



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الوادي



كلية العلوم الدقيقة

أطروحة دكتوراه

مقدمة لاستكمال متطلبات نيل شهادة الدكتوراه في العلوم

الشعبة: الفيزياء

التخصص: فيزياء الطاقة الحرارية

دراسة مفعول التوتر السطحي في تحسين فعالية المقطرات الشمسية التي تعمل
بالاحتباس الحراري

**L'étude de l'effet de la tension superficielle pour améliorer
l'efficacité des distillateurs solaires qui fonctionnent a effet de**

إعداد الطالب: جاب الله دنيا

نوقشت بتاريخ 2025/02/26 أمام لجنة المناقشة:

الاسم واللقب	الرتبة	الجامعة	الصفة
عز الدين بقاص	أستاذ	جامعة الوادي	رئيساً
بوبكر بن حوة	أستاذ	جامعة الوادي	مشرفاً
محمد علي حاج عمار	أستاذ محاضر أ	جامعة الوادي	مناقشاً
ياسين معيريف	أستاذ	جامعة ورقلة	مناقشاً
جمال بشكي	أستاذ	جامعة ورقلة	مناقشاً
حمزة بوقطاية	أستاذ	جامعة ورقلة	مناقشاً
حسين بن موسى	أستاذ	جامعة باتنة	مدعواً

الاعتراف بالجميل

الحمد لله والصلاة على المبعوث رحمت للعالمين. تم بعون الرحمان إعداد هذه الأطروحة على مستوى مخبر تطوير تكنولوجيات الموارد الصحراوية (VTRS)، و وحدة تنمية الطاقات المتجددة في الناطق القاحلة (UDERZA) بجامعة الوادي الجزائر.

الشكر موصول بالأخص للأستاذ البروفيسير "بن حوة بوبكر" لموافقته على الإشراف بتأطيري، و الأستاذ "خشخوش عبد الرحمان" على مساندته مع حرصهما بتقديم النصائح و الإرشادات، و التوجيهات، و تشجيعها لي على إعداد هذه الأطروحة.

كما أنوه بالشكر الجزيل لرئيس و أعضاء لجنة المناقشة على قبول مناقشة هذه الأطروحة وهم:

الأستاذ : عز الدين بقاص ، أستاذ بجامعة الوادي. رئيسا

الأستاذ : محمد علي حاج عمار، أستاذ محاضر أ بجامعة الوادي. ممتحنا

الأستاذ : ياسين معيريف أستاذ بجامعة ورقلة. ممتحنا

الأستاذ : جمال بشكي ، أستاذ بجامعة ورقلة. ممتحنا

الأستاذ : حمزة بوقطاية، أستاذ بجامعة ورقلة. ممتحنا

الأستاذ : حسين بن موسى ، أستاذ بجامعة باتنة. مدعو

و أود الإعراب عن امتناني العميق لجميع من ساهم بشكل مباشر و غير مباشر في انجاز هذا العمل.

و يكون من سوء التقدير إهمال أفراد عائلتي الذين وقفوا معي ماديا و معنويا لإتمام هذا العمل. و اخص بالذكر والدي الذي لا ينفك برفع الدعاء لرب السماء لتوفيقني، و لزوجي "غولي محمد الصديق" الذي استمددت منه الدعم بكل معانيه، و إلى إخوتي و أخواتي.

"من قال أنا لها، نالها" لم تكن الرحلة قصيرة، و لم يكن الطريق محفوفاً بالتسهيلات لكنني بعون الله وصلت. نعم أهدي ثمرة تعبني إلى أمي الحاضرة بقلبي دائماً. وصلت يا أمي و أي فرحة بدونك ناقصة، وصلت و غصة البكاء تخنقني، أهدي لكي نجاحي و أنت الآن بقبرك. الله يرحمك يا أمي.

فهرس المحتويات

3	فهرس المحتويات.....
5	لائحة الأشكال.....
6	لائحة الجداول.....
8	مقدمة عامة.....

الفصل الأول: دراسة مرجعية.

