \quad (3-1)$$

$$\eta_{ev} = 1 + 0,01628 \left( \frac{\partial P_w}{\partial T} \right)_{T_m} \quad (3-2)$$

حيث:  $T_m$  درجة الحرارة المتوسطة وتساوي  $T_m = \frac{T_w + T_g}{2}$ .

حالة خاصة: عندما نعتبر السطح الخارجي والسطح الداخلي للغطاء مختلفين في درجة الحرارة نستعمل درجة حرارة

$$T_m = \frac{T_w + T_{g(int)}}{2} \text{، وهي : السطح الداخلي في تعريف } T_m$$

## 5) التدفقات الكتلية:

كمية الماء المقطر (L'eau Distillée) المُنتَج من عملية التقطير الشمسي، ونرمز لها بـ:  $\dot{D}$ .  
 عمليا نهمل الضياع في كتلة البخار بحيث أن كل البخار الناتج من تبخير الماء المالح يتحول إلى ماء مقطر بعد تكثيفه على السطح الداخلي للغطاء.

نرمز لكتلة البخار المنتج بـ:  $\dot{m}$ . ونرمز كتلة المحلول الملحي الناتجة بـ:  $\dot{S}$ .

ونرمز لكتلة الماء المالح بـ:  $\dot{A}$ .

كل من التدفقات  $\dot{A}$ ،  $\dot{S}$ ،  $\dot{m}$ ،  $\dot{D}$  محسوبة بالنسبة لوحدة السطح أي:  $\frac{kg}{s.m^2}$ .  $\left[ \dot{D} \right]_{SI} = \left[ \dot{m} \right]_{SI} = \left[ \dot{S} \right]_{SI} = \frac{kg}{s.m^2}$ .

## 6) العلاقة بين التدفقات الكتلية:

نعرف الضياع الكتلي لكمية البخار بـ:

$$\Delta \dot{m} = \dot{m} - \dot{D} = \text{التدفق الكتلي للبخار منقوص منه التدفق الكتلي للماء المقطر} \quad (3-3)$$

العلاقة بين  $\dot{A}$  و  $\dot{m}$  و  $\dot{S}$ :

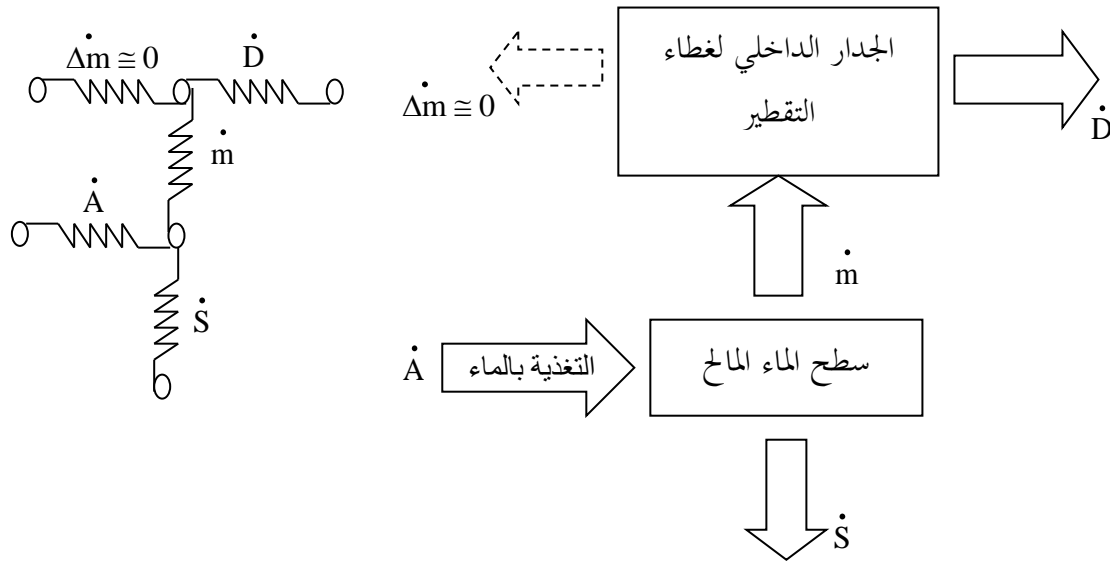
$$\dot{A} = \dot{S} + \dot{m} = \text{(التدفق الكتلي للبخار + التدفق الكتلي للمحلول الملحي)} \quad (3-4)$$

عمليا نعتبر الضياع الكتلي لكمية البخار معدوم:

$$\Delta \dot{m} \approx 0 \Rightarrow \dot{m} - \dot{D} \approx 0 \Rightarrow \dot{m} \approx \dot{D} \quad \text{منه نستنتج:}$$

$$\dot{D} = \dot{m} = \dot{A} - \dot{S} \quad \text{وكذلك نستنتج:}$$

نتيجة: كمية الماء المقطر  $\dot{D}$  تساوي التدفق الكتلي للماء المالح منقوص منه التدفق الكتلي للمحلول الملحي.



