

جامعة قاصدي مرياح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة ماستر أكاديمي

مجال : علوم المادة

شعبة : فيزياء

تخصص : فيزياء طااقوية وطاقات متجددة

مقدمة من طرف الطالبتين : بن سليمان نور الهدى - شلغام منيرة

بـعنوان:

دراسة تجريبية لتحسين أداء المقطر الشمسي البسيط

باستعمال المضخة الحرارية

نوقشت يوم 2018/06/13 أمام لجنة المناقشة المكونة من :

رئيسا	أستاذ محاضر - ب-	جامعة قاصدي مرياح - ورقلة	سوداني محمد البار
مناقشا	أستاذ مساعد - أ-	جامعة قاصدي مرياح - ورقلة	الزين عبد الله
مشرفا	أستاذ مساعد - أ-	جامعة قاصدي مرياح - ورقلة	تخة محمد

الموسم الجامعي : 2017-2018

شكر و عرفان

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

بعد رحلة بحث وجهد واجتهاد تكلفت بإنجاز هذا البحث، نحمد الله عز وجل على نعمه التي من بها علينا فهو العلي القدير، كما لا يسعنا إلا أن نخص بأسمى عبارات الشكر والتقدير للأستاذ تخته محمد على ما قدمه لنا من جهد ونصح ومعرفة طيلة إنجاز هذا البحث.

كما لا ننسى أن تتوجه بكلمة شكر إلى

إلى من علمونا حروفا من ذهب وكلمات من درر وعبارات من أسمى وأجلى عبارات في العلم إلى من صاغوا لنا علمهم حروفا ومن فكرهم منارة تنير لنا سيرة العلم والنجاح إلى أساتذتنا الكرام ونخص بالذكر الأستاذ بشكي جمال والأستاذ زين عبد الله و الأستاذ سوداني محمد البار .

الإهداء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

نحمد الله عز وجل على منه و عونه لإتمام هذا البحث
.. إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة .. ونصح الأمة .. إلى نبي الرحمة ونور العالمين
سيدنا محمد ﷺ .

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

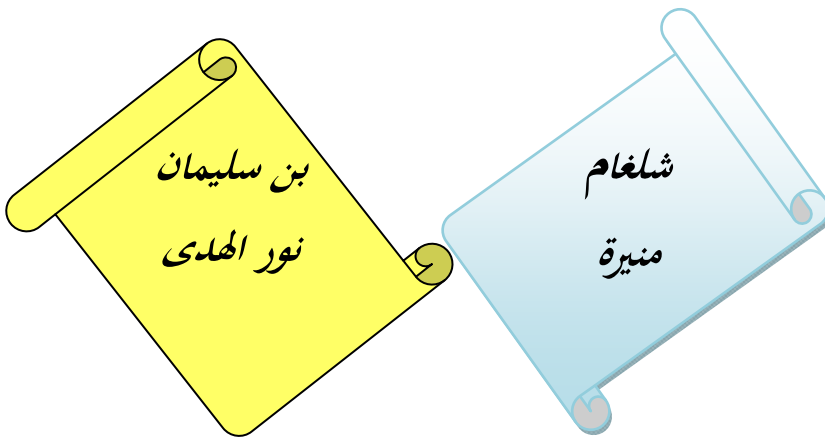
. إلى العائلتين الكريمتين (بن سليمان و شلغام)

إلى كل الإخوة والأخوات.

ونخص بهذا الإهداء الأستاذ الفاضل تحة محمد الذي صبر معنا و اعننا بكل ما يستطيع

على قيام بهذه المذكرة جزيل الشكر والعرفان

إلى كل الزميلات والصدقات.



فهرس العناوین

I	تشكرات
II	إهداء
III	فهرس العناوین
X	فهرس الجداول
XI	فهرس الأشكال
XIV	قائمة الرموز والمصطلحات

المقدمة

3-2	مقدمة
-----	-------

الفصل الأول : أنواع المقطرات الشمسية

5	(1-I) المقدمة
5	(2-I) مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب وحلول المقترحة في العالم
6	(3-I) مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في الجزائر وحلول المقترحة
7	(4-I) المعايير العالمية لمياه الصالحة لشرب
7	(5-I) التحليل الفيزيائي والكيميائي للمياه الجوفية بمنطقة ورقلة
8	(6-I) تقنيات تصفية المياه المالحة -dessalement-
8	(1-6-I) تقنية التقطير -mécánisme de distillation-
8	(1-1-6-I) التقطير البسيط - (SED)-
9	(2-1-6-I) التقطير المتعدد - (MED)-
10	(3-1-6-I) التقطير اللحظي - (MSF)-
11	(2-6-I) تقنية فصل الماء عن الأملاح الذائبة بالأغشية -Membranes-
11	(1-2-6-I) الأسموز العكسي (التناضح العكسي)
12	(2-2-6-I) الأسموز الكهربائي (التناضح الكهربائي -Electrodialys-
12	(7-I) التقطير الشمسي

12	..... (1-7-I) لحظة تاريخية عن التقطير الشمسي
13	..... (2-7-I) أنواع المقطرات الشمسية
13	..... (1-2-7-I) المقطرات الشمسية البسيطة
15	..... (2-2-7-I) المقطرات الشمسية المتعددة

الفصل الثاني : الدراسة النظرية للمقطر الشمسي البسيط

19	..... (1-II) المقدمة
19	..... (2-II) تعريف المقطر الشمسي البسيط
19	..... (3-II) تعريف المضخة الحرارية
21	..... (4-II) ظاهرة الانتقال الفيزيائية الأساسية في التقطير
21	..... (1-4-II) انتقال الحرارة
21	..... (1-1-4-II) أشكال انتقال الحرارة
21	..... (1-1-1-4-II) التوصيل الحراري (الانتشار الحراري)
21	..... (1-1-1-1-4-II) قانون " فورييه " (1^{er} loi de Fourier) الأول في الانتشار الحراري
21	..... (2-1-1-4-II) الحمل الحراري
22	..... (1-2-1-1-4-II) قانون " نيوتن "
22	..... (3-1-1-4-II) الإشعاع الحراري
22	..... (1-3-1-1-4-II) قانون " ستيفان - بولتزمان "
22	..... (2-3-1-1-4-II) استقبال الجسم للإشعاع (الانعكاس - الامتصاص - الإمرار)
23	..... (2-4-II) انتقال الكتلة :
23	..... (1-2-4-II) أشكال انتقال الكتلة :
23	..... (1-1-2-4-II) الانتشار الجزيئي (الرّشْح)
23	..... (1-1-1-2-4- II) قانون " فيك " الأول (1^{er} loi de Fick) للانتشار الجزيئي :
24	..... (2-1-1-2-4-II) أشكال الانتشارية الكتلية حسب استخدامها في قانون " فيك " الأول :
25	..... (3-1-1-2-4- II) قانون " فيك " الأول في ثلاثة أبعاد :
25	..... (4-1-1-2-4- II) قانون " فيك " الثاني (2^{eme} loi de Fick) للانتشار الجزيئي

	.....:(الشرح)
25	..... II (4-2-1-1-5)معامل الانتقال الكتلي:
25	..... II (4-2-1-1-6)المقاومة الكتلية :
26	..... II (4-2-1-2)الحمل الكتلي :
26	..... II (4-2-1-1)معادلة الحمل الكتلي:
26	..... II (4-2-1-2)حساب معامل الحمل الكتلي:
27	..... II (4-3)انتقال كمية الحركة :
27	..... II (4-3-1)تعريف انتقال كمية الحركة:
27	..... II (5)تغير طور المادة.....
27	..... II (5-1)تعريفات ومفاهيم فيزيائية.....
28	..... II (6)الظواهر الفيزيائية.....
28	..... II (6-1)ظاهرة التبخير.....
29	..... II (6-2)ظاهرة التكثيف "نظرية نوسالت"
30	..... II (7)الإشعاع الشمسي.....
30	..... II (7-1)الشمس.....
31	..... II (7-2)الأرض.....
31	..... II (7-3)المعالم الفضائية لتحديد موقع الشمس.....
33	..... II (8-1)الهواء الرطب.....
34	..... II (8-2)الهواء الجوي.....
34	..... II (8-1-1)مقادير خاصة بهواء الرطب.....
34	..... II (8-1-1-1)الرطوبة المطلقة r^S
35	..... II (8-1-1-2)الرطوبة النسبية $\bar{\Psi}$
35	..... II (8-1-1-3)درجة التشبع.....

الفصل الثالث : التوازن الحراري في المقطر الشمسي البسيط

37	..... III (1)مقدمة.....
37	..... III (2)التدفقات الحرارية في المَقْطَر.....

39	.....III-2-1) التدفقات الحرارية الخارجية
39	.....III-2-2) التدفقات الحرارية الداخلية
42	.....III-3) التوازن الحراري على مستويات أجزاء المقطر
42	.....III-3-1) معادلات حفظ الطاقة للمقطر الشاهد (الحالة البسيطة) لكل مستوياته:
42	.....III-3-1-1) معادلة حفظ الطاقة حول الغطاء الزجاجي g
42	.....III-3-1-2) معادلة حفظ الطاقة حول الماء W
43	.....III-3-1-3) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الماص للحرارة b
43	.....III-3-1-4) قيمة التدفق الكتلي للماء المقطر تعطى بالعلاقة التالية:
44	.....III-3-2) معادلات حفظ الطاقة لمستويات المقطر المدروس حسب كل التجربة:
44	.....III-3-2-1) الإجراءات المتبعة:
46	.....III-3-2-2) التوازن الحراري في المستويات الحرارية للمضخة الحرارية :
46	.....III-3-2-3) التوازن الحراري في المستويات الحرارية لخلية التقطير حسب كل تجربة للمجموعة الأولى:
46	.....III-3-2-3-1) معادلة حفظ الطاقة حول الغطاء الزجاجي g
47	.....III-3-2-3-2) التجربة الأولى : تبريد مكثف المضخة بالهواء
47	.....III-3-2-3-3) معادلة حفظ الطاقة حول الماء W
48	.....III-3-2-3-4) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود الماص للحرارة b
48	.....III-3-2-3-5) التجربة الثانية: التسخين الأولي لمياه التغذية بمكثف المضخة
48	.....III-3-2-3-6) معادلة حفظ الطاقة حول الماء W
49	.....III-3-2-3-7) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود الماص للحرارة b
50	.....III-3-2-3-8) التجربة الثالثة : الإسترجاع المباشر للحرارة (بربط مكثف المضخة بمبخر المقطر)
50	.....III-3-2-3-9) معادلة حفظ الطاقة حول الماء W
50	.....III-3-2-3-10) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود b
51	.....III-3-2-3-11) التوازن الحراري في المستويات الحرارية لخلية التقطير حسب كل تجربة للمجموعة الثانية:
51	.....III-3-2-3-12) معادلة حفظ الطاقة حول الغطاء الزجاجي (المكثف 1) للتجارب الرابعة و الخامسة والسادسة هي كالتالي:

- 51III-2-4-2-3) معادلة حفظ الطاقة لمبخر المضخة (المكثف 2) في التجارب الرابعة و
الخامسة والسادسة هي كالتالي:
- 51III-3-4-2-3) التجربة الرابعة : تبريد مكثف المضخة بالهواء (حمل طبيعي أو قسري)
52III-1-3-4-2-3) معادلة حفظ الطاقة حول الماء w .
- 52III-2-3-4-2-3) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود الماص للحرارة b .
- 52III-4-4-2-3) التجربة الخامسة: تبريد طبيعي لمكثف المضخة بمياه التغذية
- 52III-1-4-4-2-3) معادلة حفظ الطاقة حول الماء w .
- 53III-2-4-4-2-3) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود الماص للحرارة b .
- 53III-5-4-2-3) التجربة السادسة: تبريد طبيعي لمكثف المضخة بمياه المقطر (استرجاع كلي
للحرارة Q_H).
- 53III-1-5-4-2-3) معادلة حفظ الطاقة حول الماء w .
- 53III-2-5-4-2-3) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود الماص للحرارة b .

الفصل الرابع : الدراسة التجريبية للمقطر الشمسي البسيط

- 55IV-1) مقدمة
- 55IV-2) النماذج الأولية للأجهزة التجريبية
- 55IV-3) أجهزة المستعملة في التجارب
- 57IV-4) الأدوات المستعملة في التجارب
- 58IV-5) التجارب
- 59IV-1-5-1) التجربة الأولى: تبريد مكثف المضخة بالهواء (حمل طبيعي أو قسري)
- 59IV-1-1-5-1) وصف التجربة الأولى:
- 59IV-2-1-5-1) الظروف الجوية الخاصة بالأيام الذي تمت فيه التجربة الأولى
- 60IV-3-1-5-1) المنحنيات التجريبية للتجربة الأولى
- 60IV-1-3-1-5-1) منحنيات الإشعاع الشمسي خلال أيام التجربة الأولى
- 61IV-2-3-1-5-1) مقارنة درجات الحرارة بين مقطرين شمسين بسيطين ودرجة حرارة مختلف
مستويات المضخة
- 62IV-3-3-1-5-1) منحنى تغيرات الأنتالي النوعي لأجزاء المضخة بدلالة الزمن:

- 63 4-3-1-5- IV منحني تغيرات QL الحرارة الممتصة و QH الحرارة المطرودة من طرف
المضخة بدلالة الزمن :
- 64 5-3-1-5- IV تفسير منحني تغيرات المردود rend H و rend L للمضخة بدلالة
الزمن :
- 64 6-3-1-5- IV تفسير منحني تغيرات معامل الحمل الحراري بين الماء و الغطاء الزجاجي
بدلالة الزمن :
- 65 7-3-1-5- IV تفسير منحني تغيرات معامل الإنتقال الحراري بالتبخير بين الماء و الغطاء
الزجاجي بدلالة الزمن :
- 65 8-3-1-5- IV تفسير منحني تغيرات الحرارة بالتبخير بين الماء و الغطاء الزجاجي Qev
بدلالة الزمن:
- 66 9-3-1-5- IV مقارنة كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين الشمسين
- 66 4-1-5- IV النتائج المستخلصة من التجربة الأولى :
- 67 2-5-IV التجربة الثانية: تبريد طبيعي لمكثف المضخة بمياه التغذية (تسخين أولى لمياه
التغذية ب Q_H)
- 67 1-2-5-IV وصف التجربة الثانية:
- 68 3-5-IV التجربة الثالثة : تبريد طبيعي لمكثف المضخة بمياه المقطر (استرجاع كلي للحرارة
 Q_H)
- 68 1-3-5-IV وصف التجربة الثالثة :
- 69 4-5-IV التجربة الرابعة : تبريد مكثف المضخة بالهواء (حمل طبيعي أو قسري)
- 69 1-4-5-IV وصف التجربة الرابعة :
- 70 2-4-5-IV الظروف الجوية الخاصة بالأيام الذي تمت فيه التجربة الرابعة.....
- 71 3-4-5-IV المنحنيات التجريبية لتجربة الرابعة
- 71 1-3-4-5-IV منحنيات الإشعاع الشمسي خلال أيام التجربة الرابعة :
- 72 2-3-4-5-IV مقارنة درجات الحرارة بين مقطرين شمسين بسيطين و المضخة الحرارية :

73	.....(3-3-4-5-IV)تغيرات الأنتالبي النوعي للمضخة الحرارية:
74	.....(4-3-4-5-IV)منحنيات معامل التبخير و حرارة بالتبخير.....
75	.....(5-3-4-5-IV) مقارنة كمية الماء المجمعة في مقطرين (1) و(2) :
76	.....(6-3-4-5-IV) منحنيات كفاءة امتصاص الحرارة و الزيادة في كمية الماء المنتج.....
77	.....(7-3-4-5-IV)مقارنة بين منحنيات مردود المضخة الحرارية التسخين و التبريد.....
78	.....(8-3-4-5-IV) مقارنة بين منحنيات كمية حرارة في المضخة الحرارية.....
78	.....(9-3-4-5-IV) النتائج المستخلصة من التجربة الرابعة:
79	.....(5-5-IV)التجربة الخامسة : تسخين أولي لمياه التغذية (حمل طبيعي).....
79	.....(1-5-5-IV)وصف التجربة الخامسة :
79	.....(6-5-IV) التجربة السادسة: استرجاع الحرارة بربط المقطر الشمسي بالمضخة الحرارية.....
79	.....(1-6-5-IV)وصف التجربة السادسة :
85 - 81	..... الخلاصة العامة
88-86	..... المرجع
90-89	..... الملحق A(الأرقام اللابعدية)
91	..... الملحق B(الخواص الحراروفيزيائية والكتل السطحية للمواد المستعملة)
92	..... الملحق C(جدول الأنتالبي)

فهرس الجداول

الفصل الأول: بحث في المراجع حول مختلف أنواع المقطرات الشمسية المقطرات

- جدول (1-I) نصيب الفرد من المياه المتاحة (المتوفرة) عالمياً..... 6
- جدول (2-I) المعايير العالمية لمياه الشرب..... 7
- جدول (3-I) تركيز الأملاح الشوارد الكيميائية في مياه منطقة ورقلة..... 7

الفصل الثالث: العلاقات الرياضية في المقطر الشمسي البسيط

- جدول (1-III) تصنيف أنواع العوازل المستعملة في المقطرات الشمسية..... 41

ملحق B : الخواص الحرارية فيزيائية و الكتل السطحية للمواد المستعملة

- جدول (1-B) الخواص الحرارية فيزيائية لبعض المواد الصلبة..... 91
- جدول (2-B) الكتل السطحية للمواد المستعملة في التجربة..... 91

ملحق C : جدول الانتالبي

- الجدول C : الانتالبي النوعية الكتلية لمائع التبريد R134a ذو الصيغة الجزيئية المجملة) 92
(C2H2F4

فهرس الأشكال

الفصل الأول: بحث في المراجع حول مختلف أنواع المقطرات الشمسية المقطرات

9	التقطير البسيط.....	الشكل (1-I)
10	التقطير متعدد التأثير.....	الشكل (2-I)
10	التقطير مع التبخير اللحظي.....	الشكل (3-I)
11	تنقية المياه المالحة بتقنية الأسموز العكسي.....	الشكل (4-I)
12	تقنية الأسموز الأيوني (الأسموز الكهربائي) لفصل ملح $NaCl$ عن الماء المالح	الشكل (5-I)
13	مقطر بسيط بميل واحد	الشكل (6-I)
14	المقطر البسيط بميلين.....	الشكل (7-I)
14	مقطر شمسي أرض - ماء.....	الشكل (8-I)
15	مقطر كروي بماس.....	الشكل (9-I)
16	المقطر الشمسي المتعدد الطوابق.....	الشكل (10-I)
17	المقطر الشمسي بالشريط الشعيري للماء (طابق واحد) مزود بغطاء زجاجي....	الشكل (11-I)

الفصل الثاني : الدراسة النظرية للمقطر الشمسي البسيط

20	مخطط توضيحي لأعضاء المضخة الحرارية.....	الشكل (1-II)
20	مخطط Moullier لمنحني التشبع للمائع R134a.....	الشكل (2-II)
23	إستقبال الإشعاع.....	الشكل (3-II)
27	تحولات الحالة الفيزيائية.....	الشكل (4-II)
28	منحني الأطوار الفيزيائية لمعظم الأجسام المادية في الطبيعة.....	الشكل (5-II)
29	وعاء به ماء سائل تحت التبخير في غياب الحمل الكتلي والحراري.....	الشكل (6-II)
30	الطبقة القشيرية للماء السائل.....	الشكل (7-II)
33	الزوايا الستة المحددة للمواضع النسبية للنقاط الثلاثة في الفضاء.....	الشكل (8-II)

الفصل الثالث : التوازن الحراري في المقطر الشمسي البسيط

37	رسم تخطيطي للتدفقات الحرارية على المقطر الشمسي.....	الشكل (1-III)
----	---	---------------

38	مخطط يوضح الإشعاعات الحرارية المارة عبر مختلف أجزاء المقطر.....	الشكل (III-2)
44	يوضح طريقة ربط مبخر المضخة بخلية التقطير (مجموعة الأولى).....	الشكل (III-3)
46	يوضح طريقة ربط مبخر المضخة بخلية التقطير (مجموعة الثانية).....	الشكل (III-4)
47	رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الأولى.....	الشكل (III-5)
48	رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الثانية.....	الشكل (III-6)
50	رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الثالثة.....	الشكل (III-7)
51	رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الرابعة.....	الشكل (III-8)
52	رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الخامسة.....	الشكل (III-9)
53	رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة السادسة.....	الشكل (III-10)

الفصل الرابع : الدراسة التجريبية للمقطر الشمسي البسيط

57	أجهزة قياس المستعملة في التجارب.....	الشكل (IV-1)
58	الأدوات المستعملة في التجارب.....	الشكل (IV-2)
58	صورة توضح كيفية ربط مبخر المضخة بمكثف المقطر في مجموعة التجارب الأولى..	الشكل (IV-3)
59	رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الأولى.....	الشكل (IV-4)
60	منحنيات تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 1.....	الشكل (IV-5)
61	منحنيات تغيرات درجات الحرارة بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 1.....	الشكل (IV-6)
62	مخطط (T-S) لدورة الحقيقية التي تعمل بمبدأها المضخة الحرارية في التجارب.....	الشكل (IV-7)
62	مخطط (T-S) لدورة المثالية للمضخة الحرارية.....	الشكل (IV-8)
62	منحنى تغيرات الأنتالبي النوعي لأجزاء المضخة الحرارية بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 1	الشكل (IV-9)
63	منحنى تغيرات كمية الحرارة الممتصة والمطرودة بدلالة الزمن.....	الشكل (IV-10)
64	منحنى تغيرات المردود التسخين و التبريد للمضخة بدلالة الزمن.....	الشكل (IV-11)
64	منحنى تغيرات معامل الحمل الحراري بين الماء و الغطاء الزجاجي بدلالة الزمن.....	الشكل (IV-12)
65	منحنى تغيرات معامل الإنتقال الحراري بالتبخير بين الماء و الغطاء الزجاجي بدلالة الزمن.....	الشكل (IV-13)
65	منحنى تغيرات الحرارة بالتبخير بين الماء و الغطاء الزجاجي Qev بدلالة الزمن.....	الشكل (IV-14)
66	منحنى كمية الماء المجمعة تجريبيا بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 1.....	الشكل (IV-15)
67	رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الثانية.....	الشكل (IV-16)

68	.....رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الثالثة.	الشكل (17-IV)
69	صورة توضح كيفية ربط مبخر المضخة بمكثف المقطر في مجموعة التجارب الثانية.....	الشكل (18-IV)
70	.....رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الرابعة.	الشكل (19-IV)
71	.....منحنيات تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4.	الشكل (20-IV)
72	.....منحنيات تغيرات درجات الحرارة بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4.	الشكل (21-IV)
73	.....منحنيات تغيرات الأنتالبي النوعي المضخة الحرارية الخاصة بالتجربة 4.	الشكل (22-IV)
74	.....منحنيات تغيرات معامل التبخير و حرارة التبخير بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4.	الشكل (23-IV)
75	.....منحى تغيرات كمية الماء المجمعة تجريبيا بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4.	الشكل (24-IV)
76	.....منحى تغيرات كفاءة امتصاص الحرارة و الزيادة في كمية الماء المنتج بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة	الشكل (25-IV)
77	.....منحنى تغيرات مردود التسخين والتبريد بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4.	الشكل (26-IV)
78	.....منحى تغيرات كمية الحرارة Q_H و Q_L بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4.	الشكل (27-IV)
79	.....رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الخامسة.	الشكل (28-IV)
80	.....رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة السادسة.	الشكل (29-IV)

قائمة الرموز و الاصطلاحات

الرموز	الاصطلاحات (الرموز اللاتينية)	الوحدة
A	المساحة.....	m^2
a	الانتشارية الحرارية.....	m^2/s
C_p	الحرارة النوعية.....	$J / (Kg. ^\circ C)$
d_s	الكثافة المتوسطة للشمس.....	Kg / m^3
d_{terre}	الكثافة المتوسطة للأرض.....	Kg / m^3
d	قطر الأنبوب و يمثل كذلك عرض ظل الأنبوب	m
e_x	سُمك الطبقة القشرية.....	m
g	تسارع الجاذبية الأرضية.....	m / s^2
G	التدفق الإشعاعي الشمسي الساقط على السطح الزجاجي.....	W/m^2
h_x	معامل الانتقال الحراري الموضعي.....	$W/m^2 .K$
\bar{h}	معامل الانتقال الحراري المتوسط.....	$W/m^2 .K$
h	معامل الحمل الحراري.....	$W/m^2 .K$
h_1	أنتالي مخرج البخار يكون فيه المائع بخار مشبع.....	
h_2	أنتالي مدخل المكثف يكون فيه المائع بخار مسخن.....	
h_3	أنتالي مخرج المكثف يكون فيه المائع سائل مشبع.....	
h_4	أنتالي مدخل المكثف يكون فيه المائع مزيج (بخار + سائل).....	
h'	زاوية الارتفاع الشمس.....	بالدرجات $^\circ$
h_{fg}	أنتالي التبخر الخاص بالماء.....	J / Kg
H_c	توقيت الغروب.....	h
H_l	توقيت الشروق.....	h
H_w	الحرارة الكامنة للتبخير.....	J / Kg
K	معامل الانتقال الكتلي.....	m/s
L	طول الصفيحة المستوية.....	m
L	الطول الفعلي الانبوب في كل لفة.....	m
M	الانبعاثية الإشعاعية للسطح الباث.....	W/m^2

g/mol	..... الكتلة المولية للهواء	M_a
Kg	..... كتلة الأرض الظاهرية	m_{terre}
Kg	..... كتلة الشمس	m_s
Kg/m^3	..... التدفق الكتلي	\dot{m}
mol	..... عدد الجسيمات	N
mol	..... عدد المولات	n
-	..... عدد لفات الأنبوب في مبخر المضخة	n
Pa	..... الضغط الجزئي للغاز	P_g
Pa	..... الضغط الجزئي للبخار	P_v
Pa	..... الضغط الجزئي للغاز عند الارتفاع	$P_g(L)$
Pa	..... الضغط الجزئي للغاز عند السطح الحر للماء	$P_g(0)$
Pa	..... الضغط الجوي	P_{atm}
Pa	..... الضغط الجزئي للبخار المشبع	$P_{vap(Sat)}$
W	..... الاستطاعة الحرارية	Q
W	..... الطاقة المشعّة للشمس	Q_s
	..... الحرارة المنتجة من طرف المكثف	Q_H
	..... الحرارة الممتصة من طرف المبخر	Q_L
$J/mol.K$	..... ثابت الغازات المثالية	R
-	..... رقم رايلي (RAYLEIGH) لانتقال الحرارة بالحمل الحر	
m	..... القطر المتوسط للشمس	R_s
-	..... الرطوبة النوعية	r^s
m	..... نصف قطر دوران المدار الإهليجي	r
m^2	..... مساحة خاصة في تجارب المجموعة الأولى	S
h	..... المدى النهاري	S_0
s	..... الزمن	t
$^{\circ}C$	..... درجة الحرارة	T
h	..... الزمن الشمسي الحقيقي	T_{SV}
m/s	..... السرعة	U

m^3	.....الحجم	V
الرموز الإغريقية		
-	.....معامل الامتصاص الإشعاعي	α
-	.....معامل الانبعاث الإشعاعي للسطح الباث	ε
-	.....معامل الإمرار الحراري	τ
$W/m \cdot ^\circ C$	.....التوصيلية الحرارية	λ
بالدرجات $^\circ$	.....زاوية خط الطول	λ'
$Pa \cdot s$	.....اللزوجة التحريكية	μ
Kg/m^3	.....الكتلة الحجمية	ρ
-	.....معامل الانعكاس الحراري	ρ
$W/m^2 \cdot K^4$	.....ثابت ستيفان-بولتزمان	σ
-	.....الرطوبة النسبية	ψ'
بالدرجات $^\circ$	.....زاوية السَّمْت الشمسي	ψ
-	.....درجة التشبع	Γ
بالدرجات $^\circ$	.....زاوية دائرة العرض	φ
بالدرجات $^\circ$	.....زاوية ميل الشمس	δ
بالدرجات $^\circ$	.....زاوية الساعة الشمسية (الزاوية الزمنية)	ω
بالدرجات $^\circ$	.....سَمْت الرأس	θ_s

الدليل السفلي

-	.....الوسط الخارجي (المحيط Ambiente)	
-	.....الهواء الرطب داخل خلية التقطير	ah
-	.....حوض الماء المالح (Bassin)	b
-	.....التبادل الحراري بالحمل بين الغطاء الزجاجي و الهواء	$c, g - a$
-	.....التبادل الحراري بالحمل بين الماء و الغطاء الزجاجي	$c, w - g$
-	.....التبادل الحراري بالحمل بين الغطاء الزجاجي و الماء	$c, b - w$
-	.....المنتشر (diffusion)	$diff$
-	.....المباشر (direct)	dir

-	.....الغطاء الزجاجي (glass)	<i>g</i>
-	.....التبادل الحراري بالتبخير بين الماء و الغطاء الزجاجي	<i>ev, w - g</i>
-	.....السطح الفعال	<i>eff</i>
-	.....الضياعات الحرارية عبر الطبقات السفلية (البوليستيران)	<i>loss1</i>
-	.....الضياعات الحرارية عبر الطبقات الجانبية العوازل الخشبية	<i>loss2</i>
-	.....ضياع الحرارة في أنبوب التوصيل بين حوض التغذية بالماء و المقطر	<i>loss3</i>
-	.....سطح الظل	<i>omb</i>
-	.....التبادل الحراري بالإشعاع بين الغطاء الزجاجي و الهواء	<i>r, g - a</i>
-	.....التبادل الحراري بالإشعاع بين الماء و الغطاء الزجاجي	<i>r, w - g</i>
-	.....القبة السماوية	<i>sky</i>
-	.....الكلي (Total)	<i>t</i>
-	.....الماء (Water)	<i>w</i>

المقدمة

.....

مقدمة

يعتبر الماء من المعجزات الربانية والكونية في الأرض فبه تتحدد الحياة موجودة أو لا فهو المنبع الذي يحتاجه الإنسان والحيوان والنبات لأنه سر الحياة وسبب العيش في هذا الكوكب ، وهو أهم عوامل الأساسية المسببة للنزاعات في العالم ، ومنذ القدم إرتبط الماء بالحياة نفسها لقوله تعالى في كتابه الكريم " و جعلنا من الماء كل شيء حي أفلا يؤمنون " (الأنبياء الآية 30)، و يمثل القاعدة الأساسية التي تقوم عليها الحياة فوق الأرض حيث تعد نسبة الماء في جسم الإنسان 70% وعلى سطح الكرة الأرضية 71% إلا أن 96.54% مياه مالحة و 2.53% مياه عذبة و فقط 0.36% من المياه العذبة المتاحة مباشرة للناس وهذه من معضلات العصر الحالي، 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 البحث عن طرق أخرى لحل هذا العجز لاستخراج الملح من ماء البحر والمياه الجوفية بهدف الحصول على ماء صالح للشرب.

وللماء خصائص ومميزات كثيرة وكبيرة تجعله في المرتبة عالية ساهمت في زيادة أهميته بين المواد حيث له قابلية التسخين فيتبخر (يتحول إلى الحالة الغازية) (يتبخر) عند الدرجة الحرارة 100°C وتحت الضغط الجوي) كما يمكن أن يتجمد (يتحول إلى الحالة الصلبة) (يتجمد) عند الدرجة الحرارة 0°C وتحت الضغط الجوي) وبسبب خصائصه توصل الإنسان المعاصر إلى استخراج الماء الصالح للشرب بكميات معتبرة وثن معتدل من مختلف المياه المالحة لأجل تلبية الطلب العالمي وذلك بتصفية المياه الجوفية أو مياه البحر التي تسمح بإنتاج الماء الصالح للشرب باستعمال الطاقة الكهربائية أو الحرارية، ولكن العالم يحاول الابتعاد عن المحروقات والإلتجاء إلى إستغلال الطاقات المتجددة من بينها الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وتعد الشمس من أعظم نعم الله ترسل أشعتها إلى الأرض فتبعث فيها الحياة، ذكرها الله تعالى في محكم آياته فقال " وسخر لكم الشمس والقمر دائبين "صدق الله العظيم، ويقصد بالطاقة الشمسية هي الضوء والحرارة المنبعثان من الشمس اللذان قام الإنسان بتسخيرهما لمصلحته، إن كمية الإشعاع الشمسي الواصل للأرض يبلغ 1.36 كيلو واط /المتر المربع وأن 50% منها تنعكس في الفضاء و 15% منها تنعكس على سطح الأرض و 35% تمتص من قبل الهواء والماء والتربة ، ولا شك في أن الدول التي تتمتع بمناخ

معتدل (الدول الواقعة بين مداري السرطان والجدي) لها من الإمكانيات التي تجعلها رائدة في مجال استغلال الطاقة الشمسية بأقصى درجة من الكفاءة وبأقل التكاليف. [1]

و يعتبر التقطير الشمسي كحل يطرح لحل مشكلة نقص المياه الصالحة للشرب في المناطق الجافة الصحراوية حيث أن إنتاج الماء النقي بتقنية التقطير الشمسي لها آفاق كبيرة في الصناعة و الاقتصاد، و ذلك لأن الطاقة المستهلكة في الإنتاج هي طاقة حرارية أصلها الإشعاع الشمسي الملتقط من سطوح سوداء، هذه السطوح تسخن عند استقبالها لأشعة الشمس و منه يمكن الاستفادة من الحرارة التي يمكن تحويلها إلى حرارة تبخير للماء المالح، فتبقى الأملاح مترسبة فوق السطح الساخن و ينتج لنا بخار ماء نعرض البخار لسطح بارد فتحدث عملية التقطير. و هذا ما سنتناوله في هذه الأطروحة المقدمة أمامكم بالاستعانة بمقترين شمسيين بسيطين وحيدى الميل على مستوى وحدة البحث بمخبر الطاقات المتجددة للمناطق الجافة و الصحراوية (LENREZAS) بكلية الرياضيات و علوم المادة بجامعة قاصدي مرباح بورقلة، ذلك لأن منطقة ورقلة تتميز بمقادير جوية خاصة (إشعاع شمسي معتبر، زاوية ، طول مدة التشميس، درجة حرارة الهواء المحيط معتبرة.....).