12	1.I. مقدمة.....
12	2.I. الوضع المائي في العالم.....
14	3.I. تحلية المياه.....
14	1.3.I. تحلية المياه بطريقة التقطير البسيط (la Distillation à Simple Effet).....
15	2.3.I. طريقة التقطير بالتبخير متعدد التأثير (La distillation multi - effet).....
15	3.3.I. طريقة التقطير بالتبخير الومضي متعدد المراحل (Multi Stage Flash).....
16	4.3.I. طريقة التقطير بضغط البخار (-CV - Compression de vapeur).....
16	5.3.I. طريقة تحلية المياه بالطاقة الشمسية.....
17	4.I. الإشعاع الشمسي.....
17	1.4.I. الأرض و الإحداثيات الأرضية.....
18	2.4.I. الشمس و الإحداثيات الفلكية للشمس.....
20	3.4.I. المعالم الزمنية.....
21	5.I. الإشعاع الشمسي الوارد للأرض.....
22	1.5.I. الثابت الشمسي على مستو الغلاف الجوي.....
22	2.5.I. الإشعاع الشمسي المباشر الوارد على سطح مائل.....
23	6.I. التقطير الشمسي باستخدام الطاقة الشمسية.....
23	1.6.I. لمحة تاريخية عن التقطير الشمسي.....
23	2.6.I. المقطرات الشمسية.....
23	1.2.6.I. مبدأ عمل المقطرات الشمسية.....
24	2.2.6.I. أنواع المقطرات الشمسية.....
27	3.6.I. العوامل الداخلية و الخارجية المأثرة على التقطير الشمسي.....
28	4.6.I. بعض الدراسات و الأبحاث لأنماط مختلفة من المقطرات الشمسية.....
30	7.I. الخلاصة.....
31	المراجع.....

الفصل الثاني: الظواهر الفيزيائية الداخلة في التقطير الشمسي و ظاهرة التوتر السطحي.

35	1.II. مقدمة.....
35	2.II. الظواهر الفيزيائية الأساسية في التقطير الشمسي.....
35	1.2.II. انتقال الحرارة.....
38	2.2.II. تعاريف و مفاهيم لمقادير فيزيائية أخرى داخلة في التقطير الشمسي.....
39	3.2.II. الجسم الأسود.....
40	4.2.II. انتقال الكتلة.....
41	5.2.II. ظاهرتي التبخير و التكثيف.....
44	6.2.II. الهواء الرطب.....
45	3.II. التوازن الحراري (Billon énergétique) لجهاز التقطير الشمسي البسيط.....

45	.....1.3.II. التوازن الحراري للزجاج.
46	.....2.3.II. التوازن الحراري للماء.
46	.....3.3.II. التوازن الحراري لقاعدة المقطر (الصفیحة الماصة).
47	.....4.3.II. التوازن الحراري للعازل.
47	.....5.3.III. معاملات التبادل الحراري.
52	.....4.II. التوتر السطحي.
52	.....1.4.II. تعريف عام لظاهرة التوتر السطحي.
53	.....2.4.II. قوى الترابط و التلاصق.
53	.....3.4.II. السطح الفاصل و قانون لابلاس (Laplace).
54	.....4.4.II. العوامل المؤثرة في التوتر السطحي.
55	.....5.II. الخاصية الشعرية.
55	.....1.5.II. تعريف الخاصية الشعرية.
55	.....2.5.II. الخاصية الشعرية و علاقتها بالتوتر السطحي.
56	.....3.5.II. قياس التوتر السطحي عن طريق ارتفاع السائل في الأنبوب الشعري.
57	.....6.II. الخلاصة.
58	.....المراجع.

الفصل الثالث: الدراسة التجريبية.

59	.....1.III. مقدمة.
59	.....2.III. العوامل المؤثرة على جهاز التقطير الشمسي.
59	.....1.2.III. العوامل المناخية.
60	.....2.2.III. العوامل الهندسية.
61	.....3.III. أنواع المقطرات الشمسية مع حوض مائي يشغل الجزء السفلي من الجهاز.
61	.....4.III. الدراسة التجريبية.
62	.....1.4.III. الظروف الجوية و المناخية السائدة في منطقة الوادي.
62	.....2.4.III. مكونات المقطر الشمسي البسيط المستعمل في الدراسة التجريبية.
63	.....3.4.III. أجهزة القياس المستعملة في الدراسة التجريبية.
66	.....4.4.III. الخصائص الرئيسية لجهاز التقطير الشمسي.
68	.....5.III. الأعمال التجريبية المنجزة لهذه الدراسة (Série d'expérience).
68	.....1.5.III. مراحل إدخال مفعول التوتر السطحي على المقطر الشمسي البسيط.
71	.....2.5.III. انجاز سلسلة التجارب العملية.
72	.....6.III. الخلاصة.
73	.....المراجع.

الفصل الرابع: نتائج الدراسة التجريبية و مناقشته.