الشكل (3-13): التدفقات الكتلية للماء في حوض التقطير

### (7) المردود الكتلي للتقطير:

ويسمى أيضا الفعالية الكتلية للتقطير  $\eta_{Mas}$ ، وهي النسبة بين كمية الماء المقطر وكمية البخار المُنتَج خلال مدة زمنية (ساعة-يوم-...). ونعبر عن الفعالية الكتلية بالعلاقة:

$$\eta_{mas} = \frac{\dot{D}}{\dot{m}} = \frac{\dot{m} - \Delta \dot{m}}{\dot{m}} = 1 - \left( \frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}} \right) \quad (3-5)$$

نستنتج الضياع في كمية الماء المقطر:

$$\Delta \dot{m} = \dot{m}(1 - \eta_{mas}) \quad (6-3)$$

### (8) القيمة الفعلية للتدفق الكتلي للماء المقطر باستعمال فعالية التبخير:

من فعالية التبخير  $\eta_{ev}$  المحسوبة نظريا انطلاقا من حساب  $T_m$  تجريبيا نستنتج القيمة الفعلية أو النظرية لـ  $\dot{m}$ :  
التدفق الحراري بفعل التبخير:

#### (1) القيمة النظرية الفعلية للتدفق الكتلي لبخار الماء $\dot{m}_{th}$ :

الذي يتحول إلى ماء مقطر في حالة عدم وجود ضياع في كتلة البخار، و إذا إعتبرنا القيمة المقاسة تجريبيا

$$\Delta \dot{m} = \dot{m} - \dot{D} = \dot{m}_{th} - \dot{m}_{ex} \quad \text{فإن:}$$

$$\dot{m}_{th} = \frac{Q_e}{L_w} = \frac{0,0144}{L_w} \left[ T_w - T_g + \left( \frac{P_w - P_{wg}}{2,689 \cdot 10^{+5} - P_w} \right) (T_w) \right]^{\frac{1}{3}} (P_w - P_{wg}) \quad (7-3)$$

$$\dot{m}_{th} = \frac{Q_e}{L_w} = \frac{Q_c}{L_w} (\eta_{ev} - 1) \quad (3-8)$$

(2) العبارة التفاضلية ل  $\dot{m}_{th}$  :

$$\dot{m}_{th} = \frac{Q_c}{L_w} \left( 0,1628 \left( \frac{\partial p_w}{\partial T} \right)_{T_m} \right) \quad (3-9)$$

$$\eta_{mas} = \frac{\dot{D}}{\dot{m}} = \frac{\dot{D}}{\dot{m}_{th}} \quad (3-10)$$

(3) العوامل المؤثرة في الضياع الكتلي لكمية البخار :

- رجوع قطرات الماء المُتَكَثَف، والموجود على السطح الداخلي للغطاء إلى حوض التقطير بفعل ثقلها.
- الضياع الحراري في كل المستويات الحرارية .

العلاقة النظرية للحرارة الكامنة للتبخير بدلالة درجة حرارة الماء :

$$L_w = 2,596.10^5 (6473 - T_w)^{0,38} \quad (\text{J/kg})$$

$$L_w = 62,016.(6473 - T_w)^{0,38} \quad (\text{kcal/kg})$$

(9) العلاقة النظرية للتدفق الكتلي للماء المقطر باستعمال معادلة توازن الطاقة في

الزجاج:

إن كثرة العوامل الداخلية و الخارجية المؤثرة على كمية الماء المقطر ، يجعل العلاقة النظرية للتدفق الكتلي للماء المقطر معقدة ولا يمكن تحقيقها تجريبيا بسهولة . ونعتمد في تبسيط هذه الدراسة إدخال عدد محدود من العوامل المؤثرة ، و إدخال العوامل الأكثر تأثير في عملية التقطير ، ووضع العلاقة نظريا بالاعتماد على معادلات التوازن الحراري.