و هدفنا الأساسي في هذا البحث هو إنشاء خلية تقطير شمسي مصغرة دائمة لتزويد مخابر الفيزياء بالماء المقطر اللازم للأجهزة التي تستعمل في حصص الأعمال التطبيقية من قبل الطلبة.

تحتوي هذه الأطروحة إجمالاً على أربعة فصول حيث نتطرق في البداية في الفصل الأول إلى تقنيات تصفية المياه المالحّة، مبدأ عملها كما سنتعرف إلى أنواع المقطرات الشمسية بالتفصيل و بالرسومات التخطيطية لكل نوع من الأنواع، أما في الفصل الثاني سنهتم بالدراسة النظرية للمقطر الشمسي البسيط وحيد الميل، حيث سنتطرق لمختلف العلاقات النظرية الخاصة بمختلف الظواهر الفيزيائية الداخلة في عملية التقطير (انتقال الحرارة، انتقال الكتلة ، انتقال كمية الحركة ، تغير الطور، ظاهرتا التكثيف و التبخير، الإشعاع الشمسي، الهواء الرطب)، وفي الفصل الثالث سنقوم بدراسة معادلات التوازن الحراري على مستوى مختلف أجزاء المقطر (الزجاج، الماء، السطح الأسود)، ثم يأتي تحليل وتفسير منحنيات التجارب التي تمت على المقترين المقترحين في الدراسة (تجارب المجموعة الأولى والمجموعة الثانية) و مناقشة النتائج المتحصل عليها وهذا نجده في الفصل الرابع، و في الأخير خلاصة عامة حول الموضوع .

الفصل الأول

بحث في المراجع حول مختلف أنواع

المقطرات الشمسية

يحتوي هذا الفصل واقع الطاقة الشمسية و تقنيات تصفية المياه المالحة
و أنواع المقطرات الشمسية و المتمثلة في

- مشكلة نقص المياه الصالحة لشرب عالميا ومحليا والحلول المقترحة.
- تقنيات تصفية المياه المالحة ومبدأ عملها.
- أنواع المقطرات الشمسية (المقطر البسيط، المقطر المتعدد).
- التقطير الشمسي.

(1-I) المقدمة:

منذ القدم ارتبط الماء بالحياة، وما لاشك فيه أن الماء كان ولا يزال أول أساسيات بقاء البشرية وتطورها وازدهارها. فكل الحضارات القديمة أو الحديثة نشأت حول منابع الماء (الحضارة المصرية وحضارة بلاد الرافدين) أيضا لأن معظم النزعات وحروب البشرية كما تشير الأبحاث والدراسات بسبب الماء .

(2-I) مشكلة نقص المياه الصالحة لشرب و حلول المقترحة في العالم [1]:

إن ارتفاع المستوى المعيشي والتطور في جميع المجالات نجم عنه تزايد كبير في عدد السكان نتج عنه نقص في مصادر الماء الصالح لشرب وزيادة تلوثه الناتج من التطور الصناعي، ونتيجة لهذه الظواهر الخطيرة تحاول دول كثيرة في العالم توفير الماء الصالح للشرب وذلك بتنمية وتطوير الموارد المائية و ترشيد الاستهلاك وتخليق مياه البحر و تصفية مياه الصرف الصحي والصناعي، ومن الحلول المقترحة الطاقات المتجددة حيث هي وسيلة لنشر المزيد من العدالة في العالم بين دول العالم الغنية و الفقيرة، وهي ليست حصراً على الذين يعيشون اليوم، فالحد الأقصى من استعمال الشمس والرياح اليوم لن يقلل من فرص الأجيال القادمة بل على العكس، فعندما نعتمد على الطاقة المتجددة بالأخص الطاقة الشمسية سنجعل مستقبل أولادنا وأحفادنا أكثر أماناً، هكذا وصف وزير البيئة الألماني زيجمار غابريل الطاقة المتجددة في حديثه بمناسبة افتتاح المنتدى العالمي الثالث للطاقة المتجددة في مدينة بون.

فالطاقات المتجددة بأنواعها الطاقة الشمسية وطاقة رياح والطاقة الكهرومائية والطاقة العضوية وغيرها من الطاقات "الطبيعية" تعتبر بالفعل الأمل في توفير الطاقة والمياه الصالحة لشرب بشكل مستمر في المستقبل، من ناحية لأنها طاقة لا تفتنى و غير ملوثة ، وبالإضافة إلى ذلك تطبيق التقنيات الحديثة لتوليد هذه الأنواع من الطاقة سوف يمكننا من تصفية وتخليق مياه بشكل أكبر وأسرع وتوفر المياه الصالحة لشرب بشكل كبير وأحسن وأيضاً إمكانية توفير فرص عمل متعددة للشباب، هذا ما أكده حاضري المؤتمر وعلى رأسهم رئيس المجلس العالمي للطاقة المتجددة ورئيس الملتقى هيرمان شيرر فهو يهتم بالطاقات المتجددة بصفة خاصة الطاقة الشمسية منذ وقت بعيد، ويعتبرها حل لتزويد العالم بالماء في المستقبل. والجدول (1-I) يوضح أن لكل دولة قيمة من المياه الصالحة للشرب من 1990 إلى غاية 2025 [2].

الجدول (I-1): نصيب الفرد من المياه المتاحة (المتوفرة) عالميا

كمية الماء الصالحة لشرب لكل شخص m^3		الدولة	كمية الماء الصالحة لشرب لكل شخص m^3		الدولة
1990	2025(المتوقعة)		1990	2025(المتوقعة)	
1000	2660	الجزائر	380	705	الجزائر
470	470	عمان	790	2040	جزر القمر
980	1790	بيرو	1000	1290	قبرص
20	50	قطر	270	750	جيبوتي
350	380	روندا	620	1070	مصر
50	160	السعودية	980	2360	إثيوبيا
190	220	سنغافورة	960	1690	هايتي
610	1510	الصومال	960	2080	إيران
790	1420	جنوب إفريقيا	80	260	الأردن
900	2780	تنزانيا	190	590	كينيا
110	190	الإمارات العربية المتحدة	10	10	الكويت
80	240	اليمن	960	1600	لبنان
220	500	الرأس الأخضر	60	160	ليبيا
170	170	بريدوس	680	1200	المغرب

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

إن مشكلة نقص مياه صالحة لشرب في الجزائر نفسها الموجودة في العالم إذ تنقسم موارد المائية الطبيعية في الجزائر إلى قسمين هما مياه السدود و مياه الجوفية ، إن الحاجة لإيجاد مصادر للمياه الصالحة للشرب في الجزائر في تزايد مستمر وذلك راجع لنقص المياه السطحية وخاصة في المناطق الجافة، والمناطق شبه الجافة، ونجده في المناطق الحضرية مطروحا بشكل واضح وذلك راجع لأسلوب الحياة و تزايد عدد السكان في هذه المناطق، وهذا الوضع يؤدي للبحث عن مصادر للمياه لا تنفذ حتى وإن كانت مالحه مثل المياه الجوفية ومياه البحر والتفكير في الطرق التي تجعل المياه المالحه

أو الملوثة صالحة للشرب، وللتغلب علي مشكلة نقص المياه كان لزاما إنشاء علي مستوى التراب الجزائري عدد كافي من السدود وتكون في الشمال، وإنشاء محطات تصفية المياه الملوثة أو تدعيم القاعدة الصناعية بمصانع لتصفية المياه الملوثة أو تحلية مياه البحر .

(4-I) المعايير العالمية لمياه الصالحة لشرب [3] [4]

توضح المعايير العالمية لمياه الصالحة لشرب في الجدول التالي :

جدول (I-2): المعايير العالمية لمياه الشرب (g/L)

المركب الكيميائي	التركيز (g/L)	المركب الكيميائي	التركيز (g/L)
الأمونيوم	$[NH_4] < 0,5. 10^{-3}$	النترت	$[NO_2^-] < 1. 10^{-4}$
الكلور	$[Cl^-] < 0,2. 10^{-3}$	المنغنيز	$[Mn^{+2}] < 5. 10^{-5}$
الكبريتات	$[SO_4^{2-}]$	الفسفورات	$[PO_4^{-3}] < 5. 10^{-3}$
الزنك	$[Zn^{+2}] < 5. 10^{-3}$	الأمنيوم	$[Al^{+3}] < 10^{-5}$
النجاس	$[Cu^{+2}] < 1. 10^{-3}$	البوتاسيوم	$[K^+] < 1,2. 10^{-2}$
الحديد	$[Fe^{+3}] < 0,2. 10^{-3}$	الصوديوم	$[Na^+] < 0,15$

(5-I) التحليل الفيزيائي والكيميائي للمياه الجوفية بمنطقة ورقلة [5] : كل الشوارد مقاسة بـ mg/L.

جدول (I-3) : تركيز الأملاح الشوارد الكيميائية في مياه منطقة ورقلة

المجموع	CO_3^{2-}	NO_3^-	Cl^-	K^+	HCO_3^-	قساوة	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	SO_4^{2-}
2961	---	38	749	19	103	106	249	107	625	965

تركيز الأملاح في مياه منطقة ورقلة يقدر بـ : 2,961 g/L ، و مقدار الحموضة (PH) متوسط يقدر بـ 6.8

وأیضا تقاس القساوة للماء بحساب مجمع تراكيز كل من شوارد الصوديوم و البوتاسيوم .

I-6 (6- I) تقنيات تصفية المياه المالحّة (dessalement) [6]:**I-6-1 (1-6- I) تقنية التَّقْطِير (mécanisme de distillation)**

إن تقطير المياه باستعمال طاقات صناعية قابلة للنفاد هو أسلوب قديم ومكلف وغير فعال، فالسياسات الاقتصادية الحالية تفرض استغلال أمثل للطاقة مهما كان شكلها أو مصدرها.

مبدأ عمل المقطر يعتمد مبدئياً على عمليتين : عملية تبخير (évaporation) تتم بفعل مصدر حراري ساخن ، ثمَّ تَحْوَلُ بُخَارُ الْمَاءِ باتجاه مكثف (condenseur) له درجة حرارة منخفضة نسبياً ، وتتم العملية مادام هناك فرق في درجة الحرارة بين هذين العنصرين المُركِبين للمُقَطِّر، وعموماً كلما كان الفرق كبيراً كانت كمية المياه النقية المُنتَجة كبيرة. وينتج عن هذه العملية مياه شديدة الملوحة –محلول ملحي saumure– نستخلص منها الأملاح المعدنية الضرورية غذائياً. ككلوريد الصوديوم NaCl-ملح الطعام- وفي حالة عدم استغلال هذه المياه ذات الملوحة العالية، لوجود مصدر كافي من الأملاح نصرّفها ، وعموماً كل المقطرات مهما كان شكلها أو مبدأ عملها تحتاج مصدر حراري ساخن للتبخير، ومصدر حراري بارد للتكثيف .

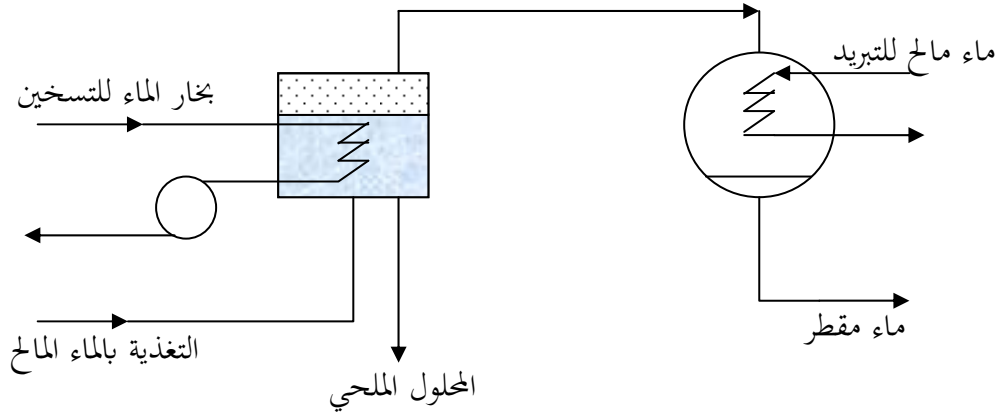
I-6-1-1 (1-1-6-I) التقطير البسيط (distillation à effet simple)

إن دوران البخار بِجِوَارِ مبخر الماء يسمح بتبخير الماء تحت ضغط أقل من الضغط الجوي، ممّا يؤدي إلى تكثيف البخار مباشرة على سطح المُكثِّف، وبدون استرجاع أو الاستفادة من الحرارة الضائعة، ومن المُستَحْسَن أن يكون فيه تسخين أولي للماء المالح قبل تبخيره في المُبَخِّر.

مبدأ عمل الجُهَّاز: وهو موضح في الشكل (I-1)، ويعتمد مبدئياً على دخول الماء المالح إلى خلية التقطير بدرجة حرارة (T+ΔT) و ΔT هو مقدار الزيادة في درجة الحرارة الناجم من التسخين الأولي.

- و في داخل الخلية نجد مبدل حراري على شكل حلزوني أو أي شكل يضمن التبادل الحراري، بين الماء المالح وُبخار الماء الدّاخِل لهذا المُبَدِّل.
- يفقد بُخار الْمَاءِ جزء من الحرارة ممّا يؤدي إلى تكثيفه، ويتحول إلى ماء سائل، ويسخن من جديد في دورة مغلقة.

الجزء المفقود من الحرارة يكتسبه الماء المالح من أجل تبخيره، يتجه بخار الماء الناتج إلى خلية ثانية من أجل تكثيفه، وتكثيفه ينبغي وجود عنصر بارد يتمثل في مبدل حراري ثاني، يسري فيه ماء مالح بارد طبيعياً (ماء البحر أو مياه جوفية باردة) .



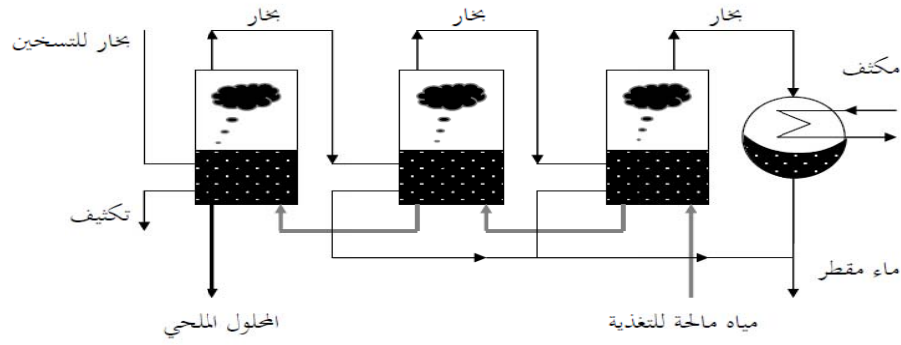
الشكل (1-I): التقطير البسيط

التكلفة : هذا الأسلوب يُستعمل صناعياً، لكن تكلفته الإنتاج عالية، وتقدر بـ : 84 إلى 1000 كيلو واط / م³ [7]

(2-1-6-I) التقطير المتعدد (distillation à effets multiples)

من أجل رفع مردود عملية التقطير، يجب استرجاع جزء من الحرارة الضائعة عند التكثيف (المكثف) في الخلية الثانية لاستعمالها كحرارة تسخين أولي، تُحقق مبدأ العمل التالي :

مبدأ عمل الجهاز : في الشكل (2-I)، ويعتمد هذا الجهاز على عدة طوابق-خلايا- للتقطير، ونستعمل في كل طور مفعول بسيط للتقطير، بحيث أن البخار المنتج من المبخّر الأول يُكثف في مكثف الخلية الثانية، ومنه يعطينا بخار قليل الضغط، وهكذا تتم العملية مع جميع الطوابق بنفس المبدأ، والحرارة المتبقية إن وجدت تُستخدَم لتسخين المياه المعالجة، واستخدمها لأغراض أخرى. في المجال الصناعي يُستخدَم عادة من ستة إلى سبعة مبخّرات ومكثفات، تعمل بنفس المبدأ، وهذا المبدأ أستخدم لأول مرة في أوائل القرن التاسع عشر ميلادي [8]. ويتم اختيار عدد الطوابق لرفع معامل الفعالية للجهاز، والمتمثل في كمية الماء المنتج مقسومة على كمية البخار الناتج من التسخين الأولي لكل طابق، ويسمى أيضاً قيمة الإنتاج للجهاز. والقيمة الفعالة لعدد الطوابق هي 40.

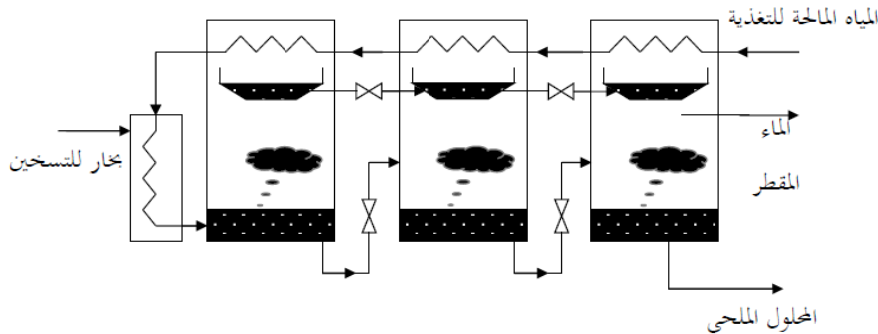


الشكل (2-I) : التقطير متعدد التأثير

(3-1-6-I) التقطير اللحظي (الومضي) متعدد المراحل (distillation de flache à plusieurs étapes)

طريقة التقطير مع التبخُّر اللحظي (vaporisation instantanée) - السريع - بالتسخين المُتَوَالِي للبخار، تعتمد على مجموعة من الطوابق، وهي من أولى الطرق المُستعملة في التقطير، من أجل استرجاع الحرارة الضائعة، وقد طُوِّر هذا المبدأ بفضل أبحاث R.S.Silver في مصنع تَحْلِيَةِ المِيَاهِ المَالِحَةِ بِمَدِينَةِ "Lille" بفرنسا [9].

مبدأ عمل الجهاز: في الشكل (3-I)، ويعتمد على درجة حرارة نسبياً ضعيفة، واستخدام الماء المالح البارد لتكثيف البخار الناتج في كل طابق مُبَخَّر. داخل المُبَخَّر نَجِد المَاء المالح، تَحْت درجة حرارة معينة والضغط ينخفض تدريجياً، بِحَيْثُ أن الماء والبخار في حالة توازن، فيعوض البخار التناقص في الضغط. دوران الماء البارد في مبدل حراري يضمن انخفاض في درجة حرارة البخار، وبالتالي يؤدي إلى تكثيفه على الجدار الخارجي للمُبَدِّل، وهكذا تتم العملية بالتوالي على كل الطوابق. وفي العالم يوجد العديد من المصانع تعمل على هذا المبدأ، منتجة ما يزيد على بضعة المِليارات من الأمتار المُكعَّبة في اليوم.



الشكل (3- I) : التقطير مع التبخير اللحظي

I-6-2) تقنية فصل الماء عن الأملاح الذائبة بالأغشية -Membranes-

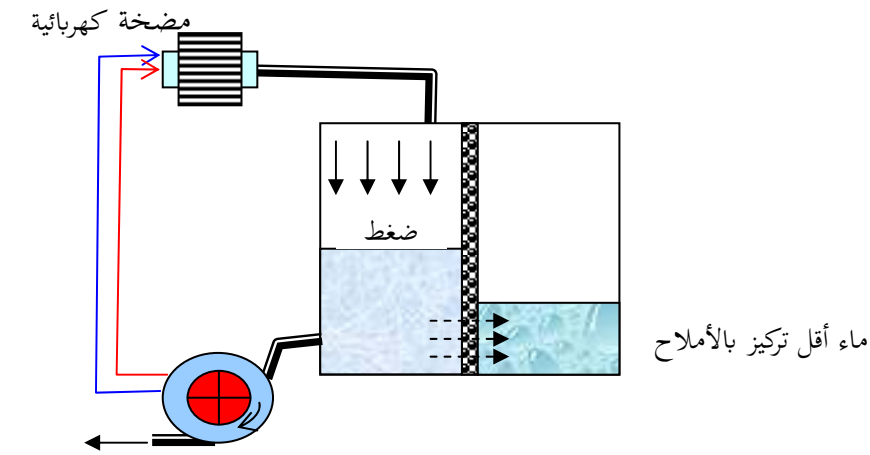
هذه التقنية تعتمد على أغشية شبه نفاذة ، تستعمل من أجل فصل الملح عن الماء ، وتتم عملية الفصل تحت درجة حرارة الجو العادية - بدون تسخين - مع استهلاك لكمية من الطاقة الكهربائية ، ويوجد أسلوبين في هذه التقنية وهما الأسموز العكسي (النضح العكسي) والأسموز الكهربائي (النضح الكهربائي) [7].

I-6-2-1) الأسموز العكسي (التناضح العكسي)

لمعرفة مبدأ هذه التقنية نعرف أولاً ظاهرة الأسموز الطبيعية .

الأسموز: تتم ظاهرة الأسموز عند وجود محلولين سائلين مُختلِفَيْن في تركيز المادّة المُذابة فيهما، فينتقل المَحلول من الوسط الأقل تركيز إلى الوسط الأكثر تركيز وبوجود غشاء. ففي حالة الماء نَفصل بين الوسطين المُختلِفَيْن في التركيز بالأملاح بغشاء شبه نفاذ، لا يسمح للأملاح بالمرور عبره ، نضع الماء المالح في حوض أول يفصل بينها وبين حوض ثاني غشاء شبه نفاذ، نطبق على الماء المالح ضغطاً بواسطة مضخة ضغط خاصة، فيتسرب الماء ويتجه إلى الحوض الثاني، وهكذا حتى نتحصل على ماء أقل ملوحة، وبذلك نكون قد عكسنا الظاهرة الأسموزية إنتاج هذه الأسلوب يقارب $1 \text{ m}^3/\text{jour}/\text{m}^2$ من الغشاء، والطاقة المُستهلكة تقدر ما بين 4 إلى $7 \text{ KWh}/\text{m}^3$ من الماء المنتج.

ومن أجل الاقتصاد في الطاقة نستعمل الطاقة الكامنة في المياه المالحة التي نُصرفها للتخلص منها، فوجودها في مكان مرتفع نسبياً، يُمكنها من تدوير ترينيات لإنتاج الطاقة الكهربائية. الشكل (I-4) يوضح هذا المبدأ



الشكل (I-4): تقنية المياه المالحة بتقنية الأسموز العكسي

توربين يدور بفعل الطاقة
الكامنة للماء المالح متصل
بمولد كهربائي

(2-2-6-I) الأسموز الكهربائي (التناضح الكهربائي - Electrodialyse)

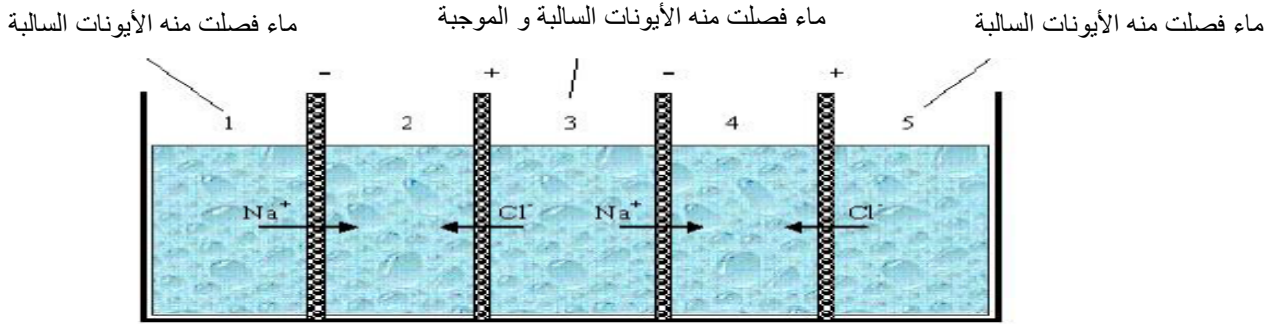
يتم فصل الأيونات كيميائياً بفعل التجاذب الكهربائي، وتسمى هذه التقنية أيضاً بتقنية الأسموز الأيوني، ونستعمل في ذلك أغشية نفاذة للماء واختيارية، نختار نوعاً خاصاً من الأيونات سالبة (cation) أو موجبة (anion) حسب نوع الكهرباء المستقطبة في هذه الأغشية. كما هو موضح في الشكل (I-5)، قسم الحوض إلى خمس أحواض مفصولة بأربعة أغشية مستقطبة بالتناوب (+، -، +، -).

الحوض 1 به ماء فصلت منه الأيونات الموجبة.

الحوض 5 به ماء فصلت منه الأيونات السالبة.

الحوض 3 به ماء فصلت منه الأيونات السالبة والموجبة، وهو الماء الصالح للاستعمال.

يغذى الحوض 1 و5 بالماء المالح، أما الحوض 3 يستخلص منه الماء الصالح للاستعمال.



الشكل (I-5) تقنية الأسموز الأيوني (الأسموز الكهربائي) لفصل ملح $NaCl$ عن الماء المالح

(7-I) التقطير الشمسي [6]:

(1-7-I) لمحة تاريخية عن التقطير الشمسي

..منذ القدم عرف الإنسان أن للشمس طاقة هائلة، وحاول إيجاد أساليب هذه الطاقة لاستغلالها بالشكل الذي يجعلها مفيدة له. فمن أولى الاكتشافات هو إدراك الإنسان لظاهرة تسخين مياه الأحواض المعرضة مباشرة لأشعة الشمس وبعد ذلك اخترع مادة الزجاج لئلا لديها من خواص، بحيث من الممكن تصنيع عدسات ومرآة تساهم في استغلال هذه الأشعة. وأول استخدام لطاقة الشمس في التقطير كان سنة 1872 في شمال الشيلي (Chili) في صحراء (Las salinas)، وكان على شكل أحواض سوداء مغطاة بالزجاج. فالقاعدة السوداء تستعمل كعناصر (Absorbant) لأشعة الشمس، ويوضع في هذا الحوض الساخن ماء على شئك رقيق، فيعمل السطح الأسود عمل المبخّر، ويُستقبل البخار المتصاعد من طرف السطح الداخلي للزجاج المائل بزاوية 20° ، ذو درجة حرارة أقل من الماص الأسود نسبياً مما يؤدي إلى تكاثفه مباشرة، ويتجمع في قناة خاصة بالماء المُقطّر.

ويُعتمد هذا المبدأ إلى حد الآن مع تغير بعض العوامل الداخلة في زيادة كمية الماء المُقَطَّر، ويسمى أيضا هذا المبدأ بالتقطير الشمسي ذو الحوض أو حوض التقطير. كمية الماء المُقَطَّر الناتج من المُقَطَّر الشمسي ذو الحوض تتراوح بين 1 إلى 5 لترات في اليوم لكل متر مربع من الحوض، وتتغير تبعا للعوامل الداخلية المُتعلِّقة بالجهاز والخارجية المُتعلقة بحالة الجو وشدة الإشعاع الساقط. وما يهمنا هنا العوامل التي قد درست من طرف الباحثين في هذا المجال من حيث انتقال الحرارة كمفعول شدة الإشعاع ودرجة حرارة الغطاء (إن كان الغطاء من الزجاج نمرز له: G أما إذا كان من البلاستيك نمرز له: P) .

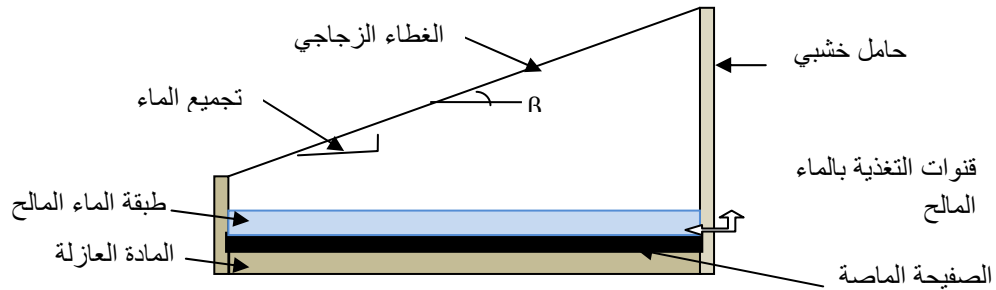
I-7-2) أنواع المقطرات الشمسية

I-7-2-1) المقطرات البسيطة (Distillateur a simple effet)

..هذا المقطر الأكثر استعمالا في العالم، بحيث يحتوي على حوض مملوء بالماء المالح وملون (مدهون) باللون الأسود من أجل التقاط أكبر كمية من الإشعاع الشمسي ويغطي بلوح من الزجاج ويجب ان يكون هذا الأخير مائلا ليتكثف البخار في الجزء الداخلي للغطاء، ومن بين ايجابياته تحقيقه وصيانته بسهولة، ثمنه نوعا ما منخفض، وتوجد عدة نماذج لهذا النوع [10][11] من بينها :

a) مقطر بميل واحد (Distillateur a pente unique)

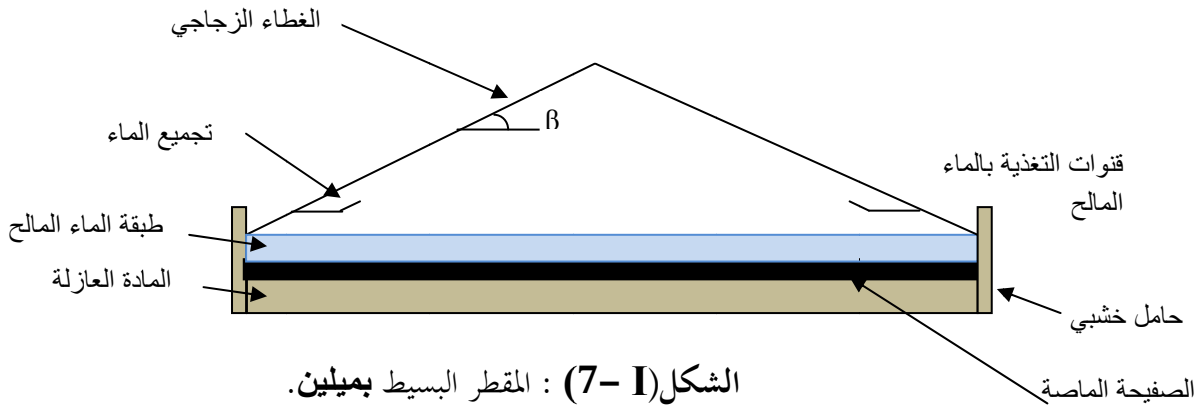
هو مقطر بلاقط واحد مائل بزاوية (β)، وهو سهل التنظيف نظرا لسهولة تركيبه [12]، الشكل (I-6)



الشكل (I-6): مقطر بسيط بميل واحد

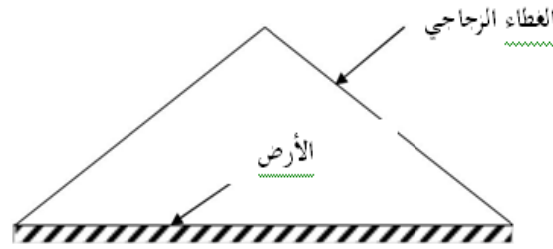
b) مقطر بميلين (Distillateur a double pentes)

..ويسمى كذلك مقطر بلاقطين، بحيث كل واحد منها يميل بزاوية (β)، ومن ميزاته أنه إحداهما يوجه للشمس والآخر للظل لتسريع عملية التكثيف [12]، الشكل (I-7).