75	.....1.IV. مقدمة.
75	.....2.IV. نتائج الأعمال التجريبية المنجزة.
75	.....1.2.IV. نتائج القسم الأول من سلسلة الأعمال التجريبية المنجزة.
79	.....2.2.IV. نتائج القسم الثاني من سلسلة الأعمال التجريبية المنجزة.
81	.....3.2.IV. تكوّن فقاعات الهواء حول الأنابيب البلاستيكية.
81	.....4.2.IV. تحليل جودة المياه.
82	.....3.IV. المناقشة.
82	.....1.3.IV. آلية عمل المقطرات الشمسية أثناء أداء الأعمال التجريبية.
83	.....2.3.IV. وجهة نظر Laplace.
85	.....3.3.IV. مقارنة دراستنا التجريبية مع دراسات مماثلة لها في بعض الأبحاث العلمية.

86	.....4.3.IV. الدراسة الاقتصادية
87	.....4.IV. الخلاصة
88	.....خلاصة عامة
90	.....المراجع
92	.....الملحقات
97	.....الملخصات

لائحة الأشكال

الفصل الأول

14	.....الشكل 1.I. التقطير البسيط (العادي)
15	.....الشكل 2.I. التقطير متعدد التأثير
15	.....الشكل 3.I. التقطير بالتبخير الومضي متعدد المراحل
16	.....الشكل 4.I. التقطير بضغط البخار
16	.....الشكل 5.I. التقطير بالطاقة الشمسية
18	.....الشكل 6.I. رسم تخطيطي للإحداثيات الأرضية
19	.....الشكل 7.I. رسم تخطيطي للإحداثيات الفلكية للشمس
20	.....الشكل 8.I. رسم تخطيطي للإحداثيات الأفقية
24	.....الشكل 9.I. مقطر بسيط ذو ميل واحد
25	.....الشكل 10.I. مقطر بسيط ذو ميلين
25	.....الشكل 11.I. المقطر الشمسي الكروي بماسح
26	.....الشكل 12.I. المقطر الشمسي متعدد الطوابق
27	.....الشكل 13.I. المقطر الشمسي بالشريط الشعيري

الفصل الثاني

39	.....الشكل 1.II. مخطط توضيحي
41	.....الشكل 2.II. تبخر الماء في غياب الحمل الكتلي و الحراري
43	.....الشكل 3.II. الطبقة القشرية للماء السائل
45	.....الشكل 4.II. التوازن الحراري للزجاج
46	.....الشكل 5.II. التوازن الحراري للماء
46	.....الشكل 6.II. التوازن الحراري الكلي لقاعدة المقطر الشمسي (الصفحة الماصة)
47	.....الشكل 7.II. التوازن الحراري للعازل
52	.....الشكل 8.II. مشاهدات تبين ظاهرة التوتر السطحي
53	.....الشكل 9.II. مخطط توضيحي لظاهرة التوتر السطحي
54	.....الشكل 10.II. مخطط توضيحي للسطح الفاصل بين وسطين مختلفين في أنبوب إخبار يحتوي على الماء
56	.....الشكل 11.II. رسم يوضح تجربة قياس التوتر السطحي عن طريق ارتفاع السائل في الأنبوب الشعيري

الفصل الثالث

61	.....الشكل 1.III. مختلفة أنواع المقطرات الشمسية مع حوض مائي يشغل الجزء السفلي
62	.....الشكل 2.III. مكونات المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد
64	.....الشكل 3.III. لوحة اردوينو
64	.....الشكل 4.III. مستشعر حراري (LM 35)
64	.....الشكل 5.III. جهاز قياس الإشعاع الشمسي (Kipp & Zonen CMP-11)
65	.....الشكل 6.III. معيار (PHM210)
65	.....الشكل 7.III. مقياس الموصلية (CDM210)

66	الشكل III.8. جهاز قياس سرعة الهواء.....
66	الشكل III.9. الدورق المدرج.....
69	الشكل III.10. أبعاد المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد المصمم في تجريبيا.....
69	الشكل III.11. الغطاء الزجاجي.....
69	الشكل III.12. ساقية لتجميع و نقل الماء المقطر الناتج.....
70	الشكل III.13. التصميم التجريبي لجهاز المقطر الشمسي البسيط المستعمل في التجارب.....
70	الشكل III.14. إدخال معاملات التوتر السطحي بتثبيت الأنابيب البلاستيكية على مستوى حوض التبخر.....
71	الشكل III.15. مخطط التجربة.....