(1) التدفق الكتلي للبخار  $\dot{m}$  بدلالة درجات الحرارة وسرعة حركة الهواء والتدفق الحراري بالإشعاع :

لدينا معادلة الطاقوي في الزجاج كما يلي:

$$(Q_r + Q_c + Q_e) + \alpha_g G - Q_{ga} = 0$$

$$Q_e = Q_{ga} - \alpha_g G - Q_c - Q_r \quad \text{نستنتج:}$$

$$Q_e = 0,9\sigma [T_{g( ext)}^4 - T_k^4] + h_{ga(c)} (T_{g( ext)} - T_a) - h_c (T_w - T_{g(int)}) - 0,9\sigma (T_w^4 - T_{g(int)}^4) - \alpha_g G$$

ومنه تصبح معادلة التوازن الطاقوي في الزجاج

$$Q_e = 0,9\sigma [T_{g( ext)}^4 - T_a^4] + h_{ga(c)} (T_{g( ext)} - T_a) + N - h_c (T_w - T_{g(int)}) - 0,9\sigma (T_w^4 - T_{g(int)}^4) - \alpha_g G$$

تمثل معادلة التوازن على مستوى الغطاء بسطحه الداخلي و الخارجي ، و منه تكون المستويات الحرارية المعتبرة في المعادلة منسوبة لغطاء التقطير . بحيث أن قيمة الاشعاع بين الهواء والقبة السماوية:

$$N = 0,9\sigma (T_a^4 - (T_a - 12)^4) = 0,9\sigma (48T_a^3 - 864T_a^2 + 1728T_a - 20736) \quad (3-11)$$

تحتوي المعادلة التي تعطي قيمة التدفق الحراري بفعل التبخير  $Q_e$ ، الذي بدوره له علاقة بـ  $\dot{m}$  :

حسب المعادلة التي تعطي العلاقة بين  $\dot{m}$  و  $Q_e$

$$\dot{m} = \frac{Q_e}{L_w}$$

مع الأخذ بعين الإعتبار  $T_k \approx T_a - 12$ ، ولأخذ فكرة عن التأثير و تبسيط الحسابات . نسمي  $\aleph$  الدالة التصحيح لتأثير درجة الحرارة على التدفق الحراري  $Q_e$ ، والتي تمثل قيمة الاشعاع بين الهواء والقبة السماوية.

## 10) تغيرات التدفق الكتلي للماء المقطر:

من المعادلة

$$Q_e = 0,9\sigma [T_{g( ext)}^4 - T_a^4] + h_{ga(c)}(T_{g( ext)} - T_a) - h_c(T_w - T_{g(int)}) - 0,9\sigma(T_w^4 - T_{g(int)}^4) + \aleph - \alpha_g G$$

نعيد توزيع الحدود حسب درجات الحرارة: فنتنتج لنا المعادلة (3-12)

$$\begin{aligned} Q_e = & +(-1)[(0,9\sigma)T_a^4 + (h_{ga(c)})T_a] \\ & + (+1)[(0,9\sigma)T_{g( ext)}^4 + (h_{ga(c)})T_{g( ext)}] \\ & + (-1)[(0,9\sigma)T_w^4 + (h_c)T_w] \\ & + (+1)[(0,9\sigma)T_{g(int)}^4 + (h_c)T_{g(int)}] + \aleph - \alpha_g G \end{aligned} \quad (3-12)$$

وتصبح العلاقة على الشكل التالي:

$$\begin{aligned} Q_e = & +(-1)[(0,9\sigma)T_a^4 + (h_{ga(c)} + 0)T_a] \\ & + (+1)[(0,9\sigma)T_{g( ext)}^4 + (h_{ga(c)} + 0)T_{g( ext)}] \\ & + (-1)[(0,9\sigma)T_w^4 + (0 + h_c)T_w] \\ & + (+1)[(0,9\sigma)T_{g(int)}^4 + (0 + h_c)T_{g(int)}] + \aleph - \alpha_g G \end{aligned} \quad (3-13)$$

$$Q_e = -\alpha_g G + \sum_{i=1}^4 \kappa_i [(0,9\sigma)T_i^4 + (h_{ga(c)i} + h_{ci})T_i] + \aleph \quad (3-14)$$

بحيث: الدليل  $i$  يدل على المستوى الحراري ، والمعامل  $\kappa_i$  له قيمتين (+1) و(-1)

$\kappa_i$  موضح في الجدول (2-3).

$\kappa_i = +1$ : إذا كان المستوى الحراري ينتمي لأحد سطحي الغطاء.

$\kappa_i = -1$ : إذا كان المستوى الحراري لا ينتمي لأحد سطحي الغطاء.