الشكل (I-7) : المقطر البسيط بميلين.

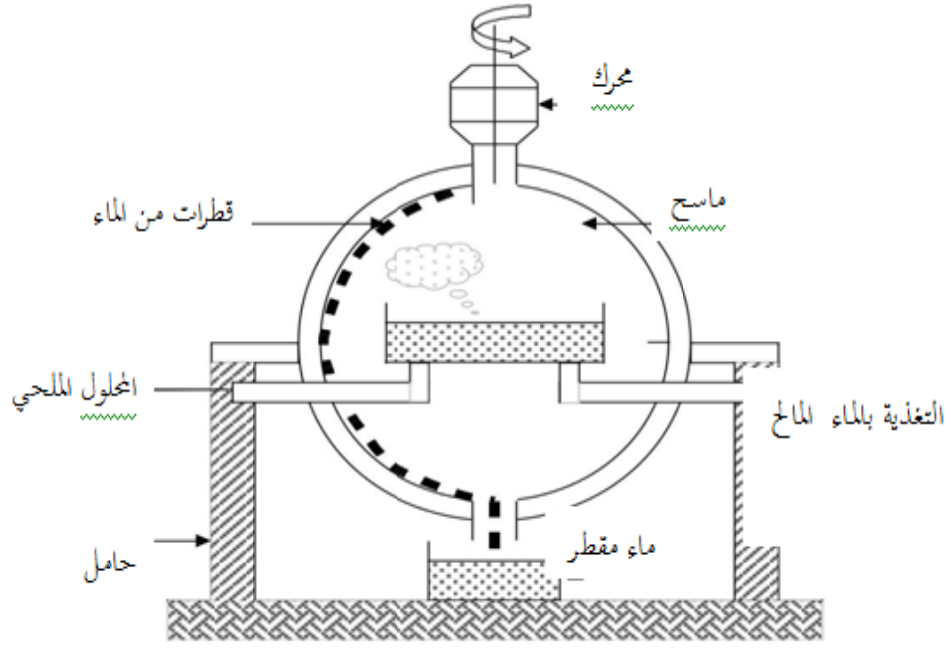
(c) مقطر شمسي أرض - ماء (Distillateur solaire terre -eau) : كميات كبيرة من الرطوبة تخزن (تدخر) في الأرض وفي المناطق الجافة بحيث هذه الرطوبة تعود إلى الغلاف الجوي خلال الفصل الساخن لإتمام الدورة الهيدرولوجية الطبيعية لهذا نستعمل المقطر الشمسي أرض - ماء الذي يشبه المقطر بميلين فقط نعوض الحوض الأسود بالأرض [11]، الشكل (I-8).



الشكل (I-8) : مقطر شمسي أرض - ماء

(d) مقطر كروي بماسح (Distillateur spherique a balayage)

..أول من اقترحه هذا المقطر هو Pr. Menguy بجامعة لندن ويحتوي على كرة شفافة مصنوعة من الزجاج وفي وسطها يوجد حوض دائري أفقي، له لون أسود يعمل كماص للإشعاع الحراري، يوضع فيه الماء المالح لتبخيره، ثم يتكاثف هذا البخار المتصاعد إلى أن يمس السطح الداخلي للزجاج ثم يجمع في أسفل الشكل الكروي، ولجعل الزجاج شفافا يستعمل في السطح الداخلي ماسح يدور بواسطة محرك كهربائي في أعلى المقطر [6][14][15] ، الشكل (I-9).



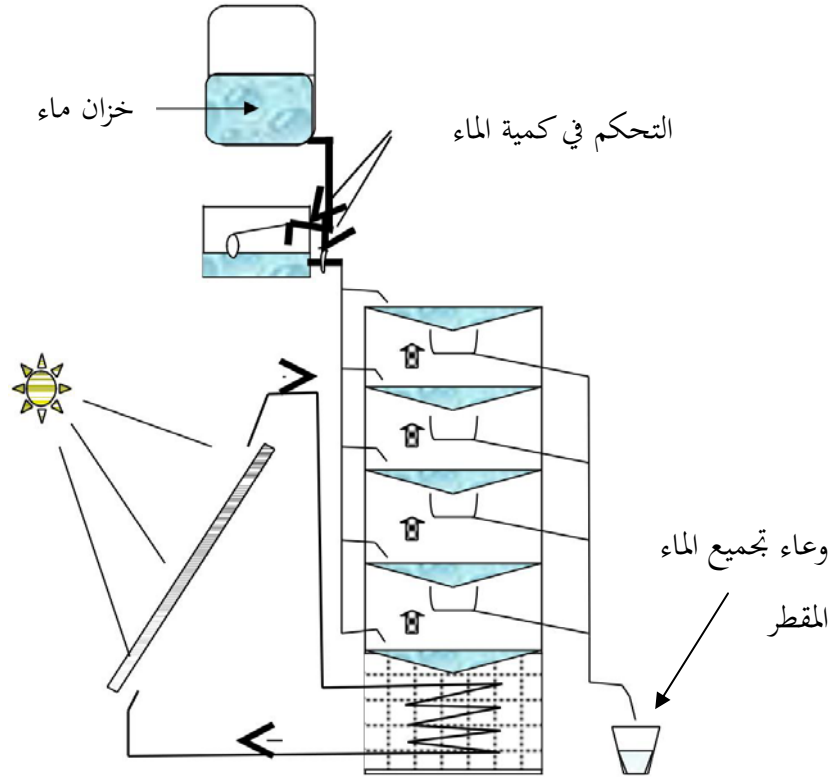
الشكل (I-9): مقطر كروي بماس.

(Distillateurs a multiples effets) المقطرات المتعددة (2-2-7-I)

في العموم المقطر المتعدد يحتوي على عدة مبخرات وهناك عدة نماذج لهذا المقطر وهي :

a- المقطر الشمسي متعدد الطوابق (Distillateur solaire a multiples etages)

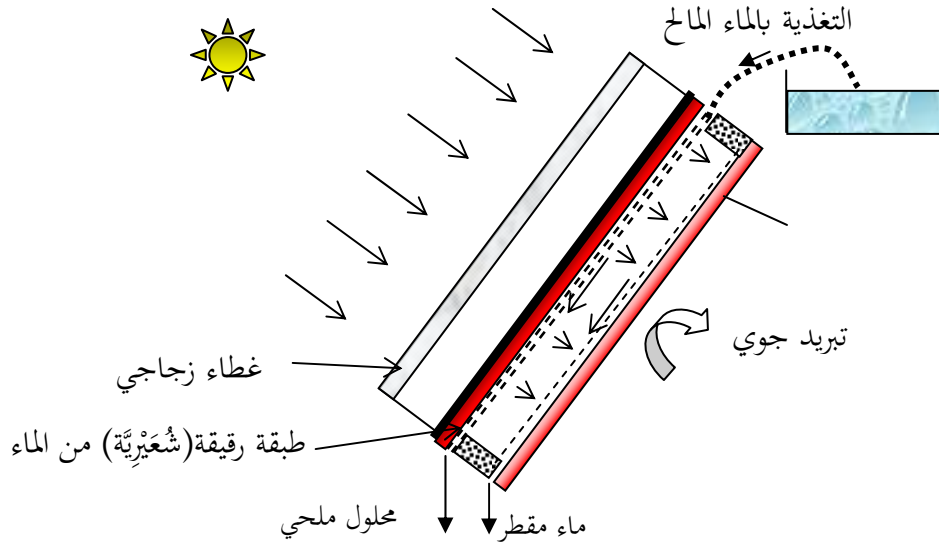
..هو عبارة عن مجموعة من الطوابق كل طابق يحتوي على الماء المالح، يسخن الطابق الأول عن طريق المبدل الحراري الذي استقبل الحرارة من المائع المسخن باللاقط الشمسي- فيتبخر الماء المالح ويتكاثف على السطح البارد المقابل وحرارة التكثيف بدورها تقوم باسترجاع البخار لتسخين الماء الموجود فوق سطح التكثيف وهكذا تتكرر العملية حتى الطابق الأخير [12][6][13]، الشكل(I-10).



الشكل (I-10) : المقطر الشمسي المتعدد الطوابق.

b- المقطر الشمسي بالخاصية الشعرية (Distillateur solaire a film capillaire)

..أول من اقترح هذا النوع من المقطر هو Pr.P.Legofe بمخبر العلوم والهندسة الكيميائية ب Nancy بالتعاون مع Pr.Ouahes بجامعة الجزائر، وهو عبارة عن مجموعة من الطوابق المعدنية (من الألمنيوم مثلا) متقابلة ومتوازية عموديا، مركبة داخل إطار خشبي معزول حراريا جيدا من الجهات الجانبية، كما يوجد غطاء زجاجي في الجهة العليا، إن الطابق الأول مطلي باللون الأسود لإمتصاص أكبر قدر من الطاقة الشمسية الساقطة عليه، وجميع الطوابق مغطات من الخلف بقماش من نوع الشاش للإمتصاص و الإحتفاظ بالماء المراد تحليته، والذي بدوره يمتص الحرارة من الطابق الأول (L'absorbeur) فيتبخر الماء بفعل الحرارة المكتسبة من الإشعاع الحراري، ويتكاثف على السطح المقابل البارد، كما أن الحرارة المكتسبة من التكثيف تقوم بتسخين الماء السائل على الشاش الملتصق خلف سطح التكثيف، وهكذا تتكرر العملية حتى الطابق الأخير [15][16][17]، الشكل(I-11).



الشكل (I-11): المقطر الشمسي بالشريط الشعيري للماء (طابق واحد) مزود بغطاء زجاجي

الفصل الثاني

دراسة نظرية للمقتر الشمسي البسيط

يحتوي هذا الفصل على مختلف العلاقات النظرية الخاصة بالظواهر الفيزيائية الداخلة في عملية التقطير و المتمثلة في

- انتقال الحرارة
- انتقال الكتلة
- انتقال كمية الحركة
- تغير الطور
- ظاهرتا التبخير و التكثيف
- الإشعاع الشمسي
- نظريات الهواء الرطب

1-II) مقدمة

نتطرق في هذا الفصل أولاً لتعريف المقطر الشمسي البسيط وتعريف المضخة الحرارية ثم نبدأ في الدراسة النظرية لعملية التقطير التي تعطي العلاقة بين المَمَادِير الفيزيائية الداخلة في هذه العملية، وتعطي تفسيرات لِمَا يَحْدُث من ظواهر فيزيائية مرتبطة مع بعضها البعض، وسَنَدْرُس الظواهر المُتَمَرِّمَة منها وغير المُتَمَرِّمَة من حيث الحُدُوث، ومن تلك الظواهر الفيزيائية نُجِد : انتقال الحَرَاة (بالتوصيل و بالحِمل و بالإشعاع) ، انتقال المادة ، انتقال كمية الحركة و تَحْوُل طَوْر المَادَة (بين الأطوار الثلاثة غازي و سائل وصلب)، ونضيف إلى ذلك ظاهرتا التبخير و التكثيف ونظريات الإشعاع الشمسي و الهواء الرطب.

2-II) تعريف المقطر الشمسي البسيط :

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

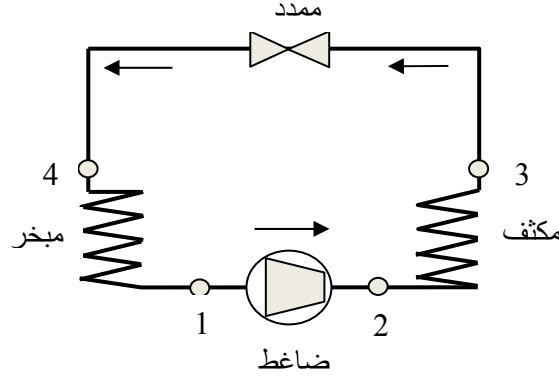
و يسخن الماء في الحوض نتيجة لسقوط أشعة الشمس و ترتفع درجة حرارته إلى مستوى أعلى من درجة حرارة الغطاء الزجاجي وأعلى من درجة حرارة الهواء الموجود داخل الحوض بين سطح الماء والغطاء الزجاجي ، ونتيجة لفارق الضغط الموجود بين طبقة البخار الملامسة لسطح ماء الحوض والبخار الموجود في الهواء فإن الماء يبدأ في التبخر.

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

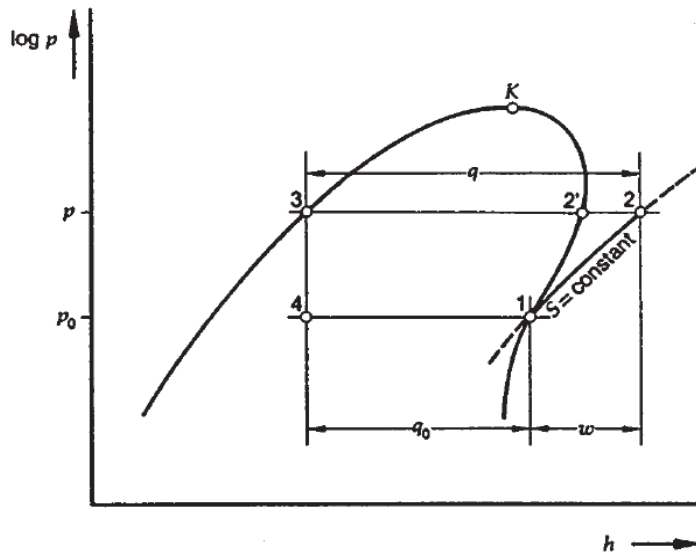
3-II) تعريف المضخة الحرارية :

هي جهاز حراري يعمل تبعاً لدورة يستهلك عمل $W > 0$ تؤدي إلى نقل حرارة Q_L من وسط يصبح في الأخير بارداً، ويعطي حرارة Q_H إلى وسط يصبح في الأخير ساخن . وهي المبدأ الأساسي المستعمل في المكيف والثلاجة.

و في دراستنا نعتمد على حساب درجات الحرارة في مختلف النقاط من دورة مائع التبريد (R134a ، tetrafluoroethane $C_2H_2F_4$ ، وهو من الغازات المصنفة من نوع HFC و غير مضر لطبقة الأوزون) عن مداخل ومخارج المبدلات الحرارية (المبخر و المكثف) الموضحة في مخطط $(P - h)$



الشكل (1-II) : مخطط توضيحي لأعضاء المضخة الحرارية



الشكل (2-II) : مخطط Moullier لمنحني التشبع للمائع R134a

T_3 : درجة حرارة مخرج المكثف.

T_2 : درجة حرارة مدخل المكثف.

T_1 : درجة حرارة مخرج المبخر.

T_4 : درجة حرارة مدخل المبخر.

II-4 (ظواهر الانتقال الأساسية في التقطير [6])

II-4-1 انتقال الحرارة

هو انتقال لكمية من الطاقة على شكل الحرارة من نقطة إلى نقطة بوجود تدرج في درجة الحرارة والانتقال يتم مهما كان نوع الوسط، حتى بعدم وجود وسط مادي (مثلا فراغ في حالة الإشعاع) ، ويتم الانتقال بـ :

- (1) التفاعل المباشر لجسيمات المادة المتقاربة (بالتصادم مثلا)، وهذا يحدث في التوصيل الحراري.
- (2) الامتصاص أو البث للإشعاعات الكهرومغناطيسية، وهذا يحدث في الإشعاع الحراري .
- (3) وفي حالة الغازات أو السوائل، بالحمل الحراري تحمل جسيمات المادة الطاقة الحرارية بشكل عشوائي بين نقطتين من الوسط المادي.

II-4-1-1 أشكال انتقال الحرارة

II-4-1-1-1 التوصيل الحراري (الانتشار الحراري)

و يكون في الأوساط غير المتحركة (الحركة النسبية للجسيمات مهملة)، كالأوساط الصلبة. أما في الموائع فحركة الجسيمات ماكروسكوبية (عيانية)، لذلك فالتوصيل يكون ضعيفا، ويكون للتوصيل قيمة معتبرة في الطبقات الحدية الحرارية (couche limite thermique) قرب سطوح الأجسام الصلبة، أو مائع داخل مسام صغير الأبعاد في جسم صلب.

II-4-1-1-1-1 قانون " فوريه " (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 :

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot A \frac{dT}{dx} \quad (1.2)$$

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

II-4-1-1-2 الحمل الحراري

في الانتقال الحراري بالحمل، تُنقل الحرارة مباشرة بالحركة الماكروسكوبية (العيانية) للمائع، و عندها يسمى المائع بـ: المائع الحامل للحرارة، والحمل هو شكل من أشكال الانتقال جد سريع بالمقارنة بالتوصيل. وعند ترك المائع يتحرك

لوحده أو بفعل التيار الحراري الناتج من التسخين، نسمي هذا النوع بالحِمل الحراري الطبيعي (الحر)، لكن عند التأثير على المائع بقوة فتعطيه عملاً ميكانيكياً (مروحة - رج - ضخ - ...). نسميه الحِمل الحراري القسري .

II-4-1-1-2-1 قانون "نيوتن" :

نعتبر مائع حراري ذو درجة حرارة T_{∞} . في تماس مع سطح جسم صلب، مساحته A ودرجة حرارته T_s ، يحدث بينهما تبادل حراري (تسخين أو تبريد)، وينتقل تيار حراري $\frac{dQ}{dt}$ قيمته حسب قانون "نيوتن":

$$(2.2) \quad \text{تبريد السطح الصلب} \quad \frac{dQ}{dt} = h \cdot A(T_{\infty} - T_s) ; \quad \text{تسخين السطح الصلب} \quad \frac{dQ}{dt} = h \cdot A(T_s - T_{\infty})$$

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

II-4-1-1-3 الإشعاع الحراري [9][13]

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

II-4-1-1-3-1 قانون "ستيفان-بولتزمان"

يعبر عن التدفق الحراري المُنبث من السطح الباث :

$$(3.2) \quad M = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

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

ε معامل الانبعاث الإشعاعي للسطح الباث (بدون وحدة).

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

II-4-1-1-3-2 استقبال الجسم للإشعاع (الانعكاس - الامتصاص - الإمرار)

عند استقبال جسم للإشعاع، فإن الاستطاعة الواردة له Q_{inc} .. تتوزع على ثلاث أجزاء : الشكل (1-2)

(1) جزء يمر عبر الجسم Q_{tra} ، ومعامل الإمرار :

$$(4.2) \quad \tau = \frac{Q_{tra}}{Q_{inc}}$$

(2) جزء يمتص عبر الجسم Q_{abs} ، ومعامل الامتصاص :

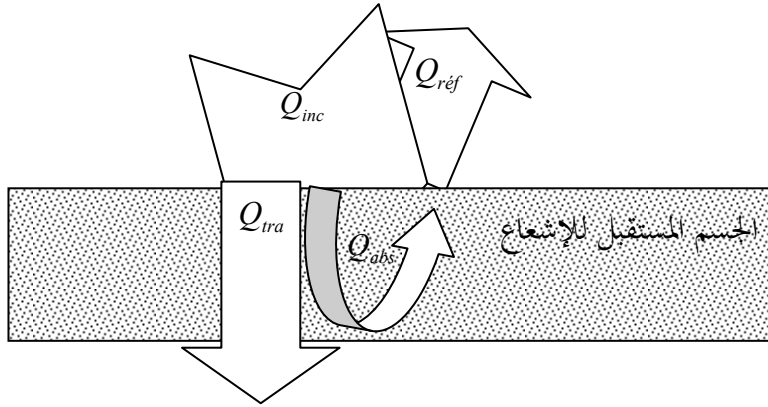
$$(5.2) \quad \alpha = \frac{Q_{abs}}{Q_{inc}}$$

(3) جزء ينعكس عبر الجسم $Q_{réf}$.. ومعامل الانعكاس :

$$\rho = \frac{Q_{réf}}{Q_{inc}} \quad (6.2)$$

العلاقة بين المعاملات: التوازن الحراري $Q_{inc} = Q_{tra} + Q_{abs} + Q_{réf}$ ، معناه

$$\tau + \rho + \alpha = 1 \quad (7.2)$$



الشكل (II-3) : إستقبال الإشعاع

II-4-2) انتقال الكتلة : [18][19]

في التقطير نستعمل نظريات انتقال الكتلة بصورة مباشرة ، ونعني بمفهوم انتقال الكتلة هو كل الإجراءات التي يكون فيها فرق في التركيز (كتلي أو مولي) للمواد الموجودة في وسط مادي ، ونتيجة الانتشار الجزيئي أو الحمل لهذه المَوَاد إلى غاية تساوي التركيز بين النقاط المعتبرة لظاهرة الانتقال ، وعادة ما يرافق هذا الانتقال انتقالا للحرارة . و من أهم الظواهر الموجودة في المقطر نجد التبخير والتكثيف ، الناتجين من تغير طور الماء بين البخار والسائل والحركة المصاحبة لتغير التركيز، لذلك سنركز على ذوبان بخار الماء في الهواء الجاف على مستوى خلايا التقطير شمسي ، و المبدأ واحد في كل أنواع المَقَطِّرَات .

II-4-2-1) أشكال انتقال الكتلة:

II-4-2-1-1) الانتشار الجزيئي : انتقال الكتلة بالانتشار الجزيئي هو تشابه مباشر لانتقال الحرارة بالتوصيل أو انتقال كمية الحركة في السريان الرقائقي . والانتشار الجزيئي يتم في مائع بحركة منتظمة في سريان رقائقي .

II-4-2-1-1-1) قانون "فيك" الأول (1^{er} loi de Fick) للانتشار الجزيئي :

معادلة الانتقال الوحيدة البعد لانتقال الكتلة بالانتشار الجزيئي هي تشابه مباشر لمعادلة انتقال الحرارة بالتوصيل في قانون "فوريه" الأول، وينص قانون "فيك" الأول على ما يلي :

التدرج في التركيز (كتلي C أو مولي C_{mol}) لمادة ذاتية بين نقطتين من الوسط المذيب يؤدي إلى انتقالها من النقطة الأكثر تركيز إلى النقطة الأقل تركيز (عكس اتجاه تدرج التركيز) ، و نعتبر المسافة الفاصلة بين النقطتين dx ومساحة سطح التبادل هي A نكتب معادلة القانون على الشكل التالي :

$$\left([m]_{SI} = Kg/s \text{ وحدته بـ} \right) \frac{dm}{dt} = \dot{m} \text{ بحيث التدفق الكتلي} \quad \frac{dm}{dt} = -D_c \cdot A \cdot \frac{dc}{dx} \quad (8 - 2)$$

ويسمى التدفق الكتلي و أيضاً بالتيار الكتلي (2 - 9)

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

II-4-1-2-1-2 أشكال الانتشارية الكتلية حسب استخدامها في قانون "فيك" الأول:

يوجد ثلاثة أشكال حسب شكل معادلة "فيك" الأولى . من الممكن استبدال التركيز بالضغط P_g في حالة المادة الذائبة الغازية (وباعتبارها غازا مثاليا) ، و لأن الضغط يؤدي كذلك لانتقال الكتلة من نقطة إلى أخرى. الشكل الأول هو D_c وهو معرف في الفقرة السابقة ، أما الشكل الثاني فيستعمل في الأوساط الغازية فقط، وهو D_{P_g} وتسمى الانتشارية الكتلية الموافقة لضغط الغاز الذائب P_g وحدتها $m^2 \cdot s$: $[D_{P_g}]_{SI} = m^2 \cdot s$ ، وهي ناتجة مما يلي:

$$P_g V = nRT = \frac{m}{M_g} RT \quad (10 - 2) \quad \text{علاقة ضغط الغاز المثالي بالتركيز هي:}$$

$$P_g = \frac{m}{V} \frac{R}{M_g} T \quad \text{هذا يعني:}$$

بحيث M_g الكتلة المولية للغاز محسوبة بـ: Kg/mol ، و ثابت الغازات المثالية $R = 8.314 J/mol \cdot K$ ، ومنه:

ضغط الغاز $P_g = C \frac{R}{M_g} T$ نعوض C في معادلة "فيك" فينتج :

$$\dot{m} = -D_c A \frac{d\left(P_g \frac{M_g 1}{R T}\right)}{dx} = -D_c \frac{M_g 1}{R T} \cdot A \frac{dP_g}{dx} = -D_{P_g} \cdot A \frac{dP_g}{dx} \Rightarrow D_{P_g} = D_c \frac{M_g 1}{R T} \\ \Leftrightarrow D_{P_g} = D_c \frac{1}{R_g T} \quad (11 - 2)$$

والشكل الثالث يستعمل في حالة الغازات والسوائل الذائبة وهو $D_{c(mol)}$ ، وتسمى الانتشارية الكتلية الموافقة للتركيز

المولي C_{mol} ، وحدتها $m^2 Kg/s \cdot mol$ ، وهي ناتجة مما يلي :

علاقة التركيز المولي C_{mol} بالتركيز الكتلي C : $C = \frac{m}{V} = \frac{nM_g}{V} = \frac{n}{V} M_g$ ، إذن $C = C_{mol} \cdot M_g$ ، نعوض C في معادلة "فيك" فينتج :

$$\dot{m} = -D_c A \frac{d(C_{mol} M_g)}{dx} = -D_c M_g \cdot A \frac{dC_{mol}}{dx} = -D_{c(mol)} \cdot A \frac{dC_{mol}}{dx} \Rightarrow D_{c(mol)} = D_c M_g \quad (12 - 2)$$

II-4-1-2-4-3) قانون "فيك" الأول في ثلاثة أبعاد :

يأخذ ثلاثة أشكال هي : (بجيث $\vec{\varphi}_m$ كثافة التدفق الكتلي $s \cdot Kg/m^2$) $[\vec{\varphi}_m]_{SI} = Kg/m^2 \cdot s$.

الشكل الأول : (2-13) $\vec{\varphi}_m = \frac{(dm)}{A} \vec{u} = -D_c \overrightarrow{grad}(C)$ ملاحظة: مع اعتبار الانتشارية

الكتلية ثابتة ولا تتعلق بالشكل الثاني : (2-14) $\vec{\varphi}_m = \frac{(dm)}{A} \vec{u} = -D_{Pg} \overrightarrow{grad}(P_g)$

بالموضع (x, y, z) و الزمن t و الضغط P_{solite} وكذلك درجة الحرارة T . الشكل الثالث : (2-15) $\vec{\varphi}_m = \frac{(dm)}{A} \vec{u} = -D_{c(mol)} \overrightarrow{grad}(C_{mol})$ //

II-4-1-1-2-4-4) قانون "فيك" الثاني (2^{ème} loi de Fick) للانتشار الجزئي (الشرح):

نفس الخطوات التي تمّت في إنشاء معادلة القانون الثاني ل"فوريه" في التوصيل الحراري مع استبدال درجة

الحرارة T بالتركيز الكتلي C (أو التركيز المولي C_{mol} أو الضغط P_n)، وينتج :

المعادلة في شكلها الأول وفي الحالة العامة: الشكل الأول : (2-16) $\frac{\partial C}{\partial t} = D_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$

الانتشارية D_c غير ثابتة. والتركيز الكتلي مرتبط بالشكل الثاني : (2-17) $\frac{\partial P_g}{\partial t} = D_{Pg} \frac{\partial^2 P_g}{\partial x^2}$

بالموضع $(x; y; z)$. الشكل الثالث : (2-18) $\frac{\partial C_{mol}}{\partial t} = D_{c(mol)} \frac{\partial^2 C_{mol}}{\partial x^2}$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \text{div}(C\vec{U}) - \text{div}(D_c \cdot \overrightarrow{grad}(C)) = 0 \quad (2-19)$$

في حالة $D_c = 0$ تسمى معادلة الانتشار في شكلها الأول بمعادلة الاستمرار (2-20) $\frac{\partial C}{\partial t} + \text{div}(C\vec{U}) = 0$

مع نفس الشكل تأخذه المعادلة في الأشكال الأخرى، بتغيير الانتشارية والكمون المحرك للكتلة.

II-4-1-1-2-4-5) معامل الانتقال الكتلي: ونعرف معامل الانتقال الحراري K في حالة $\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{-\Delta C}{-\Delta x}$ ، فيصبح التيار

الكتلي يعطى بـ :

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = D_c \cdot A \frac{\Delta C}{\Delta x} = K \cdot A \cdot \Delta C \quad (2-21)$$

II-4-1-1-2-4-6) المَقَاوِمَةُ الكَتَلِيَّة : تعرف المَقَاوِمَةُ الكَتَلِيَّة الناتجة من انتقال مادة ذائبة في مادة أخرى مذيبة بـ

مدى الإعاقة التي تحدث للتيار الكتلي $\frac{dm}{dt}$ أَلَمَار بين نقطتين بينهما فرق في التركيز ΔC ، وتفصل بينهما مسافة Δx

، وتعطى بما يلي :

$$dR_M = \frac{1}{D_c} \frac{dx}{A} \quad \text{وفي حالة مسافة تفاضلية :} \quad R_M = \frac{\Delta C}{\frac{dm}{dt}} = \frac{\Delta C}{D_c \cdot A \frac{\Delta C}{\Delta x}} = \frac{1}{D_c} \frac{\Delta x}{A} \quad (2-22)$$

إذن نعبّر عن المَقَاوِمَةُ بدلالة معامل الانتقال الكتلي بـ : $R_M = \frac{1}{K \cdot A}$ وحدتها : $\frac{Kg/m^3}{Kg/s}$ $[R_M]_{SI} = \frac{Kg/m^3}{Kg/s}$

وتُجمَع المَقَاوِمَات الكَتَلِيَّة على التسلسل والتوازي كما هو الحال في جَمْع المَقَاوِمَات الكَهْرَبَائِيَّة، ولتسهيل إنشاء

معادلات التوازن نستعين بالمخطط الكتلي للمقاومات (الدارة الكتلية) يشبه المخطط الكهربي (الدارة

الكهربية)، ويكون ما يلي : $R_{Méq} = \sum_{i=1}^N R_i$ في الجَمْع على التسلسل ، و $\frac{1}{R_{Méq}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N R_i}$ في الجَمْع على التوازي

، بجيث R_i هي المَقَاوِمَةُ الكَتَلِيَّة رقم i ، و $R_{Méq}$ المَقَاوِمَةُ المُكَافِئَة ، N عدد المَقَاوِمَات الكَتَلِيَّة.

II -4-2-1-2) الحمل الكتلي :

في الانتقال الكتلي بالحمل، تُنقل الكتلة (أو كمية المادة) مباشرة بالحركة الماكرووسكوبية (العينية) للمائع المُذاب. والحمل هو شكل من أشكال الانتقال السريع بالمُقارنة بالانتشار الجزيئي. وعند ترك المائع المُذاب يتحرك لوحده أو بفعل التيار الكتلي الناتج من زيادة ذوبان المادة، نسمي هذا النوع بالحمل الكتلي الطبيعي (الحُر)، لكن عند التأثير على المائع بقوة ستعطيه عملاً ميكانيكياً (مروحة - رج - ضخ - ...) نسمي الحمل بالحمل الكتلي القسري .

II / -4-2-1-2-1) معادلة الحمل الكتلي:

نعتبر مائع ذائب في وسط مذيب (مائع) ذو تركيز كتلي C_∞ في تماس مع سطح جسم صلب، مساحته A والتركيز الكتلي للمائع المذاب بجواره C_s ، سيحدث بين المائع المذيب والسطح الصلب تبادل كتلي للمائع المذاب (مُخ أو إدمصاص)¹، وينتقل تيار كتلي $\frac{dm}{dt}$ قيمته حسب قانون الحمل الكتلي: (23 - 2) $\frac{dm}{dt} = K \cdot A (C_\infty - C_s)$. بحيث K معامل الانتقال الكتلي السطحي أو معامل الحمل الكتلي، ويعبر عن فعالية الحمل في نقل الكتلة، و K يتناسب مع:

- (1) طبيعة المائع المذاب والمائع المذيب والسطح الصلب.
- (2) نمط سريان المائع (رقائقي أو اضطرابي) ، ويحدده رقم "رينولدز" و"جراشوف".
- (3) شكل وخشونة السطح الصلب .

وله نفس وحدة قياس معامل الانتقال الكتلي بالانتشار الجزيئي، وبجوار السطح الصلب تحدث ظاهرة الانتشار الجزيئي في طبقة رقيقة تدعى الطبقة الحدية الكتلية ، سمكها Δx يأخذ هذا السمك بمحاكاة قانوني الحمل الكتلي و "فيك" الأول: $\Delta x = \frac{D_c}{K}$ ، بحيث D_c الانتشارية الكتلية للمائع المذاب الموافقة للتركيز الكتلي .

II-4-2-1-2-2) حساب معامل الحمل الكتلي: يوجد كثير من العلاقات التجريبية التي تعطي قيمة لهذا المعامل، فالتحليل البعدي يعمم ويقارن بين النتائج التجريبية المحصل عليها في شروط خاصة. وتلك العلاقات تأخذ بدلالة أرقام بدون بُعد (بدون وحدة قياس) وهي ناتجة من التحليل البعدي، والعلاقة التي تربط بين الأرقام اللابعدية هي : $Sh = f(Gr, Sc)$ ، $Sh = f(Re, Sc)$ (أنظر الملحق الأول).