الفصل الرابع

76	الشكل IV.1. منحى تغير الإشعاع الشمسي و درجة حرارة محيط الوسط الخارجي بدلالة الزمن.....
76	الشكل IV.2. منحى تغير درجات حرارة الأوجه الداخلية للأغطية الزجاجية في المقطرات الشمسية الأربعة بدلالة الزمن.....
77	الشكل IV.3. منحى تغير درجات حرارة الأوجه الخارجية للأغطية الزجاجية للمقطرات الشمسية الأربعة بدلالة الزمن.....
78	الشكل IV.4. منحى تطور درجة حرارة مياه أحواض التبخر للمقطرات الشمسية الأربعة بدلالة الزمن.....
78	الشكل IV.5. إنتاجية الماء المقطر لكل ساعة.....
79	الشكل IV.6. الإنتاجية التراكمية للمقطرات الشمسية.....
80	الشكل IV.7. إنتاجية الماء المقطر لكل ساعة (القسم الثاني).....
80	الشكل IV.8. الإنتاجية التراكمية للمقطرات الشمسية (القسم الثاني).....
81	الشكل IV.9. تكوّن فقاعات الهواء حول الأنابيب البلاستيكية.....
81	الشكل IV.10. صورة للأنابيب البلاستيكية أثناء العملية التجريبية.....
82	الشكل IV.11. العلاقة بين الأنابيب البلاستيكية و قوة التوتر السطحي.....
83	الشكل IV.12. تكوين فقاعات هوائية في المقطرات الشمسية.....
83	الشكل IV.13. تشكل الفقاعات الهوائية و حركتها نحو الأنابيب البلاستيكية.....
84	الشكل IV.14. تأثير قوة التوتر السطحي على حركة كرات الهواء نحو الأنابيب البلاستيكية في آلية التقطير...

لائحة الجداول

الفصل الأول

13	الجدول I.1. مشاريع التقطير المنجزة في الجزائر.....
----	----------------------------------------------------

الفصل الثاني

55	الجدول II.1. قيم قوة التوتر السطحي لبعض السوائل في درجات حرارة مختلفة.....
----	----------------------------------------------------------------------------

الفصل الرابع

82	الجدول IV.1. التحليل الكيميائي لجودة الماء المقطر الناتج.....
84	الجدول IV.2. فرق الضغط بدلالة R و γ
85	الجدول IV.3. مقارنة الدراسة الحالية مع دراسات علمية المماثلة لها.....
86	الجدول IV.4. تكلفة تصنيع جهاز التقطير الشمسي المحسن.....

الملحقات

92	الجدول A.1. المعايير العالمية لمياه الشرب.....
92	الجدول A.2. الخصائص الفيزيائية للماء.....
93	الجدول A.3. يوضح احد التقديرات للتوزيع العالمي للماء.....
93	الجدول A.4. مصادر المياه بالجزائر.....

94	الجدول 5.A. النسبة المئوية للطاقة النافذة، الممتصة و المنعكسة للزجاج.....
94	الجدول 6.A. خصائص الفيزيائية لبعض المواد و المعادن.....
95	الجدول 7.A. الخصائص الحرارو- فيزيائية (thermo - physique) للهواء.....
95	الجدول 8.A. الخصائص الفيزو- حرارية (physio - thermique) للماء.....
96	الجدول 1.B. إعطاء نسب خاصة بمقادير الامتصاص و الانتشار للإشعاع الشمسي.....
96	الجدول 2.B. خصائص الهواء الجاف.....
96	الجدول 3.B. خصائص الماء المالح.....
96	الجدول 4.B. خصائص الهواء الرطب.....

مقدمة عامة

الماء هو مصدر الحياة، موجود في كوكبنا على هيئات مختلفة دون تغيير في الكمية الإجمالية (بل في الواقع يحدث له تغيرات من حالة إلى أخرى أي الدورة الطبيعية للماء)، في حين أن المياه المستخدمة تأتي من البحيرات و الأنهار و المياه الجوفية. تمثل نسبة مياه المحيطات 97% من كمية المياه الموجودة على سطح الكرة الأرضية، و تمثل نسبة المياه الموجودة في القطبين الشمالي و الجنوبي 2%، بينما المياه العذبة المتوفرة تمثل 0.07% من مجموع الموارد المائية، أي ما يقارب مليون كلم³، و لكن توزيع هذه المياه غير متكافئ للغاية (1، 2).