نقسم حدود المعادلة على الحرارة الكامنة لبخار الماء  $L_w$ :

$$\dot{m} = \frac{Q_e}{L_w} = -\alpha_g \frac{G}{L_w} + \sum_{i=1}^4 \kappa_i [(0,9\sigma)T_i^4 + (h_{ga(c)i} + h_{ci})T_i] + \frac{1}{L_w} \aleph \quad (3-15)$$

الجدول (3-2): قيم المُعامِلات الداخلة في العبارة النظرية للتدفق الكتلي لبخار الماء حسب المستوى  $i$

ملاحظات	$h_{ci}$	$h_{ga(c)i}$		$\kappa_i$	$i$
$h_{ci} = 0$ تدل على أن المستوى الحراري خارج خلية التقطير	0	$h_{ga(c)}$	مستوى حراري لا ينتمي للغطاء	-1	$i = 1$ الجو المحيط
$h_{ga(c)i} = 0$ تدل على أن المستوى الحراري داخل خلية التقطير	$h_c$	0	مستوى حراري ينتمي للغطاء	+1	$i = 2$ السطح الخارجي للغطاء
	$h_c$	0	مستوى حراري لا ينتمي للغطاء	-1	$i = 3$ السطح الداخلي للغطاء
	$h_c$	0	مستوى حراري لا ينتمي للغطاء	-1	$i = 4$ سطح الماء المالح

الخدمة

## الخاتمة :

يعتبر التقطير الشمسي أحد أبسط التقنيات المستعملة في تحلية المياه، ولفهم سلوك جهاز التقطير وطرق تحسينه كان لا بد من دراسة الانتقالات الحرارية الداخلية من تبخير وإشعاع وحمل بالإضافة للعوامل الخارجية ، وبعد الدراسة النظرية و التحليلية التي اعتمدت على تغيرات هذه المقادير بالنسبة للزمن ومن بين النتائج التي توصلت لها هذه الدراسة:

**نتيجة 01 :** نسب التدفق الحراري داخل خلية التقطير كانت متباينة ، حيث أن نسبة التبخير أكبر من الحمل وبدوره الحمل اكبر من الإشعاع قدرت نظريا على الترتيب %93, %65, %9; وذلك حسب مجالات زمنية مدروسة بيانيا.

**نتيجة 02:** هناك علاقة مباشرة لكمية الماء المنتج بفرق درجة الحرارة بين المبخر والمكثف، وهذه النتيجة يمكن اعتمادها كقاعدة لعمليات التحسين التجريبية.

**نتيجة 03:** هناك علاقة طردية لسرعة حركة الهواء مع معامل الحمل لغطاء خلية التقطير .

**نتيجة 04:** الزيادة في درجات الحرارة للغطاء الزجاجي يؤدي إلى التناقص في كمية الحرارة  $Q_p$  وبالتالي يؤدي هذا إلى التناقص في كمية الماء الناتج .

## الملخص

التقطير الشمسي هو أحد التقنيات المستعملة في تحلية المياه، ولفهم سلوك جهاز التقطير وطرق تحسينه كان لا بد من دراسة الانتقالات الحرارية الداخلية من تبخير وإشعاع وحمل، وبعد الدراسة النظرية التي اعتمدت على تغيرات هذه المقادير بالنسبة للزمن اتضح ان نسب التبخير أكبر من الحمل وبدوره الحمل أكبر من الإشعاع وذلك حسب مجالات زمنية مدروسة بيانياً، ومن بين النتائج التي توصلت لها هذه الدراسة هي العلاقة المباشرة لكمية الماء المنتج بفرق درجة الحرارة بين المبخر والمكثف، وهذه النتيجة يمكن اعتمادها كقاعدة لعمليات التحسين التجريبية.

**الكلمات المفتاحية :** التقطير، الماء المقطر، الإشعاع الشمسي، إنتقال الحرارة، التبخير، التكثيف.

## résumé

La distillation solaire est l'une des techniques utilisées dans le dessalement de l'eau. Pour comprendre le comportement du dispositif de distillation et les moyens de l'améliorer, il est nécessaire d'étudier les transferts thermiques internes d'évaporation, de rayonnement et de convection. Les changements de ces quantités par rapport au temps, il est devenu clair que les taux d'évaporation sont supérieurs à la convection, et à son tour la convection est plus grande du rayonnement, selon les plages de temps étudiées graphiquement. la relation directe entre la quantité d'eau produite et la différence de température entre l'évaporateur et le condenseur. Ce résultat peut être adopté comme base pour des processus d'optimisation expérimentaux.

**Mots clés :** distillation, eau distillée, rayonnement solaire, transfert de chaleur, évaporation, condensation.