¹ الإدمصاص (adsorption): امتصاص سطح صلب لمائع . المص (désorption): عملية عكسية للإدمصاص.

II (3-4-3) انتقال كمية الحركة : [10][20]

II (1-3-4) تعريف انتقال كمية الحركة:

بعكس الكتلة التي تعرف بأنها كمية المادة المصاحبة لجسم ما، وهي ذات قيمة ثابتة في السكون (أو حتى السرعة الصغيرة أمام سرعة الضوء)، فكمية الحركة هي مقدار فيزيائي ديناميكي، يجمع بين كتلة وسرعة الجسم المتحرك، وتتغير بتغير الكتلة و السرعة (تناسب طردي)، وهي جداء الكتلة m والسرعة U :

$$\vec{P} = m \cdot \vec{U} \quad (24 - 2) \quad \text{تقاس بـ: } [P]_{SI} = Kg \cdot m/s$$

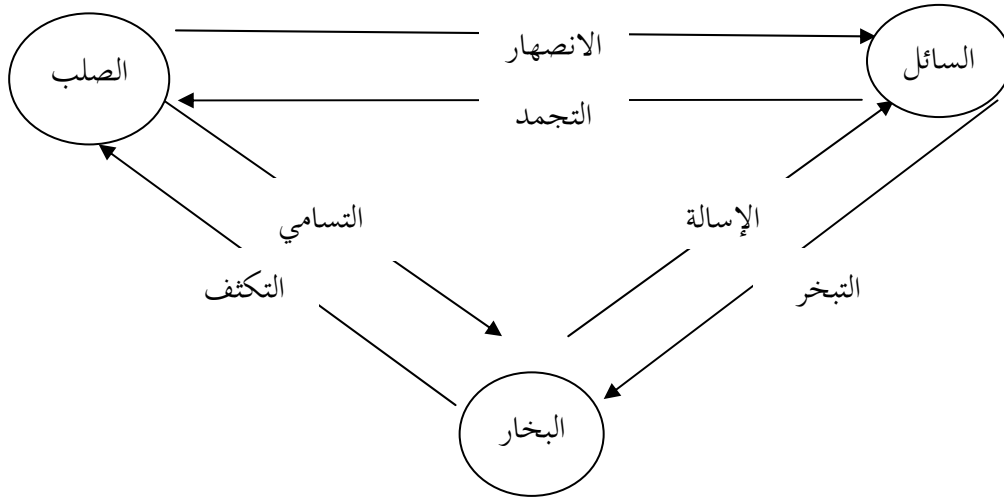
وكمية الحركة مقدار متجه (شعاعي) له نفس اتجاه السرعة.

وتسمى في بعض المراجع العربية بـ "الزخم".

II (5-5) تغير طور المادة

II (1-5-5) تعريفات ومفاهيم فيزيائية

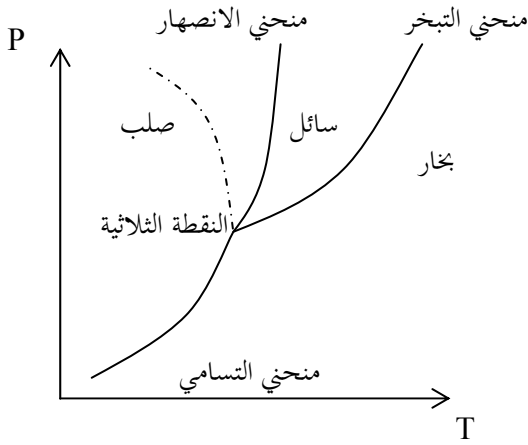
الطُّور (أو الحالة الفيزيائية) : تعريف الحالة هي كل جزء من جملة متجانس ومنفصل عن بقية الأجزاء بسطوح معلومة الحدود. والتعريف الفيزيائي يحدد عدد الحالات الفيزيائية للمادة بثلاثة، حالة صلبة وسائلة و غازية، والتحول بين هذه الحالات الثلاثة موضح في الشكل (II-4).



الشكل (II-4): تحولات الحالة الفيزيائية

التوازن بين طورين : عند التوازن يكون فيه تواجد لطورين معا، بحيث الضغط له علاقة بدرجة الحرارة فقط $P = f(T)$ (monovariant)، ويصبح عندها الطورين في حالة تشبع (état de saturation) ونشكل بالمعادلة

$P = f(T)$ منحنيات التشبع، وهي ثلاثة تقسم المستوي المشكل من الضغط ودرجة الحرارة إلى ثلاثة أجزاء كل جزء يخص طوراً من أطوار المادة حسب الشكل (5-II)



الشكل (5-II) : منحني الأطوار

الفيزيائية للأجسام المادية في الطبيعة

منحني الانصهار :

— مادة تنكمش عند التجمد

---- مادة تتمدد عند التجمد

د

(6-II) الظواهر الفيزيائية

(1-6-II) ظاهرة التبخير [9]

نعتبر حدوث ظاهرة التبخير بوجود الحُمل 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. و هي ظاهرة فيزيائية معقدة تحوي ظاهرتين أساسيتين ، الأولى حرارية و هي عملية التبخر ، و الثانية ميكانيكية و تتمثل في ظاهرة الغليان ، و تحتاج عملية التبخر لسائل يلامس سطح صلب ساخن له درجة حرارة أكبر من درجة حرارة السائل. ومنه ينقسم التبخير (évaporation) إلى عمليتين متزامنتين و هما :

1) العملية الأولى (حرارية) : و هي ظاهرة التبخر (vaporisation). حيث يتحول السائل إلى بخار

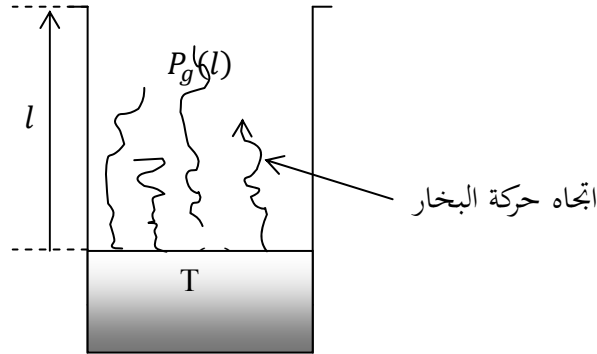
2) العملية الثانية (ديناميكية) : و هي ظاهرة الغليان (ébullition). حيث تتشكل فقاعات من البخار داخل وسط السائل.

و الغليان يحدث عندما يكون السطح الصلب مغمورا في السائل و تحت السطح الحر للسائل ، ونجد ثلاث أنواع من الغليان حسب درجة حرارة السطح الساخن بالنسبة لدرجة حرارة التشبع للسائل :

1. الغليان البَرْكِي (*pool boiling*): إذا كان درجة حرارة السطح الساخن أكبر من درجة حرارة التشبع للسائل عند الضغط المحدد في الدراسة فان العملية تسمى غليانا بركيا (كما أثبتته العالم Nukiyama سنة 1934).

2. الغليان المُشْبَع (*Bulk boiling*) : إذا كان درجة حرارة السطح الساخن مساوية لدرجة حرارة التشبع عند الضغط المحدد في الدراسة فتسمى العملية بالغليان المشبع.

3. الغليان الدوئي أو المحلي (*subcooled or local boiling*) : إذا كان درجة حرارة السطح الساخن أقل من درجة حرارة التشبع للسائل عند الضغط المحدد في الدراسة ، فتسمى غليانا محليا أو دونيا .



الشكل (6-II) : وعاء به ماء سائل تحت التبخير في غياب الحمل الكتلي والحارري.

2-6-II ظاهرة التكثيف "نظرية نوسالت"

و هي ظاهرة فيزيائية معاكسة لظاهرة التبخير ، و هي تنقسم إلى عمليتين : الأولى حرارية و هي عملية الإسالة ، و الثانية ميكانيكية و تتمثل في ظاهرة التقطير ، و تحتاج عملية التكثيف لسطح صلب بارد له درجة حرارة أقل من درجة حرارة البخار.

المفهوم 1 : عندما يلامس بخار نقي مشبع سطحاً بارداً ، وليكن سطحاً خارجياً لأنبوب مثلاً ، فإن هذا البخار تقع له إسالة ويكون نقطاً من السائل على سطح الأنبوب.

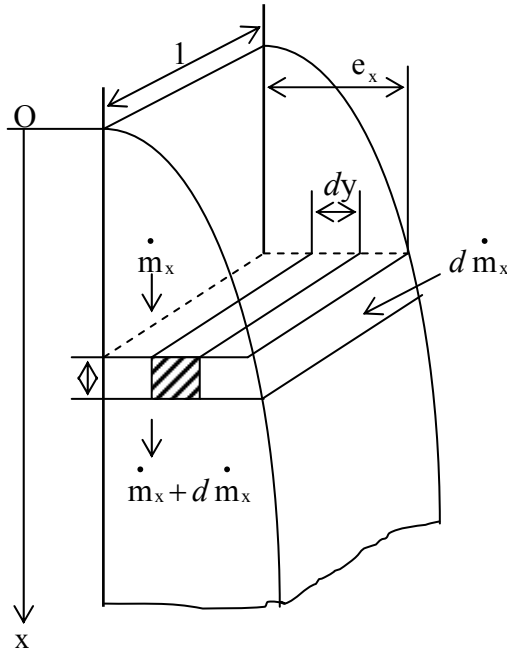
المفهوم 2 : و من المحتمل ألا تكون هناك التصاق لنقاط السائل على السطح البارد لذا فبدلاً من أن تنتشر النقاط على سطح الأنبوب تكون على هيئة غشاء من السائل ، نجد أنها تنزلق وتسقط تاركة سطحه المعدني مكشوفاً ، وهكذا أي إن السطح تتكون عليه نقاط متتابعة من البخار المكثف . وتسمى عملية التكثيف هذه بالتكثيف النقطي.

المفهوم 3 : وفي معظم الحالات سرعان ما يتكون غشاء تكثيفي يمكن تمييزه بوضوح ، في هذه الحالة فإن أي بخار إضافي يتجه نحو السطح البارد لا بد له إن يسال على الغشاء المتكثف (السائل الذي يغطي السطح) ، بدلاً من إن يتكثف مباشرة على سطح الأنبوب البارد. مثل هذه الآلية يطلق عليها آلية التكثيف الغشائي.

المفهوم 4 : ولا توجد علاقة فيزيائية بين آليتي التكثيف النقطي و التكثيف الغشائي وبين كمية البخار المتكثفة لكل وحدة مساحة من السطح البارد . وعليه فمن الخطأ الاعتقاد بأن التكثيف الغشائي هو مرحلة انتقالية من التكثيف النقطي.

فرضيات : التكثيف بجوار صفيحة مستوية طولها L . [21]

- (1) نعتبر البخار بخار نقي تماما، وفي حركة مستقرة ومشبع في درجة حرارة $T(sat)$ وتحت ضغط P_{WV} .
- (2) درجة حرارة T_p ثابتة على مستوى سطح الصفيحة .
- (3) طبقة الماء السائل تتحرك إلى أسفل بفعل قوة الجاذبية الأرضية، وتكون هذه الطبقة رقيقة (قشيرية (pelliculaire
- (4) سريان الماء السائل المكثف ذو نمط رقائقي .
- (5) يجرر البخار المكثف حرارة لاتونية، والسائل المُشكَّل يبرد تحت درجة حرارة أقل من $T(sat)$. والحرارة تكتسبها الصفيحة بالتوصيل فقط وتنتقل عبر الطبقة القشيرية.



الشكل (7-II) : الطبقة القشيرية للماء السائل

II-7- (6) الإشعاع الشمسي

II-7-1) الشمس : الشمس هي نجم كروي الشكل، مادته من البلازما (مادة متأينة كلياً) له ضغط يتناقص من المركز إلى السطح الخارجي، وفي السطح يتفاعل الهيليوم تفاعلاً حرارياً-نووي (He أو جسيمات α)، وينتج عنه طاقة معظمها إشعاع كهرومغناطيسي، تتوزع وتنتشر في مجال كبير لطول الموجات $m \in [10^{-10}, 10^4]$ ، والطاقة المشعّة حوالي $Q_s = 3,8 \cdot 10^{26} W$ ، وهي ثابتة على مدى عشرات السنين الشمس لها قطر متوسط يساوي $2R_s = 1,39 \cdot 10^9 m$ (أطول من قطر الأرض)، وكتلة في حدود $m_s = 2 \cdot 10^{30} Kg$ (333432 مرة من كتلة

الأرض) وكثافة متوسطة $1,41 \cong 3,88$ مرة أقل من كثافة الأرض)، وتدور الشمس حول نفسها في 27 يوما أرضيا، وتحتل موقعا وسطا في مجرة درب التبانة¹ من حيث بعدها عن مركز وحدود المجرة.

ويوجد نوعان من الإشعاع الشمسي، حيث يكون لهما علاقة بتطبيقات الطاقة الشمسية و استعمالهما :

1/ الإشعاع المباشر: وهو جزء من الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض، حيث أنه لا يتأثر بعوامل الإمتصاص و الإنتشار.

2 / الإشعاع المنتشر : وهو جزء من الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض بعد تعرضه لعوامل الانعكاس و الانكسار.

3 / الإشعاع الكلي : يكون الإشعاع الشمسي الكلي الواصل إلى سطح الأرض مجموع الإشعاعين المباشر و المنتشر [22].

II-7-2) الأرض : كوكب الأرض نعتبره كروي الشكل محاط بغلاف جوي، ومتأثر بضغط الهواء المتناقص مع

الارتفاع عن سطح البحر. و الأرض ذات قطر $2R_{terre} = 12752293m$ ، وكتلة $m_{terre} = 6.10^{24}Kg$ وكثافة

5,51. والأرض لها حركة معقدة فهي تدور حول نفسها في 23 ساعة و 56 دقيقة و 4 ثوان و $100\backslash 91$ بسرعة زاوية

تقارب $5,5.10^{-5}rad/s$ وحول الشمس في 365 يوم و 9 ساعات و 10 دقائق، بسرعة زاوية $7,3.10^{-5}rad/s$ محور

القطبين (الشمالي و الجنوبي) مائلين بزاوية $2,45^\circ$ بالنسبة لناظم المدار الإهليجي.

نصف قطر دوران المدار الإهليجي r الذي تصنعه حركة الأرض حول الشمس :

$$r = a \frac{1-e^2}{1+e.\cos\theta} \quad \text{بحيث : } a = 1,50.10^{11}m \text{ ، والمسافة المتوسطة ، و } e = 0,017 \text{ الانحراف عن مركز المدار.}$$

II-7-3) المعالم الفضائية لتحديد موقع الشمس

لتحديد موقع الشمس نستعمل معلم أرضي أول \mathcal{R} مرتبط بمركز الأرض، ومعلم أرضي ثانٍ \mathcal{R}' مرتبط بالمنطقة قيد

الدراسة، فيكون لدينا ثلاثة نقاط في الفضاء مركز الأرض نرسم له بـ " O " ، والشمس (نعتبرها نقطة لبعدها عن الأرض) نرسم لها بـ " S " ، والمنطقة قيد الدراسة بـ " M " .

وللربط بين النقاط الثلاث نحتاج إلى 6 زوايا في معلمين للإحداثيات الكروية الأول $\mathcal{R}(x,y,z)$ والثاني $\mathcal{R}'(x',y',z')$.

الزوايا المحددة للمواضع النسبية للنقاط الثلاثة موضحة في الشكل (II-8) والمتمثلة في:

¹ مجرة درب التبانة : (المجرة التي تنتمي لها المجموعة الشمسية المحلية)

* زاوية ميل الشمس δ : هي الزاوية التي يصنعها الخط الواصل من مركز الأرض الى مركز الشمس مع خط الاستواء [8] تنعدم الزاوية في الاعتدالين (الربيعي : 21 مارس و الخريفي : 23 سبتمبر) بينما $\delta = -23,45$ في الانقلاب الشتوي (22ديسمبر) و $\delta = +23,45$ في الانقلاب الصيفي(22جوان) [23] تعطى زاوية الانحراف بالمعادلة التالية

$$\delta = 23,45 \sin(0,980(n_j + 284)) \quad (25.2)$$

* زاوية الساعة الشمسية (الزاوية الزمنية) ω : زاوية الساعة الشمسية تعين بالدوران المنتظم للأرض حول محورها القطبي، اذن يوجد ارتباط مباشر للتوقيت الشمسي الحقيقي الذي يكون متغير اساسي يسمح بالحساب الصحيح للاحداثيات الزاوية للشمس [24].

$$\omega = \frac{360}{24}(TSV - 12) \quad (26.2)$$

* زاوية الارتفاع الشمس h' : هي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين نقطة على سطح الأرض و مركز الشمس والافق الذي تمر فيه النقطة على الأرض، هذه الزاوية تساوي صفر عند غروب و شروق الشمس وتأخذ القيمة العظمى عند وقت الزوال. إذا نكتب العلاقة التالية

$$\sin(h') = \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega \quad (27.2)$$

* زاوية السميت الشمسي Ψ : هي الزاوية المحصورة بين الخط المار في النقطة على سطح الأرض و المتجه جنوبا بين المسقط الافقي للخط الواصل بين النقطة و الشمس [8]، هذه الزاوية تكون موجبة إذا كانت متجهة نحو الغرب.

$$\sin(\Psi) = \frac{\cos\delta \cdot \sin\omega}{\cosh'} \quad (28.2)$$

* زاوية خط الطول λ' : هي الزاوية التي يصنعها خط الطول المار بالمنطقة مع خط الطول المار بخط غرينتش، والذي نعتبره خط الصفر و نقرأ الزاوية موجبة شرقا و سالبة غربا [8].

* زاوية دائرة العرض φ : هي زاوية تُحدد موقع النقطة على سطح الأرض حيث تعرف بأنها الزاوية المحصورة بين الخط الواصل إلى مركز الأرض و موضع النقطة على سطح الأرض مع مستوى خط الاستواء.

* سميت الرأس θ_s : هي زاوية متممة للارتفاع الشمسي أي : $\theta_s = 90^\circ - h'$ ، و $\cos\theta_s = \sinh'$.

الزاوية الزمنية الأعظمية ω_{max} : توافق انعدام قيمة الارتفاع الشمسي (عند الشروق والغروب):

$$\omega_l = \omega_{max} = \arctg(-tg\delta \ tg\varphi) \quad \text{عند الشروق:}$$

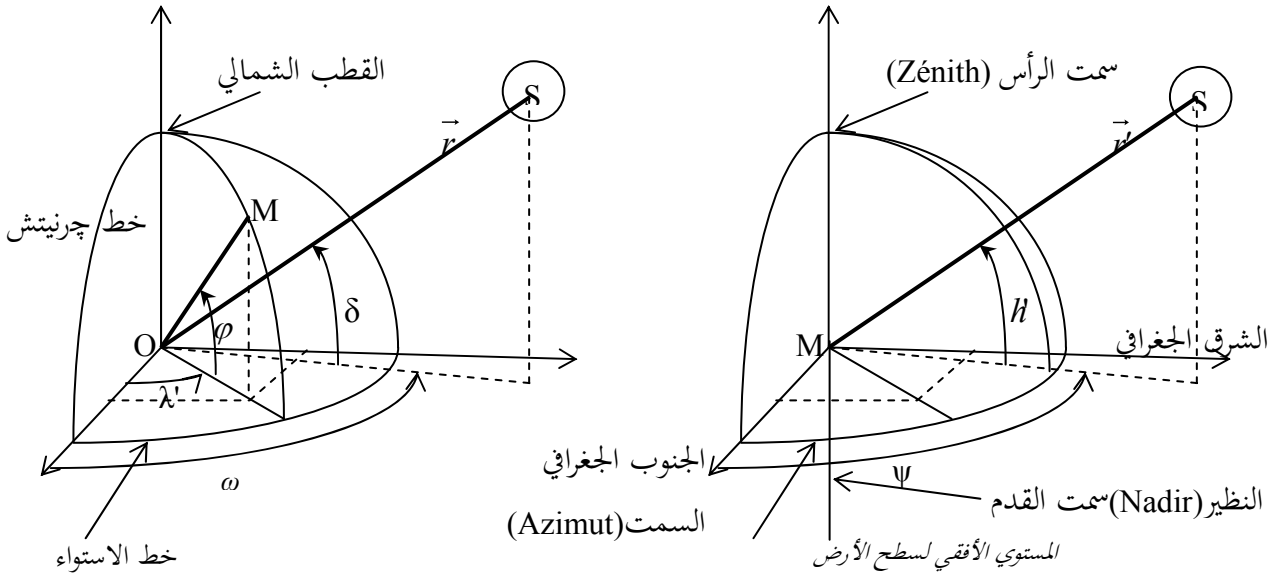
$$\omega_c = -\omega_{max} = -\arctg(-tg\delta \ tg\varphi) \quad \text{عند الغروب:}$$

$$H_l = 12 - \left(\frac{\omega_{max}}{15}\right) \quad \text{توقيت الشروق } H_l \text{ : لحظة شروق الشمس}$$

$$H_c = 12 + \left(\frac{\omega_{max}}{15}\right) \quad \text{توقيت الغروب } H_c \text{ : لحظة غروب الشمس}$$

$$S_0 = H_c - H_l = 2 \left(\frac{\omega_{max}}{15}\right) \quad \text{المدى النهاري } S_0 \text{ : هي المدة بين الشروق والغروب}$$

ملاحظة : العدد 15 هو 15 درجة لكل ساعة عند التحرك (شرق-غرب) على نفس دائرة العرض، أي 1 درجة لكل 4 دقائق، أي مسافة 111 كم (شرق-غرب) لكل درجة عند دائرة خط الاستواء $\varphi = 0$ ، و 96 كم عند دائرة العرض المارة عبر مدينة ورقلة $\varphi = 30,75^\circ$.



1- معلم أرضي أول $\mathcal{R}(x, y, z)$ مرتبط بالأرض
 2- معلم أرضي ثان $\mathcal{R}'(x', y', z')$ مرتبط بالمنطقة المدروسة
 الشكل (8-II): الزوايا الستة (φ, λ') ، (ω, δ) ، (h, ψ) المحددة للمواضع النسبية للنقاط الثلاثة في الفضاء

[6] (1-8-II) الهواء الرطب

في الحالة العامة هو مزيج من الهواء الجاف والماء بثلاث حالات (بخار-سائل-جليد)، ونعرف كتلة الهواء الرطب كما

$$m_{ah} = m_{wv} + m_{wl} + m_{ws} + m_a \quad (29.2) \quad \text{يلي}$$

$$m_w = m_{wv} + m_{wl} + m_{ws} \quad (30.2) \quad \text{وكتلة الماء}$$

بحيث :

m_{ah} : الكتلة الإجمالية للهواء الرطب.

m_w : الكتلة الإجمالية للماء.

m_{wv} : كتلة بخار الماء الذائب في المزيج .

m_{wl} : كتلة سائل الماء المعلق في المزيج.

m_{ws} : كتلة الجليد و الثلج المعلقة في المزيج .

m_a : كتلة الهواء الجاف.

وفي حالة الماء يكون على حالته الغازية (بخار ماء) فقط يصبح لدينا:

$$m_{ah} = m_{wv} + m_a \quad (31.2)$$

$$m_{wl} = m_{ws} = 0 \quad \text{بحيث}$$

وهي حالة الهواء الرطب في التقطير، يكون وسط خلية التقطير عبارة عن مزيج من بخار الماء الذائب في الهواء الجاف ولدراسة انتقال الحرارة في هذا الوسط ندرس انتقال الكتلة وكذلك انتقال الحرارة المصاحب لها بين نقطتي التبخير و التكثيف.

II-8-2) الهواء الجوي

حسب منظمة الطيران المدني الدولية. L'organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) تعرف

الهواء الجوي الجاف كما يلي:

(1) الهواء يعتبر غاز مثالي ويخضع لقوانين الغازات المثالية.

(2) الرطوبة موجودة لكنها مهملة .

(3) الثوابت الفيزيائية كالتالي :

$$m_a = 28,9644g/mol \quad \text{الكتلة المولية}$$

$$P_{atm} = 10132,5pa \quad \text{الضغط الجوي على مستوى البحر}$$

$$T_a = 15^\circ C \quad \text{درجة الحرارة على مستوى البحر}$$

$$\rho_a = 1,225Kg/m^3 \quad \text{الكتلة الحجمية على مستوى البحر}$$

$$R = 8,31432 J/K.mol \quad \text{ثابت الغازات المثالية}$$

II-8-1-1) مقادير خاصة بالهواء الرطب

II-8-1-1-1) الرطوبة المطلقة r^s

تعريف : و تسمى الرطوبة النوعية و هي حاصل قسمة كتلة بخار الماء m_{wv} المحتوية في حجم V على كتلة الهواء

الجاف m_a في نفس الحجم من الهواء الرطب و تعطى بالعلاقة التالية :

$$r^s = \frac{m_{wv}}{m_a} = \frac{\rho_{wv}.V}{\rho_a.V} = \frac{287,05}{461,51} \cdot \frac{P_{wv}}{(P_{ah}-P_{wv})} \quad (32.2)$$

$$r^s = 0,622 \cdot \frac{P_{wv}}{(P_{ah}-P_{wv})}$$

$$[r^s]_{SI} = (Kg \text{ d'eau} / Kg \text{ d'air sec})$$

الرطوبة المطلقة لها قيمة عظمى في حالة التشبع حيث تكون كتلة البخار أعظمية، والضغط الناتج منها أعظمي
 : $m_{wv}(sa)$ ، قيمة الرطوبة عندها تساوي :

$$r^s(sat) = 0,622 \cdot \frac{P_{wv}(sat)}{(P_{ah} - P_{wv}(sat))} \quad (33.2)$$

II-8-1-1-2) الرطوبة النسبية $\bar{\Psi}$

تعريف : وهي حاصل قسمة الضغط الجزئي لبخار الماء P_{wv} على ضغط البخار في حالة التشبع $P_{wv}(sat)$ في

$$\bar{\Psi} = \frac{P_{wv}}{P_{wv}(sat)} \quad (34.2) \quad \text{نفس درجة الحرارة:}$$

II-8-1-1-3) درجة التشبع Γ

تعريف : هي النسبة بين الرطوبة المطلقة للهواء r^s و الرطوبة النسبية للهواء المشبع $r^s(sat)$ في درجة حرارة T

$$\Gamma = \frac{r^s}{r^s(sat)} = \frac{0,622 \cdot \frac{P_{wv}}{(P_{ah} - P_{wv})}}{0,622 \cdot \frac{P_{wv}(sat)}{(P_{ah} - P_{wv}(sat))}} \quad (35.2)$$

$$\Gamma = \frac{P_{wv}}{P_{wv}(sat)} \frac{(P_{ah} - P_{wv}(sat))}{(P_{ah} - P_{wv})}$$

هذا الفصل يتضمن مختلف الظواهر الفيزيائية التي يمكن أن تحدث بشكل مباشر أو غير مباشر في عملية التقطير، و
 بعض العوامل التي تؤثر في التقطير بشكل عام، حيث أعطينا تعريفات للتدفقات الحرارية التي يتردد ذكرها عبر كامل
 الأطروحة

الفصل الثالث

التوازن الحراري في المقطر الشمسي البسيط

يحتوي هذا الفصل على مختلف معادلات التوازن الحراري و الكتلي
الداخلة في عملية التقطير و المتمثلة في

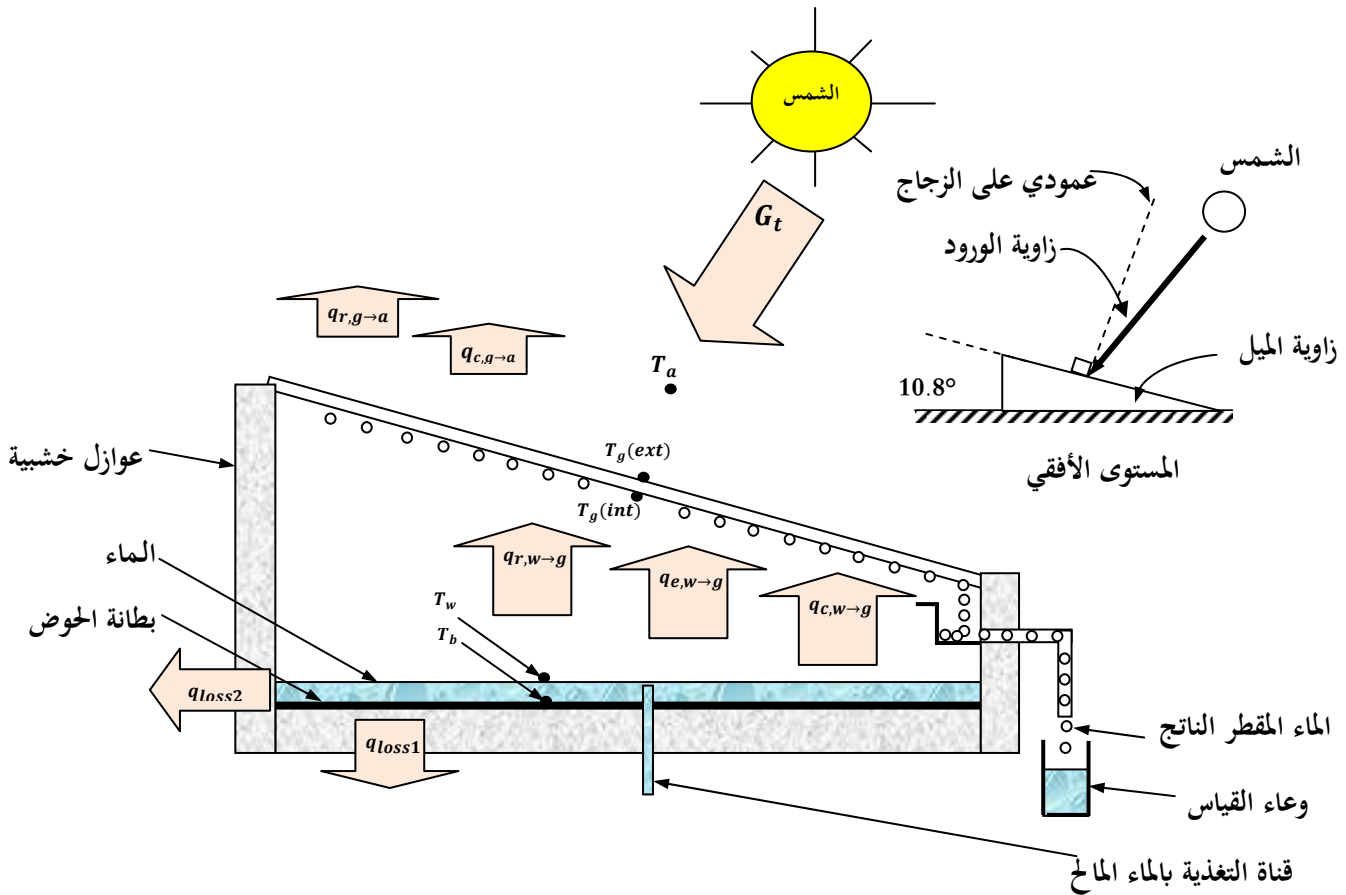
- معادلة حفظ الطاقة حول الزجاج (g (glass)
 - معادلة حفظ الطاقة حول الماء (w (water)
 - معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود الماص للحرارة (b (black)
-