تتعرض الأرض منذ نشأتها للأشعة الشمسية، و تعتبر هذه الطاقة المصدر الأساسي لكل الطاقات المتجددة المعروفة على مستوى العالم، لذا تتجه أنظار هذا الأخير لاستغلال الطاقة الشمسية في عملية تنقية المياه للحصول على الماء العذب بأقل التكاليف. يستقبل كوكب الأرض مقدار ضئيل جدا من الطاقة الشمسية القادمة من الشمس، حيث 18 % منها إشعاعات منتشرة، و 30% مباشرة، بينما 52% تختفي حسب اعتبارات القيم المدونة في الملحق (B)، فمن بين تطبيقات استخدام الطاقة الشمسية؛ عملية التدفئة و التبريد، التهوية، مجال الطهي الشمسي، تجفيف المحاصيل الزراعية، معالجة الماء، تسخين الماء، الإضاءة الشمسية (3).

توفير الماء العذب في المناطق النائية و المعزولة في العالم مثل الشرق الأوسط، وسط استراليا، الصحراء الإفريقية و دول شمال إفريقيا أصبح من الأمور الضرورية في وقتنا الحالي. من بين الأسباب الكثيرة و العديدة التي تخلق مشكل نقص المياه العذبة؛ النمو السكاني، و التطورات التي تشهدها المجالات الحيوية منها الصناعية و الزراعية التي تتطلب توفير كميات هائلة من هذه المياه. بالإضافة إلى الأسباب الطبيعية (التصحّر، الاحتباس الحراري، الجفاف.....).

العديد من المناطق في العالم تصنف بأنها نائية و قاحلة تعاني من مشكل نقص و شح الموارد المائية الصالحة للشرب. هذا المشكل يتفاقم يوما بعد يوم، نظرا للنقص الحاد في معدل تساقط الأمطار الموسمية، الجفاف الشديد جراء ارتفاع درجات الحرارة، تزايد عدد السكان في نطاق ضيق و مناطق جغرافية محددة. كل هذا و غيره يدعو للقلق من نشوء حروب و صراعات حول ما تبقى من موارد مائية.

الجزائر بلد غير مستثنى من هذا المشكل، نظرا لشساعة الرقعة الجغرافية. و تمثل الصحراء ثلثي المساحة الإجمالية، يتوزع سكنها على مناطق نائية و معزولة خالية من المصادر الطاقوية الاعتيادية، و فكرة إنشاء محطات تحليه في هذه المناطق أمر في غاية الصعوبة، كون تلك المناطق تفتقر لأدنى المستلزمات الحياتية كالاتصالات، الشبكة الكهربائية ذات الجهد العالي، ... الخ.

و عليه هناك عدة حلول و تقنيات يمكن أن تساهم في حل مشكل تناقص المياه العذبة، منها الطرق الكلاسيكية المعروفة التي تستخدم الطاقة الأحفورية كمصدر طاقتي، كما أن معظم هذه الطرق مكلفة ماديا و بشريا، و الأخطار الناجمة عنها وخيمة نظرا لتأثيرها السلبي على البيئة، و هناك طرق صديقة للبيئة و منتشرة حاليا و هي استخدام تقنيات التقطير الشمسي التي تعمل بالطاقة الشمسية. و تحاكي الطبيعة في دورتها الطبيعية للماء. و من محاسن هذه التقنيات تقنيات بسيطة و معظم القوى العاملة و المواد المستخدمة في وحداتها محلية. و من ناحية تكاليف الانجاز لمثل هذه تقنيات لا تتطلب تكاليف باهظة، و أسعارها في متناول الإنسان البسيط، بينما عملية الصيانة لا تتطلب تكنولوجيا عالية، غير أن الأمر السلبي في هذه التقنيات يتمثل فقط في المردود لكل 1m² و بهذا يتطلب توفير الماء العذب تضافر جهود الباحثين في هذا المجال لتدارك العجز في تأمين هذه المادة الحيوية.

أجرى العديد من الباحثين عدة دراسات في مجال تحليه المياه المالحة و في عدة جوانب بإنشاء مختلف المحطات النموذجية للتقطير، فإنشاء أول مقطر يعمل بالطاقة الشمسية في جنوب التشيلي سنة 1872(4).

و منذ ذلك الوقت بدأت عمليات دراسة تطوير و تحسين لمردود و كفاءة هذا النموذج الذي يعبر عن مدى اهتمام الدول لتطوير هذه المنظومة، و الوصول إلى نماذج ذات كفاءة و جودة عالية، و من بين هذه النماذج التي ساهمت في تطوير هذه المنظومة نجد؛ المقطرات شمسية أحادية زاوية ميل الغطاء الزجاجي، مقطرات متعددة الفعل و غيرها.