1-III مقدمة

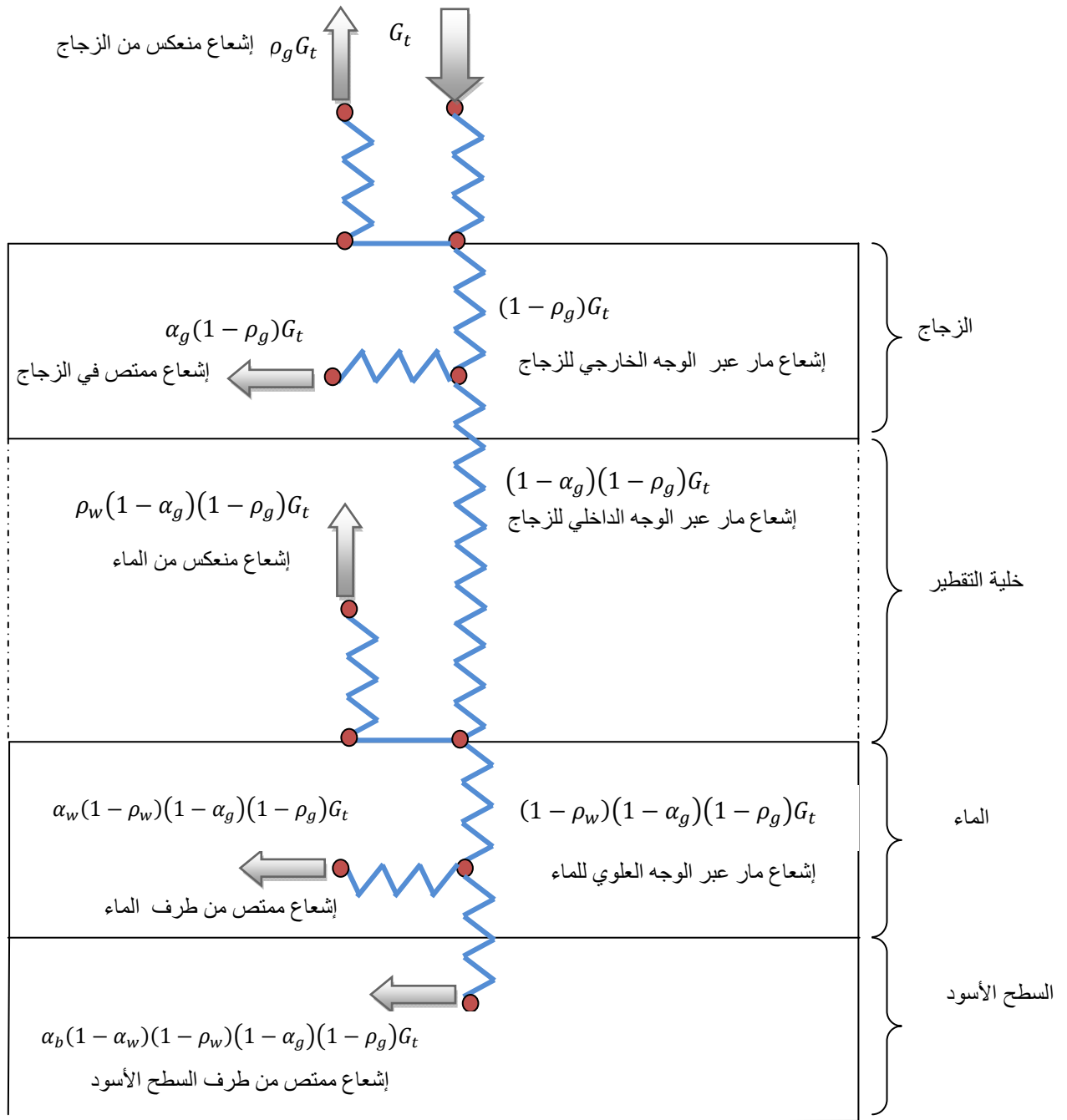
إن العلاقات التي تربط بين انتقال الحرارة والكتلة تعطينا فكرة عن الظواهر الفيزيائية التي تحدث في المَقَطَّر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد وعن مبدأ عمله، وتأثير العوامل الخارجية والداخلية في إنتاجه للماء المَقَطَّر مرتبطة ببعضها البعض، ولتفسير تلك الظواهر نستخدم علي المعادلات الأساسية (معادلة حفظ الكتلة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

2-III التدفقات الحرارية في المَقَطَّر

تنقسم التدفقات الحرارية إلى نوعين خارجية وداخلية وهي موضحة في الشكلين (1-III) و(2-III)



الشكل (1-III): رسم تخطيطي للتدفقات الحرارية على المقطر الشمسي



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

III-2-1) التدفقات الحرارية الخارجية

- ❖ G_t : شدة الإشعاع الشمسي الحراري الساقط على السطح المائل لغطاء المقطر (زجاج مائل بزاوية θ) مأخوذ بـ $\dots \frac{W}{m^2}$ وفي معظم المراجع يسمى الإشعاع المباشر الناظمي على السطح المائل بزاوية θ ، ويسمى في المراجع المتخصصة في الإشعاع الاستنارة الأرضية (Luminance).
- ❖ $\rho_g G_t$: مقدار الإشعاع الحراري المنعكس بفعل السطح الخارجي للغطاء، بحيث يساوي الإشعاع الساقط مضروب في معامل الانعكاسية ρ_g للغطاء.
- ❖ التدفقات الحرارية الضائعة من المقطر بين الغطاء الزجاجي والهواء، وذلك بالإشعاع والحمل تعطى حسب [25][12] بالعلاقات التالية :

$$Q_{r,g-a} = \varepsilon_g \cdot \sigma \cdot (T_{g(ext)}^4 - T_{sky}^4) = 0,9 \cdot \sigma \cdot (T_{g(ext)}^4 - T_{sky}^4) \quad (1.3)$$

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

T_{sky} درجة الحرارة الفعلية للقبة السماوية تعطى بالعلاقة التالية :

$$T_{sky} = T_a - 6 \quad (2.3)$$

$$Q_{c,g-a} = h_{c,g-a} \cdot (T_{g(ext)} - T_a) \quad (3.3)$$

حيث : $h_{c,g-a}$ معامل الإنتقال الحراري بالحمل بين الغطاء الزجاجي والهواء يعطى حسب [7] بالعلاقة التالية :

$$h_{c,g-a} = 2,8 + 3 \cdot V \quad \text{عندما } V \leq 5 \text{ m/s} \quad (4.3)$$

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

حيث : V تمثل سرعة الرياح

III-2-2) التدفقات الحرارية الداخلية

❖ $Q_{r,w-g}$: التدفق الحراري بالإشعاع بين الماء المالح w والجدار الداخلي للغطاء g ويعطى حسب [26][27] بـ

$$Q_{r,w-g} = \varepsilon_w \cdot \sigma \cdot (T_w^4 - T_{g(int)}^4) = 0,9 \cdot \sigma \cdot (T_w^4 - T_{g(int)}^4) \quad (5.3)$$

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

❖ $Q_{c,w-g}$: التدفق الحراري بالحمل بين الماء المالح والجدار الداخلي للغطاء ويعطى حسب [28][29] بالعلاقة :

$$Q_{c,w-g} = h_{c,w-g} (T_w - T_{g(int)}) \quad (6.3)$$

حيث $h_{c,w-g}$ معامل الحمل الحراري بين الماء والغطاء الزجاجي ويعطى حسب [25] بالعلاقة :

$$h_{c,w-g} = 0,884 \left[(T_w - T_{g(int)}) + \frac{(P_w - P_{g(int)})(T_w + 273,15)}{268,9 \cdot 10^3 - P_w} \right]^{1/3} \quad (7.3)$$

P_w و $P_{g(int)}$.. ضغط البخار عند الماء والغطاء الزجاجي على الترتيب ويعطى حسب [30] بالعلاقة :

$$P(T) = \exp \left(25,317 - \frac{5144}{T + 273,15} \right) \quad (8.3)$$

❖ $Q_{ev,w-g}$ الحرارة بالتبخير بين الماء والغطاء الزجاجي وتعطى حسب [28][29] بالعلاقة :

$$Q_{ev,w-g} = h_{ev,w-g} (T_w - T_{g(int)}) \quad (9.3)$$

حيث $h_{ev,w-g}$ معامل الانتقال الحراري بالتبخير بين الماء والغطاء الزجاجي ويعطى حسب [28][29] بالعلاقة

$$h_{ev,w-g} = 16,273 \cdot 10^{-3} h_{c,w-g} \frac{P_w - P_{g(int)}}{T_w - T_{g(int)}} \quad (10.3)$$

❖ $Q_{c,b-w}$ التدفق الحراري بالحمل بين الماء المالح وبطانة الحوض ويعطى حسب [30] بالعلاقة :

$$Q_{c,b-w} = h_{c,b-w} \cdot (T_b - T_w) \quad (11.3)$$

حيث $h_{c,b-w}$ معامل الحمل الحراري بين الماء وبطانة الحوض ويعطى حسب [31] بالعلاقة :

$$h_{c,b-w} = 0,54 \cdot \frac{K_w \cdot Ra_w^{1/4}}{L_w} \quad \text{عندما } Ra = 10^4 - 10^7 \quad (12.3)$$

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

حيث Ra رقم رايلي

❖ $(1 - \alpha_g)(1 - \rho_g)G_t$: التدفق الحراري المار عبر الغطاء إلى الماء، حيث α_g الإمتصاصية الإشعاعية و ρ_g

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

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

❖ ويستقبل هذا التدفق من طرف الماء ذو الامتصاصية الإشعاعية α_w ، والانعكاسية الإشعاعية ρ_w . وينتج لنا

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

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

- ❖ ويتم مرور المقدار الإشعاعي $G_t(1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_w)(1 - \alpha_w)$ عبر الماء .
- ❖ $G_t(1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_w)(1 - \alpha_w)\alpha_b$ إشعاع الممتص من طرف السطح الأسود .
- ❖ Q_{loss1} و Q_{loss2} : التدفق الحراري الضائع عبر السطح الأسود والعوازل على الترتيب ويعطى حسب [26][29] بالعلاقات :

$$Q_{loss1} = U_{b1}(T_b - T_a) \quad (13.3)$$

.. حيث معامل الضياع U_{b1}

$$U_{b1} = \left(\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{1}{h_i} \right)^{-1} \quad (14.3)$$

$$Q_{loss2} = U_{b2}(T_b - T_a) \quad (15.3)$$

.. حيث معامل الضياع U_{b2}

$$U_{b2} = \left(\frac{e_4}{k_4} + \frac{e_5}{k_5} + \frac{1}{h_i} \right)^{-1} \quad (16.3)$$

جدول (III-1) : تصنيف أنواع المواد المستعملة في المقطرات الشمسية والموضحة في المعادلات (14.3)، (16.3)

الرمز	نوعية المادة	السُمْك e	التوصيلية الحرارية λ
1	طبقة ألومنيوم مطلية بصباغ أسود غير براق (السطح الأسود).	$e_1 = 3 \text{ mm}$	$\lambda_1 = 204 \text{ W/m.K}$
2	طبقة من البوليستران العازل.	$e_2 = 40 \text{ mm}$	$\lambda_2 = 0.037 \text{ W/m.K}$
3	طبقة ألومنيوم مطلية بصباغ أبيض غير براق.	$e_3 = 3 \text{ mm}$	$\lambda_3 = 204 \text{ W/m.K}$
4	طبقة ألومنيوم ذات لون براق من الجهات الجانبية الثلاث.	$e_4 = 0.01 \text{ mm}$	$\lambda_4 = 204 \text{ W/m.K}$
5	طبقة من الخشب الأحمر المقاوم للماء.	$e_5 = 40 \text{ mm}$	$\lambda_5 = 0.23 \text{ W/m.K}$

ملاحظة : في كل التجارب لدينا مقطرين نسمي المقطر الأول بالمقطر (1) وهو مقطر بدون أي تحسينات أو إضافات ودوره في التجارب كشاهد ولكي نقارن به من حيث إنتاجية الماء المقطر ونسمي المقطر الثاني بالمقطر (2) وهو مقطر الذي به تحسينات و إضافات الهدف منها زيادة مردود المقطر الشمسي البسيط من حيث الإنتاج اليومي للماء المقطر ، وحدة كل طرف من معادلات حفظ الطاقة للمستويات هي $[W/m^2]$.

III-3) التوازن الحراري على مستويات أجزاء المقطر

في الحالة البسيطة يتركب المقطر من ثلاث مستويات :

❖ **المستوي الأول:** الغطاء (زجاج أو بلاستيك).

❖ **المستوي الثاني:** هو الماء المعرض للتبخير.

❖ **المستوي الثالث:** هو السطح الأسود (ذو اللون الأسود) والمصاص للإشعاع الحراري.

وهذا التقسيم ناتج من التدرج في درجة الحرارة بين هذه المستويات. ففي كل مستوى نحسب مجموع التدفقات الداخلية ومجموع التدفقات الخارجية من المستوي، ونساوي بين المجموعين فنحصل على معادلة التوازن الحراري في كل مستوى، وهذا تبعا لمبدأ التماثل بين انتقال الحرارة وانتقال الشحن الكهربائية، فقانون كيرشوف للعقد ينص على أن:

(مجموع التيارات الداخلة = مجموع التيارات الخارجة) من العقدة.

III-3-1) معادلات حفظ الطاقة للمقطر (1) لكل مستوياته:

III-3-1-1) معادلة حفظ الطاقة حول الغطاء الزجاجي g

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

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

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

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

ومنه معادلة التوازن الحراري هي :

$$m_g C_g \frac{dT_g}{dt} = (1 - \rho_g) \alpha_g G_t + (Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g}) - Q_{r,g-a} - Q_{c,g-a} \quad (17.3)$$

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

III-3-1-2) معادلة حفظ الطاقة حول الماء w

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

يتمتع الماء المالح w الإشعاع المقدر بـ $\alpha_w(1 - \rho_w)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_g)G_t$

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

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

تضيع حرارة باتجاه الجدران Q_{lose2} .

ومنه معادلة التوازن الحراري هي:

$$m_w C_w \frac{dT_w}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_w)\alpha_w G_t - (Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g}) \frac{A_g}{A_w} + Q_{c,b-w} - Q_{loss2} \quad (18.3)$$

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

III-3-1-3) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الماص للحرارة b

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

يمتص السطح الأسود b الإشعاع المقدر بـ: $\alpha_b(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_g)G_t$ ،

ويفقد حرارة بالحمل إلى الماء بالمقدار $Q_{c,b-w}$ وتضيع حرارة عبر العوازل بالمقدار Q_{lose1} ..

وتكون معادلة التوازن الحراري بالشكل التالي :

$$m_b C_b \frac{dT_b}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)\alpha_b G_t - Q_{c,b-w} - Q_{loss1} \quad (19.3)$$

III-3-1-4) قيمة التدفق الكتلي للماء المقطر تعطى بالعلاقة التالية

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m} = \frac{Q_{ev,w}}{H_w} \quad (20.3)$$

حيث H_w الحرارة الكامنة للتبخير الخاص بالماء تعطى حسب [25] بالعلاقة:

$$H_w = (h_{vapor} - h_{liquide})_{T_{moy}} \quad (21.3)$$

حيث $(h_{vapor} - h_{liquide})$ هو الفرق في الأنتالبي الخاصة بالماء من حالة التشبع للبخر لحالة التشبع عند السائل

عند درجة الحرارة المتوسطة T_{moy} التي تساوي $(T_w + T_g)/2$

III-3-2) معادلات حفظ الطاقة لمستويات المقطر (2) حسب كل التجربة:

III-3-2-1) الإجراءات المتبعة: تعتمد هذه الدراسة على ستة تجارب مقسمة إلى مجموعتين

المجموعة الأولى : تحوي ثلاث تجارب (تجربة 1 - تجربة 2 - تجربة 3) و يتم وضع مبخر المضخة (أنبوب ملتف من النحاس) فوق مكثف المقطر (الزجاج g) و ينجم عن ذلك تشكل ظل مساحته S_{omb} ، حيث عبارة الإشعاع الفعال G_{eff} المار عبر السطح الفعال S_{eff} هي كالتالي :

S_t : المساحة الكلية ، S_{omb} : مساحة سطح الظل ، S_{eff} : مساحة السطح الفعال

$$S_{eff} = S_t - S_{omb} ; S_{omb} = n L d ; S_t = L^2 \quad (22.3)$$

L : الطول الفعلي الأنبوب في كل لفة d : عرض ظل الأنبوب

n : عدد لفات الأنبوب في مبخر المضخة.

و منه يصبح الإشعاع الشمسي المار بهذه المساحة يحسب بالعلاقة التالية و يسمى بالإشعاع الشمسي الفعال

$$G_{eff} = \frac{S_{eff}}{S_t} \cdot G_t \quad (23.3)$$

و تختلف التجارب الثلاثة في كيفية استغلال الحرارة Q_H المنتجة من طرف مكثف المضخة.



الشكل (III-3): يوضح طريقة ربط مبخر المضخة بخلية التقطير (مجموعة الأولى)

تجربة 1 : التبريد القسري لمكثف المضخة بمروحة هوائية.

تجربة 2: تبريد طبيعي لمكثف المضخة بمياه التغذية (تسخين أولى لمياه التغذية بـ Q_H) مع وجود ضياع للحرارة في أنبوب التوصيل Q_{loss3} .

تجربة 3: تبريد طبيعي لمكثف المضخة بمياه المقطر (استرجاع كلي للحرارة Q_H).

المجموعة الثانية: تحوي ثلاث تجارب (تجربة 4 – تجربة 5 – تجربة 6) ويتم وضع مبخر المضخة (أنبوب ملتف من النحاس داخل أنبوب بلاستيكي قطره $110mm$) موصول بخلية التقطير من الخلف بأربع أنابيب ذات قطر $110mm$. حسب الشكلين :



الشكل (III-4) : يوضح طريقة ربط مبخر المضخة بخلية التقطير (مجموعة الثانية)

و تختلف التجارب الثلاثة في كيفية استغلال الحرارة Q_H المنتجة من طرف مكثف المضخة.

تجربة 4 : التبريد القسري لمكثف المضخة بمروحة هوائية.

تجربة 5 : تبريد طبيعي لمكثف المضخة بمياه التغذية (تسخين أولى لمياه التغذية بـ Q_H) مع وجود ضياع للحرارة في أنبوب التوصيل Q_{loss3} .

تجربة 6 : تبريد طبيعي لمكثف المضخة بمياه المقطر (استرجاع كلي للحرارة Q_H).

III-2-2-3) التوازن الحراري في المستويات الحرارية للمضخة الحرارية :

- الحرارة المنتقلة من مكثف المقطر إلى مبخر المضخة :

$$|Q_L| = h_1 - h_4 = h_1 - h_3 \quad (24.3)$$

- الحرارة المنتقلة من مكثف المضخة إلى الهواء في التجربة الأولى و إلى ماء التغذية في التجربة الثانية و إلى مبخر المقطر في التجربة الثالثة :

$$|Q_H| = h_2 - h_3 \quad (25.3)$$

- العمل المقدم إلى المضخة :

$$|W| = |Q_H| - |Q_L| \quad (26.3)$$

III-2-3-3) التوازن الحراري في المستويات الحرارية لخلية التقطير حسب كل تجربة للمجموعة الأولى:

- الملاحظة 1 :** تشترك التجارب الأولى والثانية والثالثة في معادلة حفظ الطاقة حول الغطاء الزجاجي g ، و تختلف عن المقطر (1) في قيمة الإشعاع الشمسي الممتص حيث في حالة المقطر (1) تكون قيمته G_T والمقطر (2) وتكون قيمته G_{eff}

III-2-3-3-1) معادلة حفظ الطاقة حول الغطاء الزجاجي g

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

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

و يمتص كذلك من الإشعاع الشمسي الوارد له من الشمس المقدار التالي : $(1 - \rho_g) \cdot \alpha_g \cdot G_{eff}$

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

و يفقد كذلك الحرارة المأخوذة من طرف مبخر المضخة بالمقدار التالي : $|Q_L| = (h_1 - h_2) = (h_1 - h_3)$

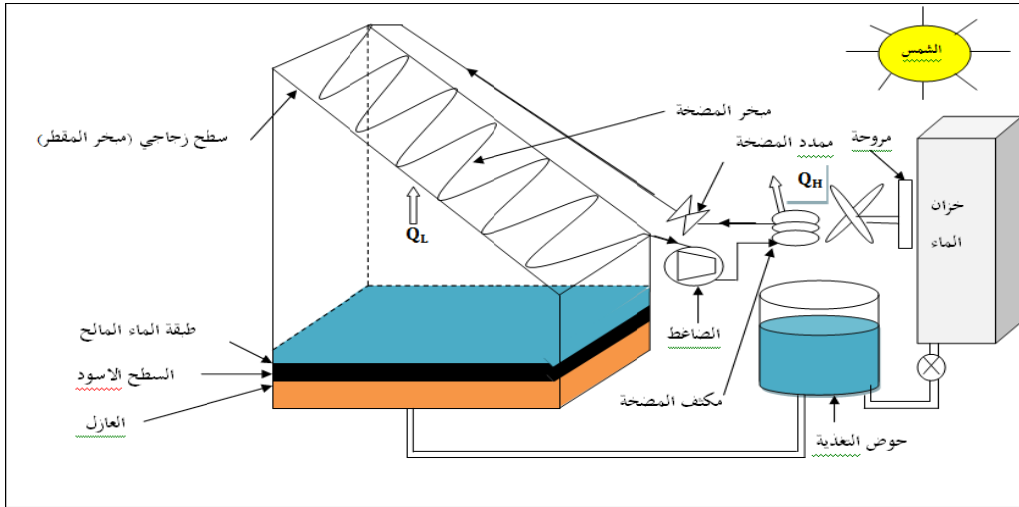
إذن معادلة التوازن الحراري تكتب على الشكل التالي:

$$m_g C_g \frac{dT_g}{dt} = (1 - \rho_g) \alpha_g G_{eff} + (Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g}) - Q_{r,g-a} - Q_{c,g-a} - |Q_L| \quad (27.3)$$

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

- الملاحظة 2 :** تختلف التجارب الأولى والثانية والثالثة في معادلة حفظ الطاقة حول الماء وحول السطح الأسود حيث نوضحها بالطريقة المذكورة أدناه .

III-3-2-3-2 التجربة الأولى: تبريد مكثف المضخة بالهواء (الطبيعي و القسري)



الشكل (III-5): رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الأولى

ملاحظة : بالنسبة لهذين المستويين لم يحدث لهما أي تأثير في حالة هذه التجربة أي معادلة حفظ الطاقة لكل منهما لم تتغير و هما نفسهما المعادلتين الموجودتين في حالة المقطر (1)

III-3-2-3-2-1 معادلة حفظ الطاقة حول الماء W

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

يمتص الماء المالح W الإشعاع المقدر بـ : $\alpha_w(1 - \rho_w)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_g)G_{eff}$

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

يفقد حرارة على الأشكال التالية : ينتقل جزء بالحمل والإشعاع والتبخير $(Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g})$ إلى

الجدار الداخلي للغطاء الزجاجي و جزء الاخر يضيع بإتجاه الجدران Q_{loss2}

$$m_w c_w \frac{dT_w}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)\alpha_w G_{eff} - (Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g}) \frac{A_g}{A_w} + Q_{c,b-w} - Q_{loss2} \quad (28.3)$$

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

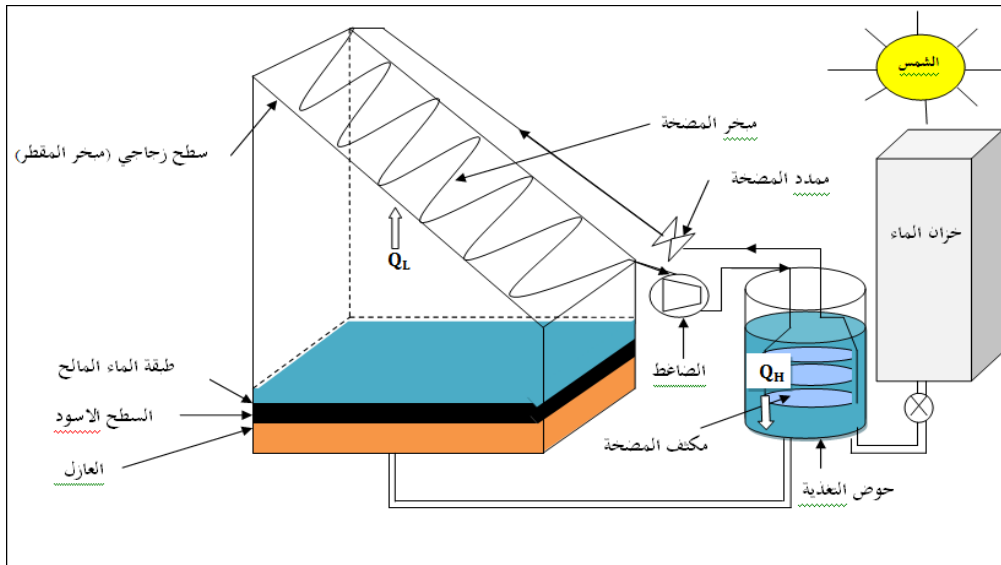
III-2-3-2-3-2-2 معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود الماص للحرارة b

على مستوى السطح الأسود b (درجة حرارته T_b) التبادلات الطاقوية متمثلة في :
يمتص السطح الأسود b الإشعاع المقدر بـ : $\alpha_b(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)(1 - \rho_g)G_{eff}$ ، ويتوزع على كل من
الماء بالمقدار $Q_{c,b-w}$.

جزء يضيع عبر العوازل بالمقدار Q_{lose1} ، وتكون معادلة التوازن الحراري بالشكل التالي :

$$m_b C_b \frac{dT_b}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)\alpha_b G_{eff} - Q_{c,b-w} - Q_{loss1} \quad (29.3)$$

III-3-2-3-3-2-3 التجربة الثانية: التسخين الأولي لمياه التغذية بمكثف المضخة



الشكل (III-6) رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الثانية

III-1-3-3-2-3-3-2 معادلة حفظ الطاقة حول الماء w

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

يمتص سطح الماء w من الماء المالح w الإشعاع المقدر بـ : $\alpha_w(1 - \rho_w)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_g)G_{eff}$.

يمتص كذلك مقدار من الحرارة $|Q_H|$ المطرودة من مكثف المضخة الموجود داخل حوض التغذية بالماء المالح .

ويتم فقد الحرارة الممتصة على الأشكال التالية : ينتقل جزء بالحمل والإشعاع والتبخير

انبوب التوصيل الواصل بين حوض التغذية و حوض المقطر ونرمز لها ب Q_{loss3} ، وجزء يمر عبر الماء ليمتص من طرف السطح الأسود b مقدارها : (إعادة الصياغة) .

$$\alpha_b(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)(1 - \alpha_g)(1 - \rho_g)G_{eff}$$

ومنه معادلة التوازن الحراري هي:

$$m_w C_w \frac{dT_w}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)\alpha_w G_{eff} - (Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g}) \frac{A_g}{A_w} + Q_{c,b-w} - Q_{loss2} + |Q_H| - Q_{loss3} \quad (30.3)$$

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

III-3-2-3-2) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود الماص للحرارة b

السطح الأسود في هذه الحالة لم يطرأ عليه أي تغيير لذا فإن معادلة حفظ الطاقة بالنسبة له لم تتغير و بقيت مثل معادلة حفظ الطاقة في حالة المقطر (1) .

حيث تبقى معادلة التوازن الحراري بالشكل التالي:

$$m_b C_b \frac{dT_b}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)\alpha_b G_{eff} - Q_{c,b-w} - Q_{loss1} \quad (31.3)$$

III-3-2-4) التوازن الحراري في المستويات الحرارية لخلية التقطير حسب كل تجربة للمجموعة الثانية:

ملاحظة 1: تشترك التجارب الرابعة والخامسة و السادسة في معادلة حفظ الطاقة لغطاء الزجاجي ولبخر المضخة

III-3-2-4-1) معادلة حفظ الطاقة حول الغطاء الزجاجي (المكثف 1) للتجارب الرابعة و الخامسة

والسادسة هي كالتالي:

$$m_g C_g \frac{dT_g}{dt} = (1 - \rho_g) \alpha_g G_t + (Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g}) - Q_{r,g-a} - Q_{c,g-a} - |Q_L| \quad (34.3)$$

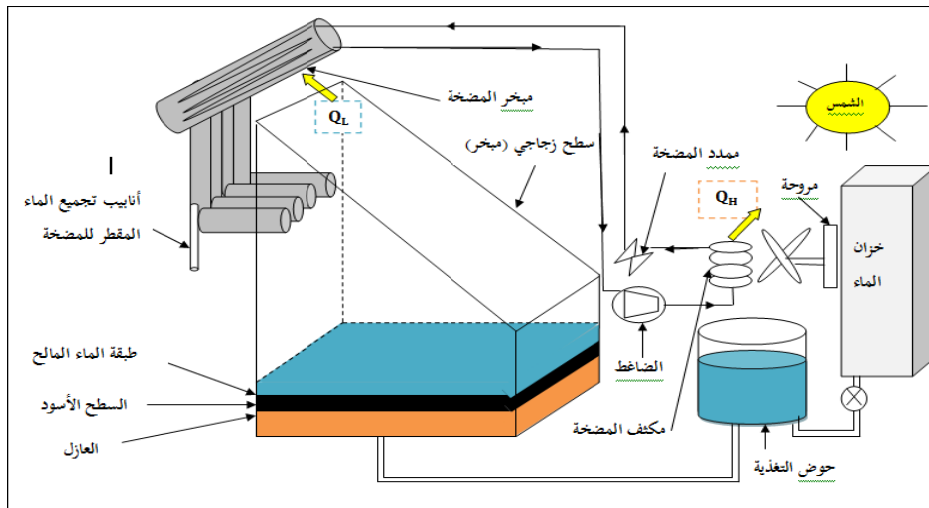
III-3-2-4-2) معادلة حفظ الطاقة لمبخر المضخة (المكثف 2) في التجارب الرابعة و الخامسة و السادسة

هي كالتالي :

$$m_m C_m \frac{dT_m}{dt} = (Q_{ev,w-m} + Q_{c,w-m}) - Q_{r,m-a} - Q_{c,m-a} \quad (35.3)$$

الملاحظة 2 : تختلف التجارب في معادلة حفظ الطاقة حول الماء وحول السطح الأسود حيث نوضحها بالطريقة المذكورة أدناه.

III-3-2-4-3) التجربة الرابعة : تبريد مكثف المضخة بالهواء (حمل طبيعي أو قسري)



الشكل (III-8): رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الرابعة

III-3-4-2-3-1) معادلة حفظ الطاقة حول الماء w

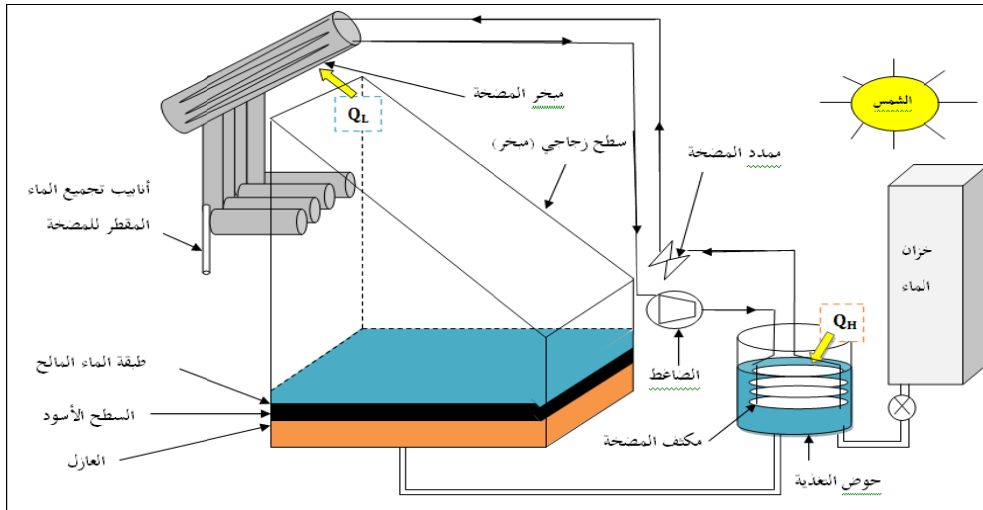
$$m_w C_w \frac{dT_w}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)\alpha_w G_t - (Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g}) \frac{A_g}{A_w} - (Q_{ev,w-m} + Q_{c,w-m}) \frac{A_m}{A_w} + Q_{c,b-w} - Q_{loss2} \quad (36.3)$$

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

III-3-4-2-3-2) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود الماص للحرارة b

$$m_b C_b \frac{dT_b}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)\alpha_b G_t - Q_{c,b-w} - Q_{loss1} \quad (37.3)$$

III-4-4-2-3-4) التجربة الخامسة: تبريد طبيعي لمكثف المصنعة بمياه التغذية



الشكل (III-9): رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الخامسة

III-4-4-2-3-1) معادلة حفظ الطاقة حول الماء w

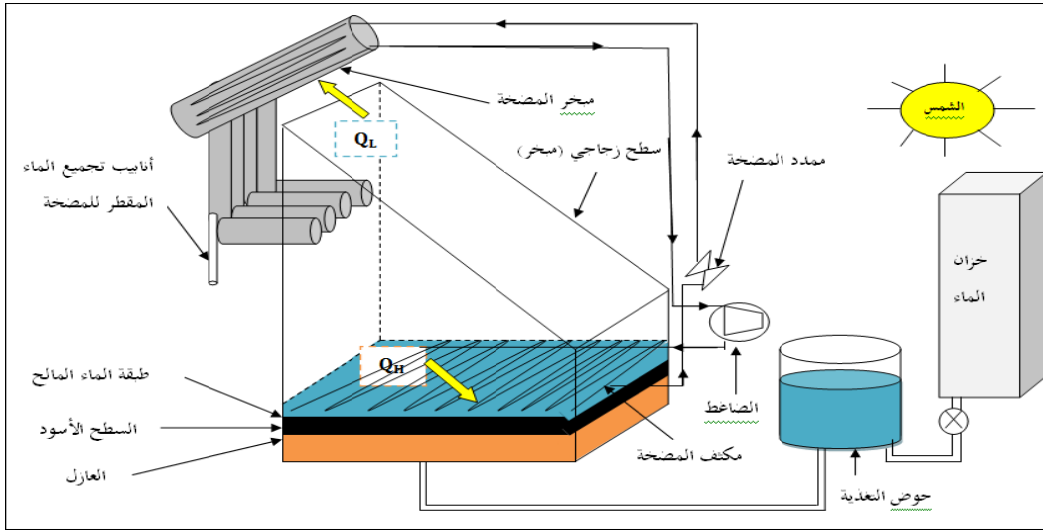
$$m_w C_w \frac{dT_w}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)\alpha_w G_t - (Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g}) \frac{A_g}{A_w} + Q_{c,b-w} - Q_{loss2} + |Q_H| - Q_{loss3} \quad (38.3)$$

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

III-2-3-4-2 (2-4-4-2-3-III) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود الماص للحرارة b

$$m_b C_b \frac{dT_b}{dt} = (1 - \rho_g)(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)\alpha_b G_t - Q_{c,b-w} - Q_{loss1} \quad (39.3)$$

III-2-3-4-2 (5-4-2-3-III) التجربة السادسة: تبريد طبيعي لمكثف المضخة بمياه المقطر (استرجاع كلي للحرارة Q_H)



الشكل (III-10): رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة السادسة

III-2-3-4-2 (1-5-4-2-3-III) معادلة حفظ الطاقة حول الماء w

$$m_w \cdot C_w \cdot \frac{dT_w}{dt} = (1 - \rho_g) \cdot (1 - \alpha_g) \alpha_w G_t - (Q_{ev,w-g} + Q_{r,w-g} + Q_{c,w-g}) \frac{A_g}{A_w} + Q_{c,b-w} - Q_{loss2} + |Q_H| \quad (40.3)$$

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

III-2-3-4-2 (2-5-4-2-3-III) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الأسود الماص للحرارة b

$$m_b C_b \frac{dT_b}{dt} = (1 - \rho_g) \cdot (1 - \alpha_g)(1 - \alpha_w)(1 - \rho_w)\alpha_b G_t - Q_{c,b-w} - Q_{loss1} \quad (41.3)$$

الفصل الرابع

دراسة تجريبية للمقطر الشمسي البسيط

أحادي الميل

يحتوي هذا الفصل على مختلف التجارب العلمية التي تم دراستها في هذا البحث والمتمثلة في

- المجموعة الأولى: مبخر المضخة فوق الزجاج.
 - التجربة 1: تبريد مكثف المضخة بالهواء (حمل طبيعي أو قسري).
 - التجربة 2: تسخين أولي لمياه التغذية (حمل طبيعي).
 - التجربة 3: استرجاع الحرارة بربط المقطر الشمسي بالمضخة الحرارية.
- المجموعة الثانية: مبخر المضخة خلف المقطر.
 - التجربة 4: تبريد مكثف المضخة بالهواء (حمل طبيعي أو قسري).
 - التجربة 5: تسخين أولي لمياه التغذية (حمل طبيعي).
 - التجربة 6: استرجاع الحرارة بربط المقطر الشمسي بالمضخة الحرارية.

1-IV) مقدمة

تم التطرق في الفصول السابقة إلى الدراسات النظرية لمقتر الشمسي أما في هذا الفصل سنتطرق إلى الجانب التجريبي والممثل في تحسين المقتر الشمسي باستعمال المضخة الحرارية بإستعانة بالتجارب وتمت في مخابر الطاقات المتجددة للمناطق الصحراوية (LENREZAS)- قسم الفيزياء بكلية الرياضيات وعلوم المادة بجامعة ورقلة (الجنوب الشرقي)، واعتمدت هذه التجارب لتصحيح الفرضيات النظرية ولوضع أسس صحيحة ونماذج شبه تجريبية يمكن الاستفادة منها، وتمت هذه التجارب على مدى الأشهر من مارس إلى ماي 2018.

2-IV) النماذج الأولية للأجهزة التجريبية

تم الاعتماد في إنجاز هذا العمل على مقترين شمسيين بسيطين متشابهين لكل منهما حوض وحيد الميل له الأبعاد التالية:

- لون الحوض : أسود غير براق. - سمك الزجاج : (5mm).

- أبعاد الحوض : (الطول x العرض): (0,94m x 0,94m). - أبعاد الغطاء الزجاجي : (1m x 1m).

- مساحة الحوض : $S_b = 0,8836m^2$.

3-IV) الأجهزة المستعملة في التجارب

- وتم إنشاء محطة أرصاد جوية تابعة للمخبر تقوم بجميع القياسات السابقة، والأجهزة السالفة الذكر كلها متصلة بهذه المحطة. وكانت النتائج التجريبية تأخذ من 8:00 صباحا إلى غاية 17:00 مساء على مدى 9 ساعات من المراقبة وتدوين النتائج التجريبية كل ربع ساعة، أما قيم الماء المقطر المنتج فكانت تأخذ كل نصف ساعة.
- جهاز قياس الإشعاع الشمسي (Solari-mètre): يتركب من جزء يوضع على الغطاء الزجاجي، وجهاز إلكتروني يحول الإشعاع إلى قراءة مباشرة على شاشة صغيرة رقمية، تعطي القيمة الحقيقية للإشعاع الساقط على الغطاء الزجاجي بـ W/m^2 .
- جهاز قياس درجة الحرارة (المزدوجات الحرارية-Thermocouples) : وهي عبارة عن زوج من المعدن على شكل سلكين ملتحمين تماما ذاتيا، تربط كل مزدوجة حرارية بجهاز ميلي فولتметр خاص، به شاشة رقمية يحول هذا الجهاز درجة الحرارة إلى تيار كهربائي، يقرأ على إثره قيمة درجة الحرارة في المكان الموضوعه فيه المزدوجة. وكان عدد المزدوجات كافيا لكي نقيس درجة الحرارة في كل السطوح والمواضع في النماذج الأولية.

ونستعمل في هذه التجارب جهاز متعدد القياس مصنع من طرف شركة KEITHLEY يقيس فرق الكمون الناتج من المزدوجات الحرارية مدعم برنامج Excel-link في حاسوب به واجهة إلكترونية USB ، يعطينا قيم درجة الحرارة كل 15min .

- جهاز قياس درجة حرارة الجو (المحرار- Thermomètre) : يوضع مقياس درجة حرارة الجو على ارتفاع واحد متر من سطح التربة في مكان به ظل، والجهاز متصل بالكمبيوتر.
- جهاز قياس الضغط الجوي (البارومتر-Baromètre): لقياس الضغط الجوي نستخدم البارومتر وهو يقيس الضغط المطلق في المنطقة التي تمت فيها التجربة و هو متصل بالكمبيوتر.
- جهاز قياس سرعة حركة الهواء الدوار (Anémomètre) : وهو مزود بمروحة تقيس السرعة حسب عدد دورات المروحة وهو متصل بالكمبيوتر.
- جهاز قياس الرطوبة الجوية (Hygromètre) : لقياس الرطوبة النسبية للجو، والتي هي حاصل قسمة الضغط الجزئي لبخار الماء على الضغط الجزئي في حالة التشبع وفي نفس درجة الحرارة نستعمل جهاز به مسبار (sonde)، وهو متصل بجهاز حاسوب . ويسمى الجهاز أيضا المرطاب.
- جهاز قياس ملوحة الماء (Salinomètre) : لقياس كمية الأملاح بالغرام لكل 1 لتر من الماء المقطر ومعرفة خواصه كالتوصيلية الكهربائية، ومقارنتها بالمعايير المعروفة للماء النقي وهي : (1,2 g/L)



محطة الأرصاد الجوية

جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي



مروحة لتبريد الزجاج

القدم القنوية

جهاز قياس شدة الملوحة

جهاز قياس درجة الحرارة

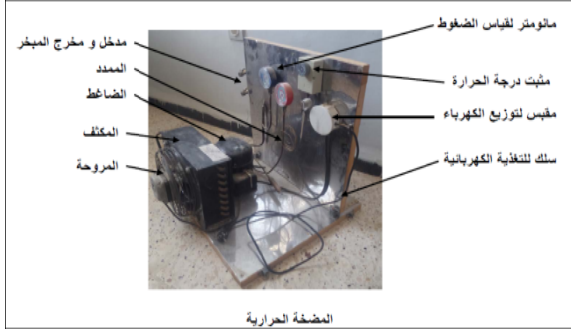
(المزدوجات الحرارية)



جهاز الرقمنة للمعطيات مصنع من طرف الشركة : KEITHLEY

جهاز محطة أرساد جوية مصنع من طرف الشركة : PHYWE

جهاز متعدد القياس مصنع من طرف الشركة : KEITHLEY



المضخة الحرارية



المقطرين المستعملين في التجربة

الشكل (1-IV) : أجهزة القياس المستعملة في التجارب

(4-IV) الأدوات المستعملة في التجارب

- الأنابيب المدرجة (Tubes Graduées) : تستعمل لقياس كمية الماء في كل مدة زمنية (30 دقيقة)، وبذلك نحسب التدفق الكتلي أو الحجمي للماء وكذلك حساب كمية الماء المُجمَع.
- حوض التغذية بالماء (Basin d'Alimentation d'Eau) : وهو مزود بتركيبية تضمن بقاء مستوى الماء ثابتاً، ويستعمل هذا التجهيز في كل أنواع المقطرات.
- أنابيب بلاستيكية (Tubes plastiques) : وهي أنابيب ذات قطر 5mm إلى 10mm للتوصيل بين مختلف أجزاء المقطر ونقل الماء مهما كانت نوعيته (نقي-مالح-محلول ملحي).



الأنابيب المدرجة



أحواض التحكم في كمية الماء المالح



خزان التغذية بالماء المالح



أنابيب بلاستيكية

مكان وضع مكثف المضخة حرارية فوق سطح الأسود
(المبخر) في التجربة الثالثة و السادسة .

مكان وضع مبخر المضخة في
المجموعة التجارب الثانية

الشكل (2-IV) : الأدوات المستعملة في التجارب

(5-IV) التجارب: وتنقسم إلى مجموعتين:

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

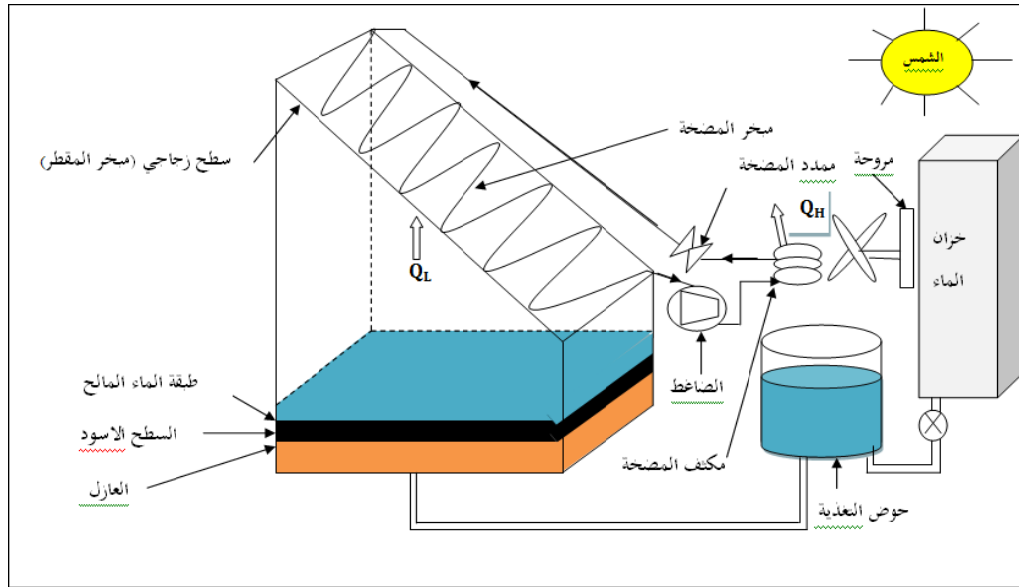
المجموعة الأولى: تحوي ثلاث تجارب (تجربة 1 – تجربة 2 – تجربة 3) و يتم وضع مبخر المضخة (أنبوب ملتف من النحاس) فوق مكثف المقطر (الزجاج g) و تختلف التجارب الثلاثة في كيفية استغلال الحرارة Q_H المنتجة من طرف مكثف المضخة .



الشكل (3-IV) : صورة توضح كيفية ربط مبخر المضخة بمكثف المقطر في مجموعة التجارب الأولى

1-5-IV التجربة الأولى: تبريد مكثف المضخة بالهواء (حمل طبيعي أو قسري)

1-1-5-IV وصف التجربة الأولى : لدينا في هذه التجربة مقطرين (1) و(2) حيث ويتم فيها وضع مبخر المضخة (أنبوب ملتف من النحاس) فوق مكثف المقطر (الزجاج g) ، كما وموضح في الشكل (1-IV) ووضع مكثف المضخة في الهواء، وتمت التجربة على النموذجين على مدى 3 أيام كاملة (17 و 19 و 21 أبريل 2018) للمقارنة بين المقطرين، والظروف الجوية التي سادت هذه الأيام ظروف مختلفة، وتم ضبط أجهزة القياس للمتغيرات والثوابت المأخوذة بعين الاعتبار في التأثير المباشر وغير المباشر في كمية الماء المقطر والتدفقات الحرارية الداخلية والخارجية والضائعة بالنسبة لكل نموذج، ثم دونت هذه النتائج في الجدول Excel وتم رسم المنحنيات الموضحة أدناه ببرنامج Origin 08.



الشكل (4-IV): رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الأولى

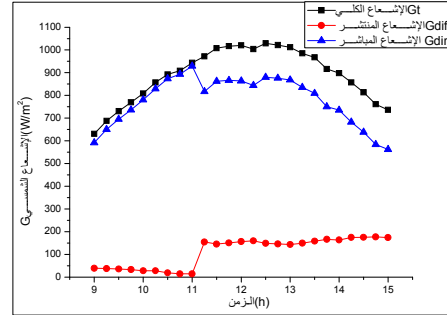
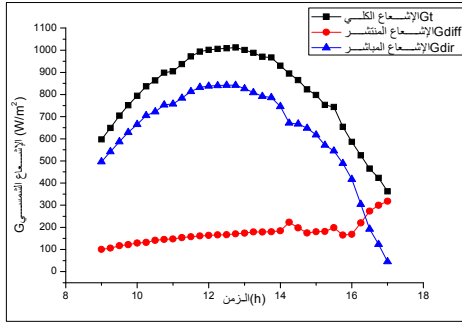
2-1-5-IV الظروف الجوية الخاصة بالأيام الذي تمت فيه التجربة الأولى

- الإشعاع الشمسي الكلي : كان في المجال، من $597.17 W/m^2$ إلى $1012.19 W/m^2$ وقيمة الإشعاع هذه كافية لتسخين السطوح السوداء في النماذج الأولية للمقطرين.
- حركة الهواء: كانت حركة الهواء منعدمة تقريبا، من $0 m/s$ إلى $1.6 m/s$.
- الضغط الجوي : إن الضغط الجوي كان أقل من $1 atm$ بقليل وذلك لأن منطقة ورقلة مرتفعة عن سطح البحر بـ 140 متر.
- الرطوبة الجوية النسبية : كان الجو جافا، بحيث أن قيمة الرطوبة النسبية للهواء في المجال من 13% إلى 52%.
- درجة الحرارة الجوية : تتراوح قيمتها $19^\circ C$ إلى $36.19^\circ C$.

3-1-5-IV المنحنيات التجريبية لتجربة الأولى

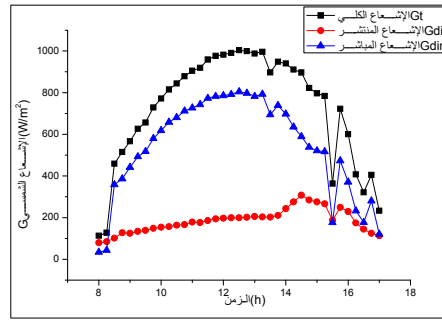
1-3-1-5-IV منحنيات الإشعاع الشمسي خلال أيام التجربة الأولى : تم رسم منحنيات الإشعاع الشمسي

الكلبي والمباشر والمنتشر بدلالة الزمن.



منحنى يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن ليوم 19 أبريل

منحنى يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن ليوم 17 أبريل



منحنى يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن ليوم 21 أبريل

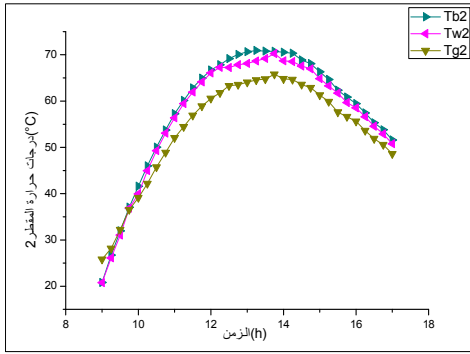
الشكل (5-IV) : منحنيات تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 1

تحليل المنحنيات : نلاحظ في منحنيات الثلاثة أن كل من الإشعاع الشمسي الكلبي والمباشر والمنتشر يتزايد بمرور الزمن إلى أن يبلغ الذروة خلال الفترة من الساعة (12h:00min) إلى الساعة (14h:00min) خلال الأيام 17 و 19 و 21 أبريل لكن اليومين 17 و 21 يكون مذبذب لأن الجو كان مغيم خلال هذه الفترة، ثم يبدأ بالتناقص تدريجياً خلال الفترة المسائية.

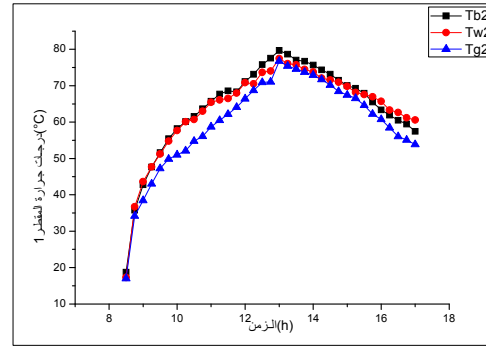
وبعد المقارنة بين النتائج التجريبية خلال أيام التجربة من حيث الإشعاع الشمسي والظروف الجوية السائدة وكمية الماء المقطر المنتجة كان يوم 19 أبريل الأحسن، لذلك سوف يعتمد في الدراسة على النتائج المأخوذة خلال هذا اليوم. ونلاحظ أن كل ما قل الإشعاع المنتشر زاد الإشعاع المباشر ، وهذا ناتج من الشوائب الموجودة في الجو .

2-3-1-5-IV مقارنة درجات الحرارة بين مقطرين شمسين بسيطين ودرجة حرارة المضخة :

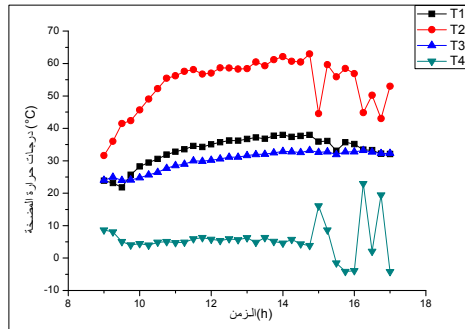
رسم منحنيات توضح درجات الحرارة لأجزاء المقطر بدلالة الزمن ورسم منحنيات توضح درجات حرارة المدخل والمخرج لكل من مبخر ومكثف المضخة بدلالة الزمن.



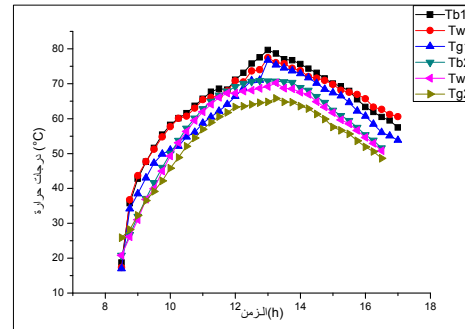
منحنى 2 : تغيرات درجات الحرارة للمقطر 2 بدلالة الزمن



منحنى 1 : تغيرات درجات الحرارة للمقطر 1 بدلالة الزمن



منحنى 4: تغيرات درجات حرارة بدلالة الزمن



منحنى 3: تغيرات درجات الحرارة للمقطر 1 و المقطر 2 بدلالة الزمن

الشكل (IV-6) : منحنيات درجات الحرارة الخاصة بالتجربة 1

تفسير منحنيات الشكل (IV-6) :

المنحنى 1 والمنحنى 2 والمنحنى 3: نلاحظ تزايد مستمر في درجات حرارة أجزاء المقطر إلى ما بعد الزوال ثم تتناقص، والسطح الأسود هو الجزء الذي له درجة حرارة أكبر ثم يليه الماء والسطح الداخلي للزجاج، أما السطح الخارجي للزجاج يكون أبرد جزء. ومنه يمكن اعتبار درجة حرارة الزجاج الفعلية الداخلة في العلاقات النظرية هي

$$T_g = \frac{T_{g(int)} + T_{g(ext)}}{2}$$

القيمة المتوسطة بين الوجه الداخلي والوجه الخارجي.

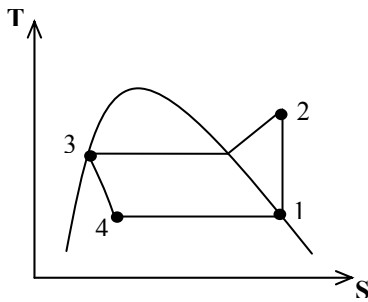
ولكن في التجارب تم استعمال درجة حرارة الداخلية $T_{g(int)}$ وذلك راجع الى أن سطح الداخلي هو السطح الفعلي لعملية التقطير والسطح الخارجي مساعد في عملية تبريد الزجاج .

وهذا يفسر بأن السطح الأسود له أكبر درجة حرارة راجع لكونه له إمتصاصية كبيرة جدا نتج عنها إمتصاص كبير للإشعاع الشمسي أدى إلى ارتفاع درجة حرارته ثم تنتقل الحرارة منه إلى الماء ليسخن ثم يتبخر ثم يتكثف على الزجاج.

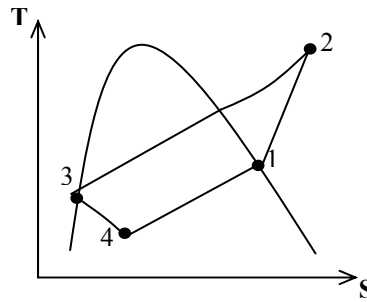
كما نلاحظ أن درجات الحرارة في مختلف أجزاء المقطر (1) تكون مرتفعة عن درجة حرارة أجزاء المقطر (2) وهذا يفسر بأن وضعية مبخر المضخة شكلت ظل ساهم في نقصان الحرارة الممتصة من طرف السطح الأسود.

المنحني 4 : نلاحظ في المنحني أنه يوجد تزايد في كل درجات الحرارة بمرور الزمن إلى غاية الساعة (15h:00min) نلاحظ تناقص وتذبذب طفيف ويفسر هذا بأن الإشعاع الشمسي له تأثير على درجات حرارة أجزاء المضخة ونجد كذلك أن درجة حرارة مدخل المكثف (T_2) لها أكبر قيمة لأن هي نفسها درجة حرارة مخرج الضاغط و هو العنصر المسؤول عن ضغط المائع أي زيادة ضغطه و تصاحبها زيادة كبيرة لدرجة الحرارة ويكون المائع عبارة عن بخار مسخن ثم يليها درجة حرارة مخرج المبخر (T_1) لأن طبيعة المائع يكون بخار مشبع ثم درجة حرارة مخرج المكثف (T_3) لأنه سائل مشبع ثم درجة حرارة مدخل المبخر (T_4) حيث يصبح المائع عبارة عن مزيج. يعني حسب الترتيب التالي :

$$(T_4 < T_3 < T_1 < T_2)$$

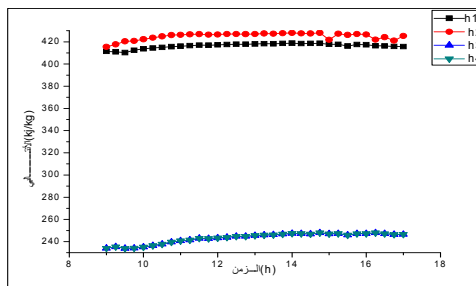


الشكل (8-IV) مخطط (T-S) لدورة المثالية للمضخة الحرارية



الشكل (7-IV) مخطط (T-S) لدورة الحقيقية التي تعمل بمبدأها المضخة الحرارية في التجارب

IV-5-1-3-3) منحنى تغيرات الأنتالبي النوعي لأجزاء المضخة بدلالة الزمن (الملحق C) :



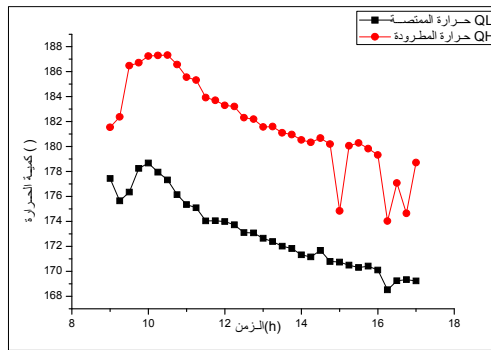
الشكل (9-IV): منحنى تغيرات الأنتالبي النوعي لأجزاء المضخة الحرارية بدلالة الزمن

تفسير المنحني الشكل (9-IV):

نلاحظ من خلال المنحني أن (h_2) والذي يمثل أنتالبي النوعي لمدخل المكثف له أكبر قيمة لأن المائع (غاز $R134a$) تكون طبيعته بخار مسخن أي له درجة حرارة علاقة بالأنتالبي النوعي فيكون كذلك له قيمة كبيرة ثم يليه الأنتالبي

النوعي (h_1) لمخرج المبخر ثم كبيرة حيث لها الأنتالي النوعي (h_3) مدخل الممدد و الذي يساوي الأنتالي النوعي (h_4) لمخرج الممدد وسبب تساويهما راجع لكون الممدد عبارة عن جهاز خامل يحول عبره المائع (غاز $R134a$) من سائل مشبع إلى مزيج (بخار + سائل) مع حفظ الضغط بثبوت الأنتالي النوعي، التزايد في الأنتالي النوعي مع الزمن راجع إلى وجود عدم إستقرار لدرجات الحرارة عبر الزمن .

IV-5-1-3-4) منحنى تغيرات Q_L الحرارة الممتصة و Q_H الحرارة المطرودة من طرف المضخة بدلالة الزمن :

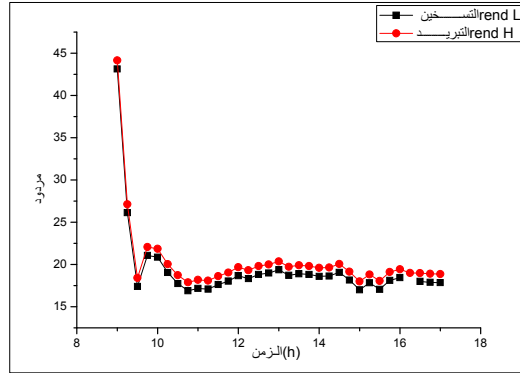


الشكل (10-IV): منحنى تغيرات كمية الحرارة الممتصة والمطرودة بدلالة الزمن

تفسير المنحنى الشكل (10-IV):

نلاحظ في المنحنى أن هناك تناقص في قيمة كل من الحرارة الممتصة من طرف مبخر المضخة Q_L و الحرارة المطرودة من طرف مكثف المضخة Q_H بمرور الزمن ذلك لأن التبريد القسري بالمرآح الخاص بالمضخة يستمر مفعوله الى نهاية التجربة و هو المتسبب في تناقص الحرارة و هناك فرق بين Q_L و Q_H و المتمثل في العمل المبذول من طرف المضخة . و يفسر التناقص بوجود ضياع في الحرارة جعل حرارة التسخين مقارنة الحرارة التبريد في القيمة و هو راجع لوجود توصيلات أنبوبية بين أعضاء الأساسية للمضخة لم يتم إدراجها. في الدراسة مما سببت هذا الضياع الحراري مع الهواء الجوي .

IV-5-3-1-5) تفسير منحنى تغيرات المردود $rend_H$ و $rend_L$ للمضخة بدلالة الزمن :



الشكل (11-IV): منحنى تغيرات المردود التسخين و التبريد للمضخة الحرارية بدلالة الزمن

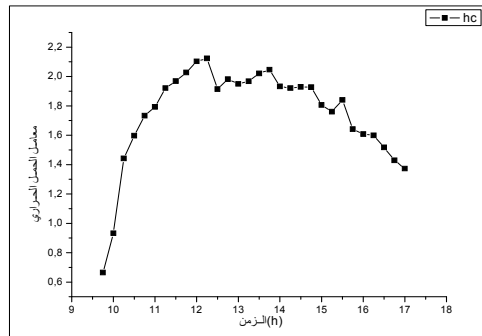
تفسير المنحنى الشكل (11-IV):

نلاحظ أن مردود التسخين ($rend_H$) و مردود التبريد ($rend_L$) يكونا متناقضين و تقريبا متطابقين بدلالة الزمن في المقطر (2) ، ونفسر ذلك بوجود وسط مفتوح عند المبخر، ونظريا لدينا

تفسير لتطابق المردودين هو أن الفروق في درجة الحرارة بين طرفي المبخر و طرفي المكثف متساوية

$$\begin{aligned} (T_2 - T_3) &\cong (T_1 - T_4) \Rightarrow (h_2 - h_3) \cong (h_1 - h_4) \\ &\Rightarrow \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)} \cong \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \\ &\Rightarrow \frac{|Q_H|}{|W|} \cong \frac{|Q_L|}{|W|} \Rightarrow rend_H \cong rend_L \end{aligned}$$

IV-6-3-1-5) تفسير منحنى تغيرات معامل الحمل الحراري بين الماء و الغطاء الزجاجي بدلالة الزمن :

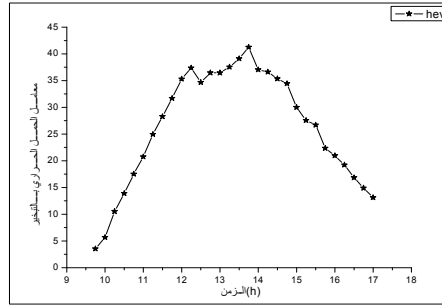


الشكل (12-IV): منحنى تغيرات معامل الحمل الحراري بين الماء و الغطاء الزجاجي بدلالة الزمن

تفسير المنحنى الشكل (12-IV):

نلاحظ تزايد مستمر في المنحنى إلى ما بعد الزوال ثم يبدأ في التناقص حيث يفسر هذا بأن معامل الحمل الحراري (h_c) له علاقة بالإشعاع الشمسي لأن الإشعاع الشمسي يؤثر في درجة حرارة كل من الماء و الغطاء الزجاجي و هما يؤثران في معامل الحمل الحراري (h_c). الموضحة في المعادلة (7.3) في الفصل الثالث.

IV-5-1-3-7) تفسير منحنى تغيرات معامل الإنتقال الحراري بالتبخير بين الماء و الغطاء الزجاجي بدلالة الزمن :

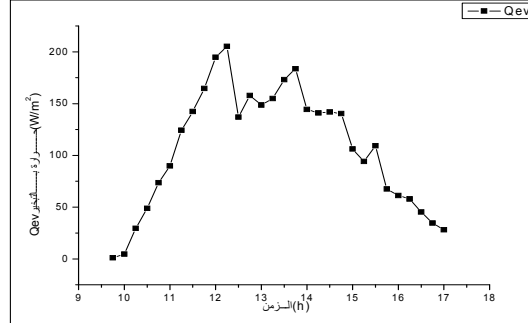


الشكل (13-IV): منحنى تغيرات معامل الإنتقال الحراري بالتبخير بين الماء و الغطاء الزجاجي بدلالة الزمن

تفسير المنحنى الشكل (13-IV):

نلاحظ أن المنحنى في تزايد إلى غاية الساعة (15h:00min) ثم يبدأ في تناقص و هذا راجع لكونه مرتبط بمعامل الحمل الحراري (h_c) بين الماء و الزجاج .

IV-5-1-3-8) تفسير منحنى تغيرات الحرارة بالتبخير بين الماء و الغطاء الزجاجي Q_{ev} بدلالة الزمن:



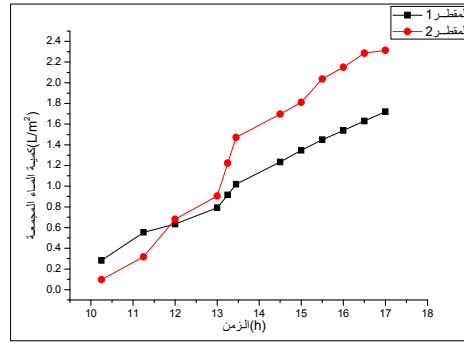
الشكل (14-IV): منحنى تغيرات الحرارة بالتبخير بين الماء و الغطاء الزجاجي Q_{ev} بدلالة الزمن

تفسير المنحنى الشكل (14-IV) :

نلاحظ الزيادة في (Q_{ev}) بمرور الزمن إلى ان تصل إلى الذروة عند منتصف النهار ثم يبدأ بالتناقص إلى أن تنعدم تقريبا حيث يفسر هذا بأن حرارة بالتبخير تتأثر بقيمة الفرق في درجة حرارة الماء والسطح الزجاجي وهما يتأثران بالإشعاع الشمسي .

IV-5-1-3-9) مقارنة كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين الشمسين:

توضح المنحنيات تغيرات كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين الشاهد و المحسن بدلالة الزمن



الشكل (IV-15): منحنى كمية الماء المجمعة تجريبيا بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 1

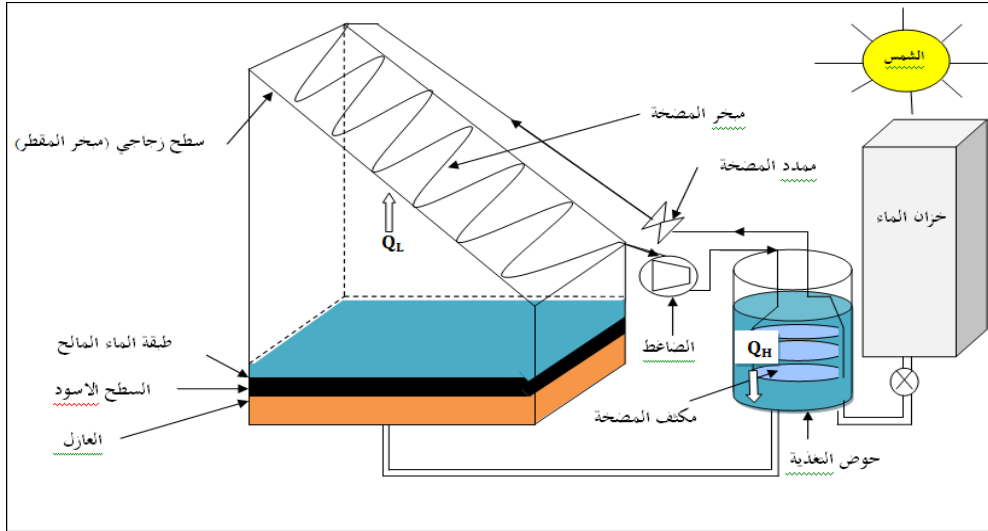
تفسير منحنى : نلاحظ أن هناك تزايد في كمية الماء المقطر المجمعة بمرور الزمن لكن كمية الماء المقطر المجمعة في الفترة ما بين (10h:15min) إلى (12h:00min) كانت في المقطر (1) أكبر مما هي عليه في المقطر (2) وسبب ذلك أن درجة حرارة سطح الاسود للمقطر (1) أكبر من درجة حرارة السطح الأسود للمقطر (2) و المضخة الحرارية لم تكن تبذل مجهود كبير لكي يعمل مبخرها على تبريد الغطاء الزجاجي، ثم نلاحظ عند الساعة (12h:00min) نقطة تحول من حيث كمية الماء المقطر المجمعة أي أصبحت كمية الماء المقطر المجمعة من طرف المقطر (2) أكبر منها في المقطر (1) وذلك راجع لكون درجة حرارة السطح الزجاجي في المقطر (2) منخفضة بسبب بذل المضخة مجهود و عليه تكون كمية البخار المتكثفة على الغطاء الزجاجي كبيرة أي أن الفرق في درجة الحرارة كبير بين السطح الأسود و الزجاج مقارنة بما هو عليه في المقطر (1).

IV-5-1-4) النتائج المستخلصة من التجربة الأولى :

- النتيجة 1:** الإشعاع الشمسي يتحكم في زيادة درجات حرارة أجزاء المقطر الشمسي.
- النتيجة 2:** نستنتج أن الظل الذي صنعه مبخر المضخة فوق السطح الزجاجي (مكثف المقطر 2) تسبب في خفض نسبة الحرارة الممتصة من طرف السطح الأسود وعليه نتج لدينا أن درجات حرارة في مستويات المقطر (2) أقل من درجات الحرارة في مستويات المقطر (1).
- النتيجة 3:** كمية الماء المقطر المجمعة في المقطر (2) أكبر بنسبة ضعيفة من كمية الماء المقطر المجمعة في المقطر (1) لأن درجة حرارة الماء و درجة حرارة السطح الزجاجي في المقطر (2) أقل مما هي عليه في المقطر (1) أي أن الفرق في درجة الحرارة بين الماء و السطح الزجاجي في المقطر (2) كان أكبر بقليل مما هو عليه في المقطر الأول .

النتيجة 4 : الأنتالي النوعي (h) ومدخل و مخرج كل من مبخر و مكثف المضخة الحرارية له علاقة بدرجات حرارتهم
 النتيجة 5 : تناقص كل من الحرارة الممتصة من طرف مبخر المضخة الحرارية Q_L و الحرارة المطرودة من طرف مكثف المضخة الحرارية Q_H سببه التبريد بالمروحة (الحمل القسري) الخاص بالمكثف والمبخر المضخة الحرارية
 النتيجة 6 : يتأثر كل من معامل انتقال الحرارة بالتبخير بين الماء والغطاء الزجاجي h_{ev} و الحرارة بالتبخير بين الماء والغطاء الزجاجي Q_{ev} بتغيرات الإشعاع الشمسي .

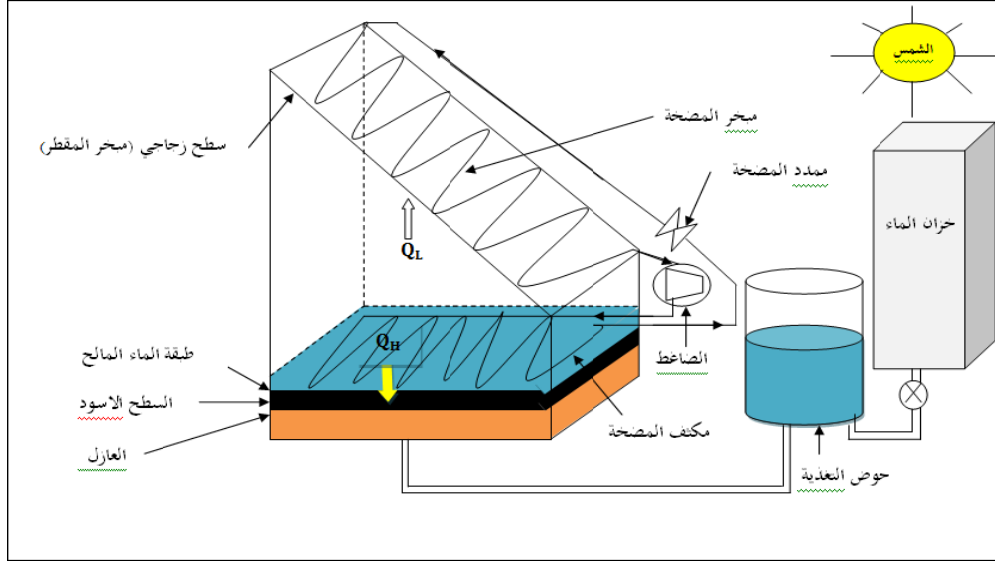
2-5-IV التجربة الثانية: تبريد طبيعي لمكثف المضخة بمياه التغذية (تسخين أولى لمياه التغذية بـ Q_H)
1-2-5-IV وصف التجربة الثانية: لدينا في هذه التجربة مقطرين (1) و(2) حيث يتم فيها وضع مبخر المضخة (أنبوب ملتف من النحاس) فوق مكثف المقطر (الزجاج g) (نفس طريقة ربط في تجربة الأولى) ، كما وموضح في الشكل (16-IV) ووضع مكثف المضخة في حوض أولى لتغذية المقطر .



الشكل (16-IV): رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الثانية

3-5-IV التجربة الثالثة : تبريد طبيعي لمكثف المضخة بمياه المقطر (استرجاع كلي للحرارة Q_H) .

IV-5-3-1) وصف التجربة الثالثة : لدينا في هذه التجربة مقطرين (1) و(2) و يتم فيها وضع مبخر المضخة (أنبوب ملتف من النحاس) فوق مكثف المقطر (الزجاج g) (نفس طريقة ربط في تجربة الأولى) كما وموضح في الشكل (IV-17) ووضع مكثف المضخة فوق مبخر المقطر ، معنى ذلك تشكيل حلقة .



الشكل (IV-17): يوضح رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الثالثة

ملاحظة 1: لم يتم القيام بالتجربة الثانية و الثالثة نظرا لأن مردود في التجربة الأولى كان ضعيف و غير معتبر.

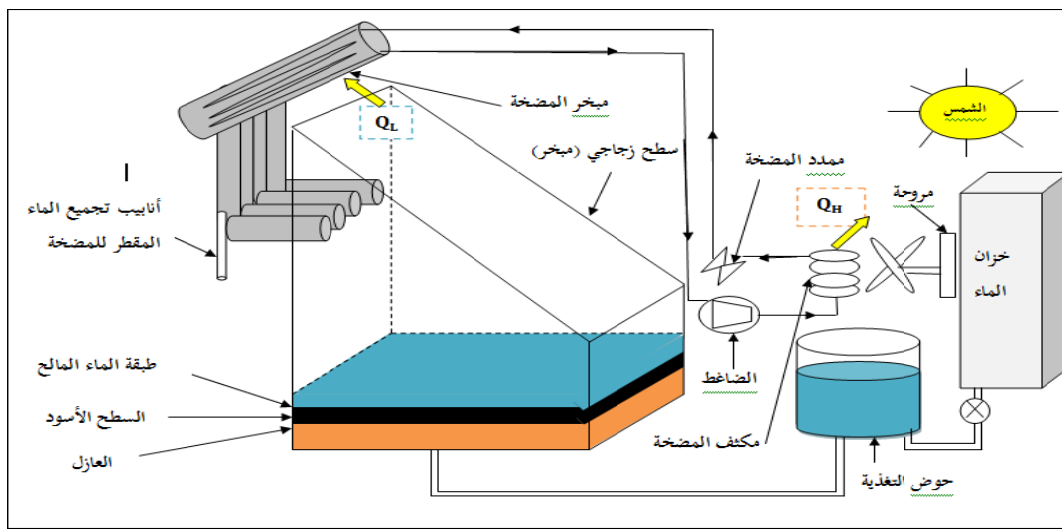
المجموعة الثانية: تحوي ثلاث تجارب (تجربة 4 – تجربة 5 – تجربة 6) و يتم وضع مبخر المضخة (أنبوب ملتف من النحاس داخل أنبوب بلاستيكي قطره $110mm$) موصول بخلية التقطير من الخلف بأربع أنابيب ذات قطر $110mm$ ، و تختلف التجارب الثلاثة في كيفية استغلال الحرارة Q_H المنتجة من طرف مكثف المضخة.



الشكل (18-IV): صورة توضح كيفية ربط مبخر المضخة بمكثف المقطر في مجموعة التجارب الثانية

4-5-IV التجربة الرابعة : تبريد مكثف المضخة بالهواء (حمل طبيعي أو قسري)

1-4-5-IV وصف التجربة الرابعة : لدينا في هذه التجربة مقطرين (1) و(2) حيث يتم وضع مبخر المضخة (أنبوب ملتف من النحاس داخل أنبوب بلاستيكي قطره 110mm) موصول بخلية التقطير من الخلف بأربع أنابيب ذات قطر 110mm ، كما وموضح في الشكل (18-IV) ووضع مكثف المضخة في الهواء ، ذلك ، وتمت التجربة على النموذجين على مدى 3 أيام كاملة (29 و30 أبريل و03 ماي 2018) للمقارنة بين المقطرين ، والظروف الجوية التي سادت هذه الأيام ظروف مختلفة، وتم ضبط أجهزة القياس لقياس المتغيرات والثوابت المأخوذة بعين الاعتبار في التأثير المباشر وغير المباشر في كمية الماء المقطر والتدفقات الحرارية الداخلية والخارجية والضائعة بالنسبة لكل نموذج، ثم دونت هذه النتائج في الجدول Excel وتم رسم المنحنيات الموضحة أدناه ببرنامج Origin08.



الشكل (IV-19): رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الرابعة

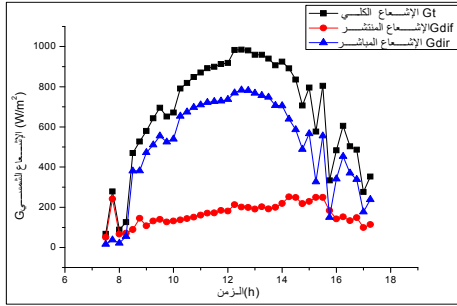
IV-5-4-2 الظروف الجوية الخاصة بالأيام الذي تمت فيه التجربة الرابعة.

- الإشعاع الشمسي : كان في المجال، من $164 W/m^2$ إلى $950.5 W/m^2$ وقيمة الإشعاع هذه كافية لتسخين السطوح السوداء في النماذج الأولية للمقطرين.
- حركة الهواء : كانت حركة الهواء منعدمة تقريبا، من $0 m/s$ إلى $2 m/s$ واختيار هذا الشرط للتقليل من الضياع في التدفقات الحرارية على مستوى الغطاء الزجاجي في كل من المقطرين.
- الضغط الجوي : إن الضغط الجوي كان أقل من $1 atm$ بقليل وذلك لأن منطقة ورقة مرتفعة عن سطح البحر بـ 140 متر.
- الرطوبة الجوية النسبية : كان الجو جافا، بحيث أن قيمة الرطوبة النسبية للهواء في المجال %11.86 إلى %33.14 .
- درجة الحرارة الجوية : تتراوح قيمتها $24.19^{\circ}C$ إلى $40.19^{\circ}C$.

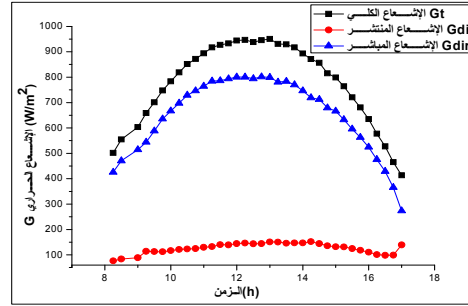
IV-5-4-3 المنحنيات التجريبية لتجربة الرابعة

IV-5-4-3-1 منحنيات الإشعاع الشمسي خلال أيام التجربة الرابعة : تم رسم منحنيات الإشعاع الشمسي

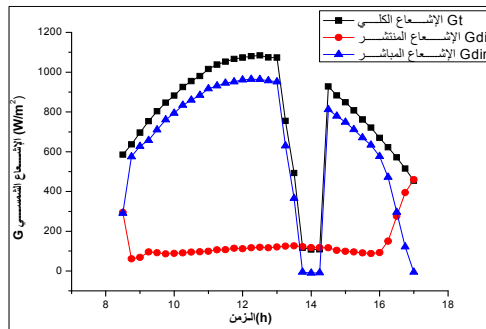
الكلي والمباشر والمنتشر بدلالة الزمن.



منحنى (2) تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن 30 أبريل



منحنى (1) تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن 29 أبريل



منحنى (3) تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن 3ماي

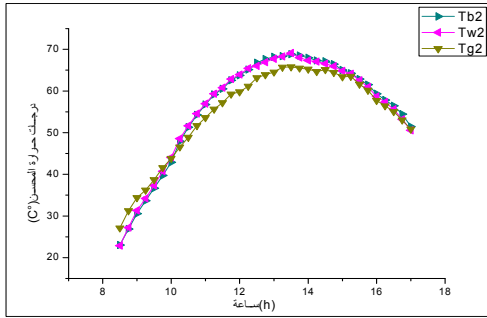
الشكل (IV - 20): منحنيات تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4

تفسير المنحنيات الشكل (IV-20):

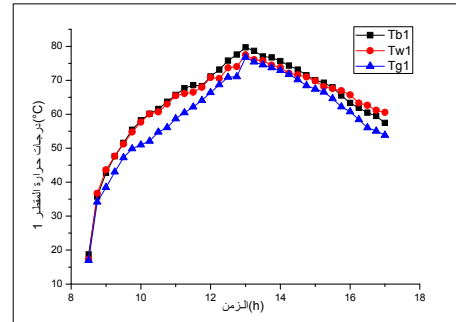
نلاحظ أن كل من الإشعاع الشمسي الكلي والمباشر والمنتشر يرتفع تدريجياً مع مرور الزمن إلى أن يبلغ الذروة خلال فترة الزوال (من الساعة 12 إلى 13) خلال اليوم 29 أبريل ويكون مذبذب خلال اليوم 30 أبريل، أما يوم 3ماي وقع خلل في أخذ قيم الإشعاع لأن الجو كان مغيم خلال هذه الفترة، ثم يبدأ بالتناقص تدريجياً خلال الفترة المسائية. وبعد المقارنة بين النتائج التجريبية خلال أيام التجربة من حيث الإشعاع الشمسي والظروف الجوية السائدة وكمية الماء المقطر المنتجة كان يوم 29 أبريل هو الأحسن، لذلك سوف يعتمد في دراستنا على النتائج المأخوذة خلال هذا اليوم، وأيضاً أن كل ما زاد الإشعاع المباشر قل الإشعاع المنتشر، وهذا ناتج من الشوائب الموجودة في الجو.

IV-5-4-3-2) مقارنة درجات الحرارة بين مقطرين شمسين بسيطين و المضخة الحرارية :

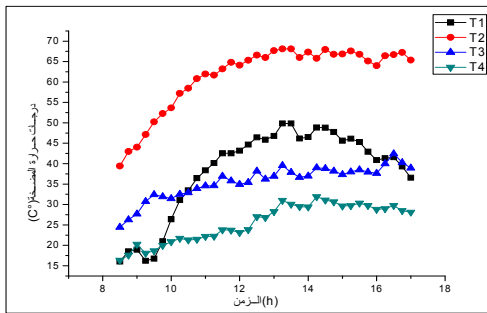
رسم منحنيات توضح درجات الحرارة لأجزاء المقطر (1) و (2) بدلالة الزمن و أيضاً رسم منحنيات توضح درجات حرارة المدخل و المخرج لكل من مبخر ومكثف المضخة بدلالة الزمن.



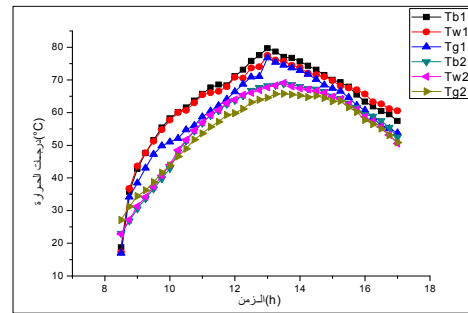
منحنى (2): تغيرات درجات الحرارة للمقطر 2 بدلالة الزمن



منحنى (1): تغيرات درجات الحرارة للمقطر 1 بدلالة الزمن



منحنى (4): تغيرات درجات حرارة بدلالة الزمن



منحنى (3): تغيرات درجات الحرارة للمقطر 1 و المقطر 2 بدلالة

الزمن

الشكل (IV-21): منحنيات تغيرات درجات الحرارة بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4

تفسير المنحنيات الشكل (IV-21):

منحنى 1 و منحنى 2 و منحنى 3 : نلاحظ أن درجات الحرارة في أجزاء كل من المقطر (1) والمقطر (2) تكون متزايدة بدلالة الزمن لتبلغ الذروة عند الزوال (13h تقريباً) ثم تنخفض مرة أخرى، والسطح الأسود (T_b) يكون أكبر جزء ترتفع درجة حرارته ثم يليه الماء (T_w) والسطح الداخلي للزجاج، أما السطح الخارجي للزجاج يكون أبرد جزء. ومنه يمكن اعتبار درجة حرارة الزجاج الفعلية الداخلة في العلاقات النظرية هي القيمة المتوسطة بين الوجه الداخلي

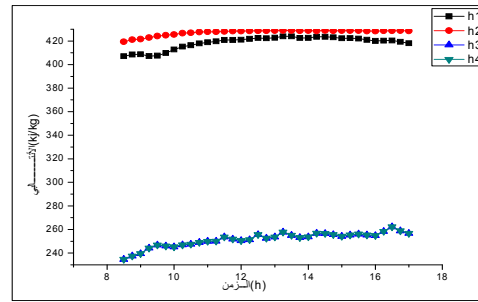
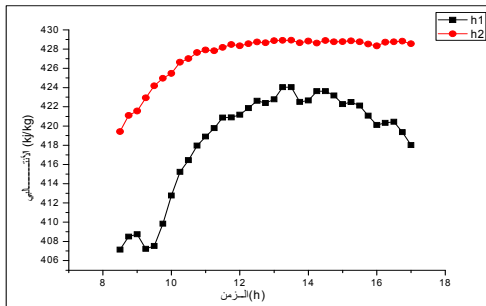
$$T_g = \frac{T_{g(int)} + T_{g(ext)}}{2}$$

والوجه الخارجي. ولكن في التجارب تم استعمال درجة حرارة الداخلية $T_{g(int)}$ وذلك راجع إلى أن سطح الداخلي هو السطح الفعلي لعملية التقطير و السطح الخارجي مساعد في عملية تبريد الزجاج ، وهذا يفسر بأن السطح الأسود لديه أكبر درجة حرارة راجع لكون له إمتصاصية كبيرة نتج عنها إرتفاع درجة حرارته ثم تنتقل هذه الحرارة إلى الماء ليسخن ثم يتبخر ثم يتكثف على الزجاج.

كما نلاحظ أن درجات الحرارة في مختلف أجزاء المقطر (1) تكون مرتفعة عن درجة حرارة أجزاء المقطر (2) وهذا يفسر بأن مبخر المضخة الحرارية يمتص حرارة تبخير كبيرة، مما ساهم في خفض درجة حرارة السطح الأسود (مبخر المقطر).

منحنى 4 : كما نلاحظ أن درجات الحرارة في مختلف أجزاء المضخة في اللحظة الزمنية (10h:30min) تكون (T_1) و(T_4) متطابقين ثم تليهم (T_3) و (T_2) هي الأكثر إرتفاع في درجة الحرارة ، وبعدها مباشرة نلاحظ أن درجات الحرارة للمضخة الحرارية تكون متزايدة ثم تتناقص بدلالة الزمن، وأن درجة حرارة مدخل المكثف (T_2) تكون مرتفعة ثم تليه درجة حرارة مخرج المبخر (T_1) ثم تليه درجة حرارة مخرج المكثف (T_3) ثم في الأخير درجة حرارة مدخل المبخر (T_4) ، لكن في البداية كانت (T_3) أكبر من (T_1) ، ونفسر ذلك بأن مدخل المكثف (T_2) يكون بخار مسخن نتيجة ضغط الغاز (R134a) بالضاغط و مخرج مبخر (T_1) ترتفع درجة حرارته لأن المبخر يمتص حرارة Q_L ومخرج المكثف (T_3) درجة حرارته تنخفض لأنه فقد حرارة Q_H و درجة حرارة مدخل مبخر (T_4) تكون أقل درجة حرارة لأن ممدد ينقص في ضغط و عليه نقص في درجة حرارة ، يعني الترتيب التالي ($T_4 < T_3 < T_1 < T_2$) وتساوي في البداية (T_4) و (T_1) راجع إلى أن في البداية كانت المضخة في بداية التشغيل، والإشعاع الشمسي يكون ضعيف قبل (10h:30min) حيث كمية البخار المنتج قليلة مما يجعل مبخر المضخة لا يسحب حرارة كبيرة (تقريبا منعدمة) حيث ينجم عنه درجة الحرارة تقريبا متساوية.

3-3-4-5-IV تغيرات الأنتالي النوعي للمضخة الحرارية:



منحنى (2) : : تغيرات الأنتالي h1 و h2 بدلالة الزمن

منحنى (1) : : تغيرات الأنتالي h1 و h2 و h3 و h4 بدلالة الزمن

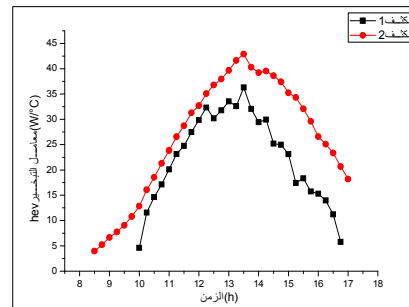
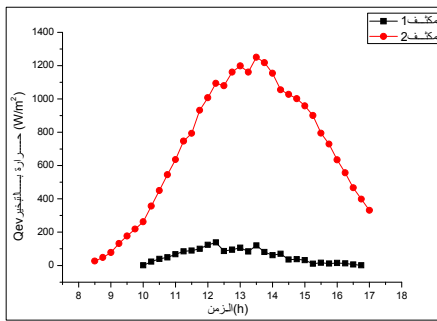
الشكل (22-IV): منحنيات تغيرات الأنتالي المضخة الحرارية بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4

تفسير المنحنيات الشكل (22-IV):

منحنى 1 : نلاحظ أن الأنتالي النوعي لأجزاء المضخة الحرارية في زيادة عبر الزمن، حيث نلاحظ أن h_2 (أنتالي مدخل المكثف) في زيادة (بنسبة كبيرة) كبيرة ثم يليه h_1 ، أما h_3 و h_4 متطابقين في زيادة (بنسبة ضعيفة) ضعيفة ، ونفسر ذلك بأن h_1 (مخرج المبخر) يقوم المبخر (غاز R134a) بامتصاص الحرارة Q_L من الوسط الداخلي ، مما يؤدي إلى إرتفاع درجة حرارة المائع ثم يقوم الضاغط بضغط الغاز (R134a) (استهلاك عمل) مما يساهم في رفع درجة حرارته وعليه زيادة في الأنتالي النوعي h_2 ($h_2 = W + h_1$) ، أما بالنسبة إلى h_3 ، لأن المكثف يطرد حرارة Q_H (يعني ضياع في الحرارة) مما يخفض في درجة حرارته وعليه انخفاض في الأنتالي النوعي ، وتكون ($h_4 = h_3$) لأن المدد حامل حراريا و ديناميكيا.

منحنى 2 : نلاحظ في هذا المنحنى أن الأنتالي النوعي في زيادة حيث يكون h_2 أكبر من h_1 (زيادة كبيرة) ، ونفسر ذلك بأن h_2 هي مدخل المكثف (مخرج الضاغط) بمعنى زيادة في الضغط يقابله زيادة في درجة الحرارة نتج عنها زيادة في الأنتالي النوعي (علاقة طردية) ، أما بالنسبة إلى h_1 هي مخرج المبخر لأن المائع (غاز R134a) يمتص حرارة .

4-3-4-5-IV) منحنيات معامل التبخير و حرارة بالتبخير



منحنى (1) : تغيرات معامل التبخير بالنسبة للمقطر (2) بدلالة الزمن منحنى (2) : تغيرات حرارة التبخير بالنسبة للمقطر (2) بدلالة الزمن

الشكل (IV-23): منحنيات تغيرات معامل التبخير وحرارة التبخير بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4

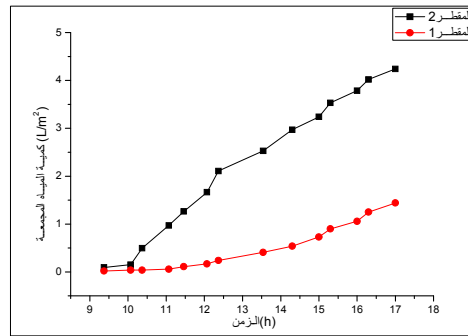
(مكثف 1: المرتبط بالزجاج، مكثف 2: المرتبط بمبخر المضخة)

تفسير المنحنيات للشكل (IV-23):

منحنى 1 : كما نلاحظ أن معامل التبخير للمكثف الأول h_{ev1} والثاني h_{ev2} متزايدة إلى الذروة في الزوال (13h:30min) (نفس الذروة للمعاملين الحراريين) ثم تنخفض مرة ثانية، ونفسر ذلك بزيادة الفرق في الضغط بين ضغط الماء P_w و الضغط المتوسط P_m عند مبخر المضخة (المستنبط من $T_m = \frac{T_1+T_4}{2}$) و أيضا زيادة الفرق في الضغط بين ضغط الماء P_w و الضغط P_g عند الزجاج (المستنبط من T_g)

منحنى 2 : نلاحظ أن كمية الحرارة بالتبخير للمكثف (2) (يعني مبخر المضخة) تكون متزايدة بدلالة الزمن لتبلغ الذروة عند اللحظة الزمنية بعد الزوال (14h) ثم تنخفض مرة أخرى، أما المكثف (1) (يعني مكثف المقطر - الزجاج -) تتزايد بشكل ضعيف لتبلغ ذروته عند (12h:15min) ثم تنخفض مرة أخرى ، ونفسر ذلك إلى أن مبخر المضخة الذي هو عبارة عن أنبوب من النحاس يسري بداخله غاز R134a (مائع بارد - سائل-) يمتص حرارة Q_{ev2} بشكل كبير لأن سطحه الخارجي بارد ، و تصبح الحرارة Q_{ev2} أكبر بكثير من الحرارة الممتصة عند الزجاج Q_{ev1} .

5-3-4-5-IV مقارنة في كمية الماء المجمعة في مقطرين (1) و(2) :



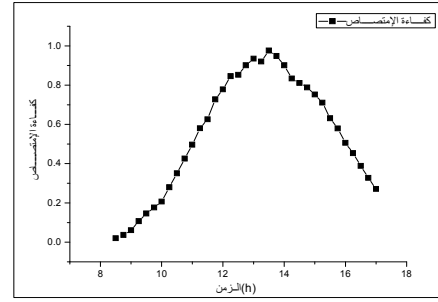
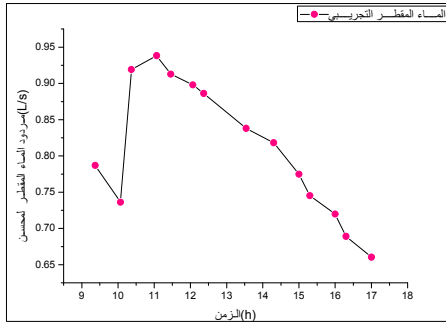
الشكل (24-IV): منحنى تغيرات كمية الماء المجمعة تجريبيا بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4

(مقطر 2: جمع المكثف 1+مكثف 2)

تفسير المنحنيات الشكل (24-IV):

نلاحظ أن كمية الماء المجمعة في اللحظة الزمنية (10h:30min) بالنسبة للمقطرين متساوية ، وبعد ذلك كانت كمية الماء المجمع لمقطر (2) تتزايد بشكل سريع أكبر من المقطر (1) ، ونفسر ذلك إلى أن المقطر (2) يبخر ويكثف بشكل أحسن و أسرع من المقطر (1) ، و هذا يعني أن مبخر المضخة (المكثف 2) يكثف أحسن من مكثف (المكثف 1) المقطر .

6-3-4-5-IV منحنيات كفاءة امتصاص الحرارة و الزيادة في كمية الماء المنتج.



منحنى (1) تغيرات كفاءة امتصاص الحرارة Q_{ev2} في المكثف 2 للمقطر (2) بدلالة الزمن

منحنى (2) تغيرات الزيادة في كمية الماء المنتج بين المكثف 1 و المكثف 2 في المقطر (2) بدلالة الزمن

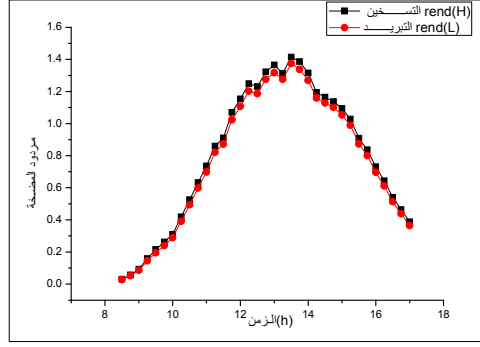
الشكل (25-IV): منحنيات تغيرات كفاءة امتصاص الحرارة و الزيادة في كمية الماء المنتج بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4

تفسير المنحنيات الشكل (25-IV) :

منحنى 1: نعرف كفاءة امتصاص الحرارة Q_{ev2} بما يلي : $\frac{Q_{ev2}}{|Q_L|}$ ، حيث نلاحظ أن هذه الكفاءة من طرف مبخر المضخة تكون متزايدة بدلالة الزمن في المقطر (2) لتبلغ الذروة عند الزوال (13h:30min) ثم تنخفض مرة أخرى، ونفسر ذلك بان كمية الحرارة المنتجة بالتبخير Q_{ev2} تمتص كلياً عند الزوال من طرف مبخر المضخة ($Q_{ev2} = Q_L$) مما يساعد في التبخير و التكثيف ، وزيادة Q_{ev2} راجع إلى زيادة الإشعاع الشمسي G و العكس صحيح.

منحنى 2: كما نلاحظ أن الزيادة في كمية الماء المنتج بين المكثف (1) و المكثف (2) في المقطر (2) تكون متزايدة بدلالة الزمن في المقطر (2) لتبلغ الذروة عند (11h) ثم بعدها تنخفض بشكل سريع ، ونفسر الانخفاض السريع إلى أن المكثف (1) بقاء العمل فعلياً من اللحظة الزمنية (11h) ، لكن أقل قيمة لهذه الزيادة تساوي (0.65) نهاية التقطير في اللحظة الزمنية (17h) ، أي أنها لم تنزل تحت النصف مما يفسر أن المكثف (2) له إنتاجية أكثر من مكثف (1).

7-3-4-5-IV مقارنة بين منحنيات مردود المضخة الحرارية التسخين و التبريد.



الشكل (IV-26): منحنى تغيرات مردود التسخين والتبريد لمضخة الحرارة بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4

تفسير المنحنيات للشكل (IV-26):

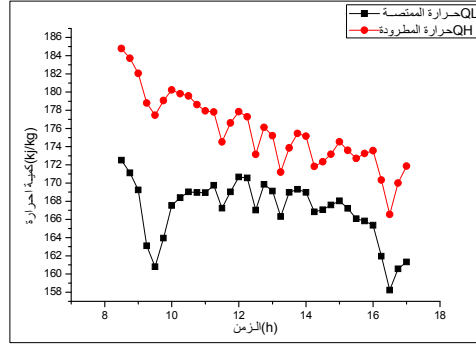
نلاحظ أن مردود التسخين ($rend_H$) و مردود التبريد ($rend_L$) يكونا متزايدين و تقريبا متطابقين بدلالة الزمن في المقطر (2) لتبلغ الذروة عند الزوال (13h:30min تقريبا) ثم تنخفض مرة أخرى، ونفسر ذلك إلى أن المضخة الحرارية عند الذروة تبدل مجهود كبير و ذلك راجع إلى زيادة الإشعاع الشمسي G و منه زيادة عملية التبخير، ونظريا لدينا

$$rend_H - rend_L = \frac{|Q_H|}{|W|} - \frac{|Q_L|}{|W|} = \frac{|Q_H| - |Q_L|}{|W|} = 1$$

ونفسر تطابق المردودين إلى أن الفرق في درجة الحرارة بين طرفي المبخر و طرفي المكثف متساوية

$$\begin{aligned} (T_2 - T_3) &\cong (T_1 - T_4) \Rightarrow (h_2 - h_3) \cong (h_1 - h_4) \\ &\Rightarrow \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)} \cong \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \\ &\Rightarrow \frac{|Q_H|}{|W|} \cong \frac{|Q_L|}{|W|} \Rightarrow rend_H \cong rend_L \end{aligned}$$

IV-5-4-3-8) مقارنة بين منحنيات كمية حرارة في المضخة الحرارية



الشكل (IV-27): منحى تغيرات كمية الحرارة Q_L و Q_H بدلالة الزمن الخاصة بالتجربة 4

تفسير المنحنيات الشكل (IV-27):

نلاحظ أن كمية الحرارة Q_H (للمكثف) أكبر من Q_L (للمبخر) تتناقص كل منهما من ذروتها (8h:30min) صباحاً، ونفسر ذلك إلى أن المضخة الحرارية في البداية تشغلها تبدل مجهود كبير، و هناك شبه إستقرار من 10h إلى 16h وهناك فرق بين Q_L و Q_H بسيط

وهذا يفسر وجود ضياع في الحرارة جعل حرارة التسخين مقارب لحرارة التبريد في القيمة، وهو راجع لوجود توصيلات أنبوبية بين أعضاء الأساسية للمضخة لم يتم إدراجها في الدراسة مما سببت هذا الضياع الحراري مع الهواء الجوي.

IV-5-4-3-9) النتائج المستخلصة من التجربة الرابعة:

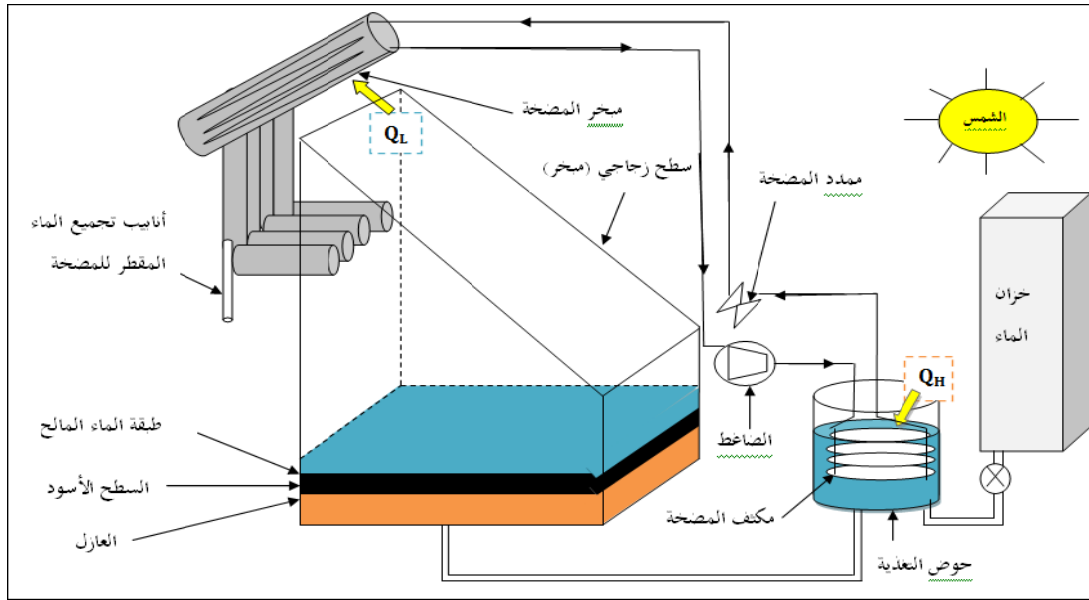
- النتيجة 1: الإشعاع الشمسي يتحكم في زيادة درجات حرارة أجزاء المقطر الشمسي.
- النتيجة 2: مبخر المضخة الحرارية يمتص حرارة تبخير أكبر من الزجاج، والسبب لأن سطحه الخارجي أبرد و راجع ذلك لسريان الغاز ($R134a$).
- النتيجة 3: مبخر المضخة الحرارية (مكثف 2) تحدث على سطحه عملية التكثيف أحسن مما هي عليه في الغطاء الزجاجي (مكثف) و سبب أن مردود الماء المقطر للمضخة الحرارية أحسن من مردود مكثف الزجاجي.
- النتيجة 4: المضخة الحرارية في الصباح مردودها يكون أقل من الظهيرة .
- النتيجة 5: وضع مبخر المضخة الحرارية في جانب المقطر أحسن من وضعه فوق السطح الزجاجي (مكثف) ، لأن عملية التكثيف تكون بشكل أحسن و إجتناوب أثر الظل الناتج من الأنابيب .
- النتيجة 6: وجود مبخر المضخة الحرارية متصل في خلف المقطر أحسن من وجوده داخل خلية التقطير و السبب تفادي التبريد المباشر للخلية.

النتيجة 7: تقارب تساوي الفرق في درجات حرارة مدخل ومخرج المكثف مع مدخل ومخرج المبخر، ينجم عنه تقارب

$$rend_H \cong rend_L \quad \text{تساوي مردود التسخين ومردود التبريد}$$

(5-5-IV) التجربة الخامسة : تسخين أولي لمياه التغذية (حمل طبيعي)

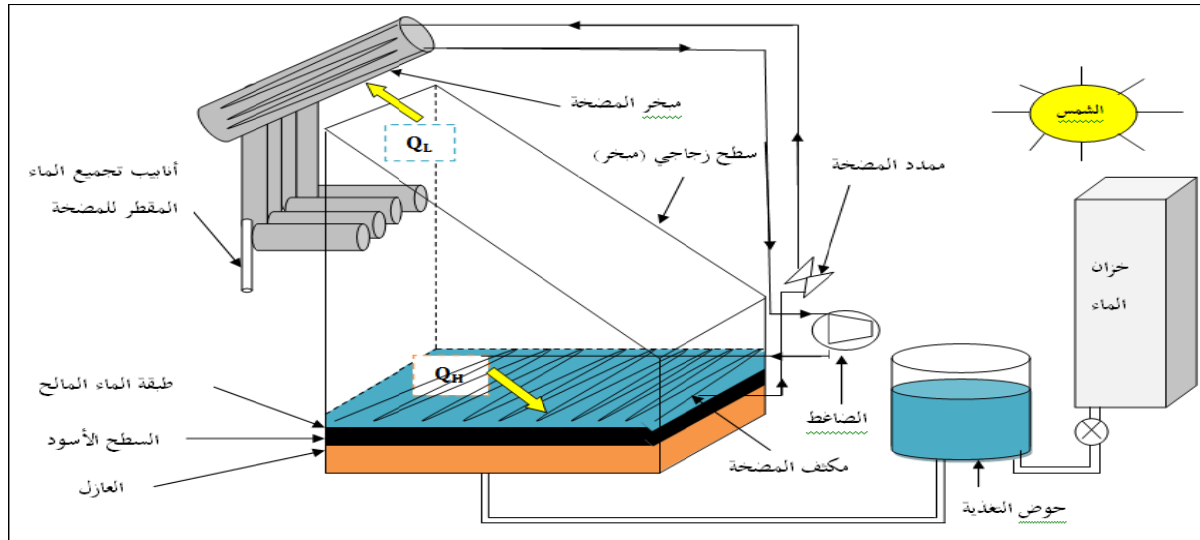
(1-5-5-IV) وصف التجربة الخامسة : لدينا في هذه التجربة مقطرين حيث المقطر (1) والمقطر (2) و يتم وضع مبخر المضخة (أنبوب ملتف من النحاس داخل أنبوب بلاستيكي قطره (110mm) موصول بخلية التقطير من الخلف بأربع أنابيب ذات قطر (110mm) ، كما وموضح في الشكل (28-IV) ووضعت مكثف المضخة في حوض التغذية الأولي للمقطر.



الشكل (28-IV): رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة الخامسة

(6-5-IV) التجربة السادسة: استرجاع الحرارة بربط المقطر الشمسي بالمضخة الحرارية

(1-6-5-IV) وصف التجربة السادسة : لدينا في هذه التجربة مقطرين (1) و (2) حيث يتم وضع مبخر المضخة (أنبوب ملتف من النحاس داخل أنبوب بلاستيكي قطره (110mm) موصول بخلية التقطير من الخلف بأربع أنابيب ذات قطر (110mm) ، كما وموضح في الشكل (29-IV) ووضعت مكثف المضخة فوق السطح الأسود (مبخر المقطر) .



الشكل (IV-29): رسم تخطيطي يوضح كيفية تجهيز التجربة السادسة

ملاحظة : بسبب ضيق الوقت والظروف الجوية الغير مناسبة لم نقم بالتجربة الخامسة و التجربة السادسة .

الخلاصة

.....

الخلاصة العامة

يعتبر المقطر الشمسي البسيط أحادي الميل وسيلة جيدة وبسيطة غير مكلفة، و اعتمد في هذا الموضوع على الدراسة التجريبية لتحسين أداء المقطر الشمسي البسيط باستعمال المضخة الحرارية من خلال (عبر) مجموعة من التجارب تتمثل في مجموعتين (المجموعة الأولى و المجموعة الثانية) تختلف كل منهما عن الأخرى بطريقة ربط مبخر المضخة الحرارية بخلية التقطير ، وكان المبدأ المستعمل في هذه التجارب هو كالتالي :

إستعمال مقطرين شمسين بنفس الأبعاد و نوع المواد المصنعة وتحت نفس الظروف الجوية، إلا أنه كان الاختلاف في ترك المقطر الشمسي الأول بدون إضافات و المقطر الشمسي الثاني به إضافات و المتمثلة في توصيل أجزاء المضخة الحرارية بالمقطر الشمسي .

وبعد القيام بالتجارب تم استخلاص مجموعة من النتائج تكون في المستقبل مرجعا مُهمًا لدراسات المستقبلية، وكان هناك بعض السلبيات والتي سنُدرج لها توصيات في آخر المطاف .

❖ نتائج المجموعة الأولى : التجربة الأولى

- **نتيجة 1 :** الإشعاع الشمسي يتحكم في زيادة درجات حرارة أجزاء المقطر الشمسي.
- **نتيجة 2 :** نستنتج أن الظل الذي صنعه مبخر المضخة فوق السطح الزجاجي (مكثف المقطر 2) تسبب في خفض نسبة الحرارة الممتصة من طرف السطح الأسود وعليه نتج لدينا أن درجات حرارة في مستويات المقطر (2) أقل من درجات الحرارة في مستويات المقطر (1).
- **نتيجة 3 :** كمية الماء المقطر المجمعة في المقطر (2) أكبر بنسبة ضعيفة من كمية الماء المقطر المجمعة في المقطر (1) لأن درجة حرارة الماء و درجة حرارة السطح الزجاجي في المقطر (2) أقل مما هي عليه في المقطر (1) أي أن الفرق في درجة الحرارة بين الماء و السطح الزجاجي في المقطر (2) كان أكبر بقليل مما هو عليه في المقطر الأول .
- **نتيجة 4 :** الأنتالبي النوعي (h) لمدخل و مخرج كل من مبخر و مكثف المضخة الحرارية له علاقة بدرجات حراراتهم

- **نتيجة 5** : تناقص كل من الحرارة الممتصة من طرف مبخر المضخة الحرارية Q_L و الحرارة المطرودة من طرف مكثف المضخة الحرارية Q_H سببه التبريد بالمروحة (الحمل القسري) الخاص بالمكثف والمبخر المضخة الحرارية .
- **نتيجة 6** : يتأثر كل من معامل معامل الإنتقال الحراري بالتبخير بين الماء والغطاء الزجاجي h_{ev} و الحرارة بالتبخير بين الماء والغطاء الزجاجي Q_{ev} بتغيرات الإشعاع الشمسي .
- ❖ نتائج المجموعة الثانية: التجربة الرابعة
- **نتيجة 7** : مبخر المضخة الحرارية يمتص حرارة تبخير أكبر من الزجاج، والسبب لأن سطحه الخارجي أبرد وراجع ذلك لسريان المائع (الغاز $R134a$).
- **نتيجة 8** : إن إنخفاض درجات حرارة لمختلف مستويات المقطر 2 مقارنة بالمقطر 1 راجع إلى إمتصاص مبخر المضخة لكمية الحرارة بالتبخير Q_{ev2} بشكل كبير داخل خلية التقطير .
- **نتيجة 9** : مبخر المضخة الحرارية (مكثف 2) تحدث على سطحه عملية تكثيف أحسن مما هي عليه في الغطاء الزجاجي (مكثف 1) و سبب أن مردود الماء المقطر للمضخة الحرارية أحسن من مردود الغطاء الزجاجي .
- **نتيجة 10** : المضخة الحرارية في الصباح مردودها يكون أقل من الظهيرة .
- **نتيجة 11** : وضع مبخر المضخة الحرارية في جانب المقطر أحسن من وضعه فوق مكثف الزجاجي لأن عملية التكثيف تكون بشكل أحسن و إجتناوب أثر الظل الناتج من الأنايب .
- **نتيجة 12** : وجود مبخر المضخة الحرارية متصل في خلف المقطر أحسن من وجوده داخل خلية التقطير و السبب تفادي التبريد المباشر للخلية.
- **نتيجة 13** : تقارب تساوي الفرق في درجات حرارة مدخل ومخرج المكثف مع مدخل ومخرج المبخر، ينجم عنه تقارب تساوي مردود التسخين ومردود التبريد $rend_H \cong rend_L$
- **نتيجة 14** : وضع مبخر بجانب المقطر لم يؤثر سلبيا لا على عملية التكثيف الحاصلة على مستوى الغطاء الزجاجي (المكثف) ولا على عملية التبخير الحاصلة مستوى السطح الأسود (المبخر)

❖ التوقعات النظرية لتجربة الخامسة و لتجربة السادسة :

إن الجانب النظري لتجارب في الفصل الثالث به معادلات خاصة بالتوازن الحراري لمستويات المقطر (2) (الغطاء الزجاجي ، الماء ،السطح الأسود) لكل من التجربة الثانية و التجربة الثالثة من المجموعة الأولى حيث نتوقع نظريا :

من معادلة التوازن الحراري حول الماء لتجربة الخامسة نجد أن الحرارة المضافة والمتمثلة في $|Q_H|$ المطرودة من مكثف المضخة وهناك حراري ضياع ضعيف Q_{loss3} من أنبوب التوصيل بين حوض التغذية و المقطر (2) ، فينتج من هذا التحسين زيادة في مردود المقطر ويكون بالنسبة كبيرة من نسبة التحسين الموجودة في التجربة الرابعة .

من معادلة التوازن الحراري حول الماء لتجربة السادسة نجد أن الحرارة المضافة والمتمثلة في $|Q_H|$ المطرودة من مكثف المضخة وبدون ضياع للحرارة (دورة استرجاع تام للحرارة) أي زيادة في عملية التكثيف و التبخير، فينتج من هذا التحسين زيادة في مردود المقطر (2) ويكون بنسبة كبيرة جدا مقارنة بالتحسين الموجود في التجربة الرابعة و التجربة الخامسة .

توصيات : نظرا لنتائج المحصل عليها في التجارب و المشاكل التي واجهت هذه التجارب ، يجب الأخذ بعين الإعتبار التوصيات التالية :

- **التوصية 1 :** تشقق السطح الزجاجي للمقطر الثاني في التجربة الأولى للمجموعة الأولى نتيجة التصاق بين السطح الزجاجي و مبخر المضخة الذي نتج عنه إنتقال الحرارة بتوصيل بين السطح الزجاجي و المبخر وحيث كان الفرق الكبير في درجة الحرارة بينهما، مما أدى إلى تغيير وضعية المبخر وذلك برفعه بإرتفاع صغير عن السطح الزجاجي مع إستعمال المروحة فأصبح إنتقال حرارة بالحمل القسري، و في هذه الوضعية لم يتشقق الزجاج .
- **التوصية 2 :** عدم إكمال تجارب المجموعة الأول راجع إلى أن التحسين في المردود لتجربة الأولى كان ضعيف و غير معتبر .
- **التوصية 3 :** عدم إكمال تجارب المجموعة الثانية نتيجة لضيق الوقت و عدم توفر الإمكانيات اللازمة لتجهيز هذه التجارب.

- **التوصية 4 :** يجب الأخذ بعين الاعتبار في حالة تحسين المقطر الشمسي في عملية التكثيف أن لا تؤثر سلبا في عملية التبخير و العكس صحيح.
- **التوصية 5 :** يجب أن يكون طول أنبوب مبخر المضخة يوافق طول مكثف المضخة، حيث أن حجم الداخلي لأنبوب المبخر أقل من حجم الداخلي لأنبوب المكثف. وهذا راجع لطبيعة المائع في مدخل كل من المبخر و المكثف (المبخر يدخله سائل و منه حجمه صغير، و المكثف يدخله بخار و يكون حجمه كبير)
- **التوصية 6 :** نوصي بالقيام بالتجارب الخامسة و السادسة لما فيهما من تحسينات جيدة .

المراجع باللغة العربية

- [1] أحمد بنخواش و زرارة بطاش "الطاقات المتجددة كبديل لقطاع النفط دراسة حالة بوحدة البحث التطبيقي في مجال الطاقة المتجددة ARAER(غرداية)" مذكرة الماستر أكاديمي جامعة ورقلة 2013
- [3] الشريف عدة و أحمد لبواي "دراسة تجريبية لمقطر شمسي بمدينة ورقلة " مذكرة ماستر جامعة ورقلة 2016
- [4] دواوي رشيدة "دراسة مقطر شمسي ذي مكثف مظل جزئيا ، بفعل الإحتباس الحراري الشمسي في المناطق القاحلة "مذكرة الماجستير 2010
- [6] محمد تخة ، "دراسة مقارنة وتحسين لمختلف المقطرات الشمسية لإنتاج المياه الصالحة للشرب في المناطق الجافة الصحراوية"، مذكرة ماجستير ، جامعة ورقلة ، كلية العلوم والعلوم الهندسية ، قسم الفيزياء (2004)
- [8] سوداني محمد البار، "دراسة نظرية لمجمع شمسي أسطوانيمقعر ذي غطاء زجاجي " ،مذكرة ماجستير جامعة ورقلة 2009 .
- [22] د.سعود يوسف عياش،" تكنولوجيا الطاقة البديلة" ، عالم المعرفة، الكويت فبراير 1981 .

المراجع باللغة الانجليزية

- [2] Gopal Nath Tiwari and Hriday Narayan Singh , Solar distillation , History ,development and management of water resources – vol II solar distillation .
- [5] A.Madhlopa,C. Johnstone, Numerical study of a passive solar still with separate condenser, Renew . Energy 34(2009) 1668- 1677.
- [10] David P. Dewitt, Fundamentals of ,Heat and Mass Transfer ,5rd. Ed ,John Wiley & Sons,(1984) .
- [16] B.Bouhekima & B.Gros & R.Ouahes & M.Diboun (performance study of the capillary film solar distiller) Algérie ELSEVIER Desalination 153(2002)65-69.
- [18] Holman.J, Heat Transfer,4th ed. McGraw-Hill,New York (1976)
- [19] Welly,J.R .Wicks, C.E and Wilson ,R.E ,Fundamentals of Montentum ,Heat and Mass Transfer,5rd. Ed ,John Wiley & Sons,(1984).
- [20] Karn ,D., Process Heat Transfer,McGraw-Hill International Student edition ,New York(1950).
- [21] J.W.Rose "Condensation Heat Transfer Fundamentals" Trns Chem .Vol 76.Part A .(1998).
- [25] H.E.S.Fath ,H.M. Hosny, thermal performance of a single- sloped basin still with an inherent built – in additional condenser, desalination142(2002) 19- 27 .

- [26] M. Abu-Arabi, Y . Zurigat, H. Al-Hinia, S. Al-Hiddabi, Modeling and performance analysis of a solar desalination unit with double- glass cover cooling, Desalination 143 (2002) 173-182.
- [28] V.Velmurugan, M. Gopalakrishnan, R. Reghu, K. Srithar , Single basin solar still with fin for enhancing productivity , Energy Convers. Manag. 49 (2008) 2602-2608.
- [29] Y.H.Zurigat, M.k. Arabi, Modeling and performance analysis of a regenerative solar desalination Unit, Appl. Them. Eng. 24 (2004) 1061-1072.
- [30] H . Al-Hinai, M.S.Al-Nassri, B.A. Jubran, Parametric investigation of a double effect solar still in comparison with a singl-effect solar still , Desalination 150 (2002) 75-83.
- [31] H.S.Aybar, H. Assefi, simulation of a solar still to investigate water depth and glass angle, Desalin . Water Treat. 7(2009) 35-40 .

المراجع باللغة الفرنسية

- [7] J.R.VAILLANT "les problème du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtre"- France-1975.
- [9] J.F. SACADURA "Initiation aux transfert thermique" France -1977
- [11] S.Makdji Nafila, " Impact de l'écart de température (eau-capteur) sur l'efficacité globale d'un distillateur solaire " thèse de magistère, Université de Constantine, département génie climatique, 2002.
- [12] Eaux saumâtre dans les sud Algérien" thèse de magistère (2000) Université de Ouargla.
- [13] Ahmed Khedim, Klemens Schwarzer, Christian Faber, Christoph Mtiller "Production de centralisée de l'eau potable l'énergie solaire", Desalination 168 (2004) 13-20.
- [14] Alain Maurel (dessalement Solaire) CEA-Cadarache(1986).
- [15] Bachir .Bouhekima-Bennard .Gros-Ramdane Ouahes-Mostefa Int.J.therm,"Etude théorique et application pratique du distillateur solaire a film capillaire ". Sci (2002)39-442-459.
- [17] R.Ouahes ,P.Legoff ,Ouahes(Le projets-Dificap-distillateur a film capillaire) Lab .des Sciences du genie à Nancy,France (1982).
- [23] Yves JANNOT, Thermique solaire, Octobre 2003.
- [24] Hamani Nadjette, Modélisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident, mémoire de magister, Université Mohamed Khider- Biskra,200.

- [27] P.LE GOFF "Nouvelles techniques appropriées de production d'eau potable pour zones arides" –CNRS-ENSIC-INPL-France -1986.

الملحق A (الأرقام اللاحقة)

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

- "X" : البعد الخاص بسريان المائع في أي نظام سريان.
- d : نصف قطر الماسورة الخاصة بسريان المائع.
- δ : سمك الطبقات الحدية (δ_d تحريكية، δ_t حرارية، δ_m كتلية).
- L : طول الصفيحة المستوية.

(1) رقم "رينولدز" (REYNOLDS)

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

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

(2) رقم "نوسالت" (NUSSELT)

وله ثلاثة أشكال حسب هندسة النظام :

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

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

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

(3) رقم "برانتل" (PRANDTL)

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

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

(4) رقم "جراشوف" (GRASHOF)

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

ونعرف معاملات التمدد عند ثبوت الضغط الخارجي :

β :معامل التمدد الحراري تحت ضغط ثابت . ξ :معامل التمدد الكتلي تحت ضغط ثابت .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

وهناك عدة علاقات تربط بين هذا الرقم اللابعدى ورقم نوسالت Nu وهي من الشكل $Nu = f(Ra)$ ، ونعرف نوعين من هذا الرقم هما :

الملحق B (الخواص الحرارية فيزيائية و الكتلة السطحية للمواد المستعملة)

(1) الخواص الحرارية فيزيائية لبعض المواد الصلبة المستعملة

طبيعة الجسم	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg.k ^o)	λ (w/m.k ^o)	a (m ² /s)
الألمنيوم	2700	0,86	204	0,86
الزجاج	2 530	0,84	1,2	0,58
الخشب	410	1,25	0,23	0,45
البوليستيران	44	-	0,037	-

جدول (1-B): الخواص الحرارية فيزيائية لبعض المواد و الكتلة السطحية للمواد المستعملة.

(2) الكتلة السطحية للمواد المستعملة

المادة المستعملة	الكتلة السطحية (kg/m ³)
زجاج ذو السمك 4مم	9.696
زجاج ذو السمك 5مم	11.937
الألمنيوم	7.629
الماء	10
الإسفنج	0.3861

جدول (2-B): الكتلة السطحية للمواد المستعملة في التجربة.

الجدول (C) : الانتالبي النوعية الكتلية لمائع

التبريد R134a

ذو الصيغة الجزيئية المجملة ($C_2H_2F_4$)

Tetrafluoroethane

(h_f للسائل المشبع ، h_g للبخار المشبع)

محسوبة بـ : KJ/Kg

حيث : $L_{ev} = h_{fg} = h_g - h_f$ تمثل الحرارة

النوعية للتبخير في كل درجة حرارة تشبع T_{sat}

النقطة الثلاثية : درجة حرارتها $T_{sat} = 0,01 \text{ } ^\circ C$

النقطة الحرجة : درجة حرارتها $T_{sat} = 100 \text{ } ^\circ C$

الكتلة المولية : $M = 102,03 \text{ g/mol}$

ملاحظة :

تم استعمال برنامج *origine08* لترجمة معطيات

الجدول (C) من أجل رسم منحني كل من $g(T)$

و $h_f(T)$ بعد ذلك تم استخراج معادلة كل منحني

تم استعمال المعادلتين المستخرجتين في إيجاد قيم

الانتالبي كل من مدخل و مخرج مبخر و مكثف

المضخة الحرارية (h_1, h_2, h_3, h_4) ثم وقمنا

برسم تغيرات الانتالبي بدلالة درجة الحرارة الموجودة في

المذكورة .

T_{sat} ($^{\circ}C$)	Pressure kPa	spec. Enthalpy kJ/kg		
		h_f	h_g	L_{ev}
-100	0.56	75.36	336.85	261.49
-95	0.94	81.29	339.78	258.49
-90	1.52	87.23	342.76	255.53
-85	2.40	93.18	345.77	252.59
-80	3.67	99.16	348.83	249.67
-75	5.48	105.17	351.91	246.74
-70	7.98	111.20	355.02	243.82
-65	11.38	117.26	358.16	240.90
-60	15.91	123.36	361.31	237.95
-55	21.83	129.50	364.48	234.98
-50	29.45	135.67	367.65	231.98
-45	39.12	141.89	370.83	228.94
-40	51.21	148.14	374.00	225.86
-35	66.14	154.44	377.17	222.73
-30	84.38	160.79	380.32	219.53
-25	106.40	167.19	383.45	216.26
-20	132.73	173.64	386.55	212.91
-15	163.94	180.14	389.63	209.49
-10	200.60	186.70	392.66	205.96
-5	243.34	193.32	395.66	202.34
0	292.80	200.00	398.60	198.60
5	349.66	206.75	401.49	194.74
10	414.61	213.58	404.32	190.74
15	488.37	220.48	407.07	186.59
20	571.71	227.47	409.75	182.28
25	665.38	234.55	412.33	177.78
30	770.20	241.72	414.82	173.10
35	886.98	249.01	417.19	168.18
40	1016.60	256.41	419.43	163.02
45	1159.90	263.94	421.52	157.58
50	1317.90	271.62	423.44	151.82
55	1491.50	279.47	425.15	145.68
60	1681.80	287.50	426.63	139.13
65	1889.80	295.76	427.82	132.06
70	2116.80	304.28	428.65	124.37
75	2364.10	313.13	429.03	115.90
80	2633.20	322.39	428.81	106.42
85	2925.80	332.22	427.76	95.54
90	3244.20	342.93	425.42	82.49
95	3591.20	355.25	420.67	65.42
100	3972.40	373.30	407.68	34.38

الملخص :

في إطار تطوير وتحسين منظومة التقطير الشمسي بإستعمال الطاقة الشمسية و السعي لتحسين المردود اليومي لإنتاج الماء المقطر من خلال نماذج التجريبية المقترحة و المعتمدة حاليا في دراسة التقطير الشمسي حيث تم الاعتماد في هذه الدراسة على المقطر البسيط ذو الميل الواحد ذو التركيبة التجريبية السهلة و البسيطة من جهة ، و الذي يعمل بالطاقة الشمسية لكونها متجددة و غير مكلفة من جهة أخرى . و الهدف من هذه الدراسة هو تحسين أداء المقطر الشمسي البسيط بإستعمال مضخة حرارية ، و المساهمة في تحسين الإنتاجية الكفاءة الطاقوية و و، كانت التجارب تعتمد على مقطرين ؛ الأول (شاهد) قمنا بطلاء مبخره بالأسود غير البراق، والثاني تمت عليه تحسينات بالنسبة لعملية التكثيف وتنقسم إلى مجموعتين حيث المجموعة الأولى تم فيها ربط مبخر المضخة الحرارية بخلية التبخير عن طريق وضع مبخر المضخة فوق السطح الزجاجي والمجموعة الثانية تم فيها وضع مبخر المضخة وسط أنابيب متصلة بخلية التقطير ، وإجراء المقارنة بينهما و بينت النتائج أن الوضعية الأولى لم تأتي بتحسين معتبر لكفاءة المقطر أما الوضعية الثانية كان لها تحسين (جد معتبر او جيد) لأن كان لها تأثير جيد في زيادة التكثيف مع الحفاظ على التبخير ودون التأثير عليه سلبا .

الكلمات المفتاحية : عملية التقطير، التقطير الشمسي، المقطر الشمسي ذو ميل واحد، الإشعاع الشمسي، انتقال الحرارة، التكثيف، التبخير، مكثف ، مبخر

Résumé

Dans le cadre du développement et de l'amélioration du système de distillation solaire utilisant l'énergie solaire et cherchant à améliorer le rendement journalier de la production d'eau distillée à travers les modèles expérimentaux proposés et actuellement approuvés dans l'étude de la distillation solaire. -mille distiller avec une formule expérimentale simple et simple d'une part, qui est alimenté par l'énergie solaire car il est renouvelable et peu coûteux d'autre part. L'objectif de cette étude est d'améliorer la performance du distillat solaire simple à l'aide d'une pompe à chaleur, et de contribuer à l'amélioration de l'efficacité énergétique. Les expériences étaient basées sur deux remorques. Et le deuxième groupe où l'évaporateur à pompe était placé au milieu des tuyaux reliés à la cellule de distillation. La comparaison a été menée avec les résultats montrant que la première position n'a pas entraîné d'amélioration significative. L'accomplissement La deuxième situation distillée s'est améliorée (très sensible ou bonne) car elle a un bon effet en augmentant la condensation tout en maintenant l'évaporation et sans l'affecter négativement.

Mots-clés: distillation, distillation solaire, distillation solaire simple, rayonnement solaire, transfert de chaleur, condensation, évaporation, condenseur, évaporateur