التحقيق التجريبي المنجز من طرف (Ahmed, 1988)، يهدف في الأساس لإبراز أهمية ربط مكثف داخل مقطر شمسي بسيط أحادي الميل، الناتج اليومي من الماء المقطر يتزايد بشكل ملحوظ من مقطر بسيط لا يحتوي مكثف إضافي يبلغ الناتج حتى $5.5 \text{ kg/m}^2/\text{d}$ إلى غاية $5.9 \text{ kg/m}^2/\text{d}$ في حال مقطر يحتوي على مكثف، تعتمد فعالية هذا الجهاز على تغيرات شدة الإشعاع الشمسي حيث تبلغ %57 (5).

أما (Fath et Elsherbiny, 1993) أنجزوا تحليلاً لتأثير فعالية إدماج مكثف إضافي للمقطر الشمسي أحادي الميل، وهو عبارة عن توصيل مباشر لخلية تكثيف مضللة، يتم انتقال البخار إليها عن طريق فتحة أعلى الخلية. تم مقارنة التجارب بمقطر بسيط أحادي الميل، حيث أكد زيادة في المردود بحوالي %70 (6).

فكرة تصميم الباحث (EL-Bahi, 1999) تأتي من ازدياد معدل البخار المحصور داخل المقطر الشمسي مما يولد ضغطاً زائداً، و لتقليل من أثر هذه الظاهرة يفتح شق صغير لتمرير البخار لغرفة تكثيف ثانية، معزز بمكثف إضافي و عاكس للإشعاع مما يعطي له ميزة تحسين الأداء للجهاز. يصل معدل الإنتاج اليومي لهذا التصميم حوالي $7 \text{ L/m}^2/\text{d}$ حيث تنخفض فعاليته إلى غاية %70 حينما يعمل بإضافة المكثف، لكن ترتفع إلى غاية %75 حالما نتخلى عن المكثف (7).

النموذج المقترح من طرف (Hassan, 2002) يتمثل في مقطر بسيط مزدوج الميل، الوجه الموجه نحو الجنوب من الزجاجي، بينما الوجه الآخر عبارة عن غطاء معدني ذو زعانف لزيادة معدل التكثيف، الفكرة البارزة لهذا التصميم هي محاولة تعزيز عملية التبخير بإضافة مكثف محسن. و قد تم دراسة تأثير التبريد اللحظي للغطاء الزجاجي بالموازاة مع معاملات تشغيلية أخرى حيث وجد بأن لها تأثير ضئيل على نظام التقطير الشمسي (8).

علاوة على ذلك فان كلا من (Harmim and Boukar, 2005) أثبتنا تجريبياً مدى فعالية المقطر الشمسي العمودي بخاصية سريان ماء التبخير على سطح قماش إسفنجي. و أشاروا إلى أن معدل الإنتاج يتضاعف بصورة تلقائية مع الظروف المناخية و درجة حرارة المناطق الصحراوية، بالإضافة إلى درجة حرارة الغطاء الزجاجي، كما أظهرت الدراسة على مدى 4 أشهر بأن إنتاجية مثل هذا المقطر العمودي تتفاوت من 0.5 kg/m^2 إلى 2.3 kg/m^2 مساحة القطعة الأسفنجية (9).

المقطرات الشمسية بفعل النسيج الفتيل الماص، و هي المقطرات المميزة بالنسيج المفتول الماص؛ حيث يغمس جزء منه داخل خزان التغذية بالماء المالح من أجل الاستفادة من عملية انتقال الماء بواسطة الخاصية الشعرية. لكن (Janarthanan, 2006) اعتمد تصميمًا جديدًا لمقطر شمسي بالفيلم الشعيري. تم من خلال هذا العمل تحديد تأثير دمج كلاً من تدفق الماء المالح عبر النسيج و تدفق المياه عبر الغطاء الزجاجي و ذلك للاعتبارات التالية الخاصة الشعرية الجيدة، العوامل المناخية، و قوة الامتصاص الإشعاعي. تم تطوير هذه النظرية عن طريق التجريب في الهند بتاريخ مارس 2004 (10).

أنجز (Bechki, 2010) عملاً تجريبياً على المقطر الشمسي البسيط مزدوج ميل الغطاء الزجاجي بجنوب الجزائر. تمثل في تظليل جزئي لفترات متقطعة لجانب من جوانب الغطاء الزجاجي لتخفيض من درجة حرارته و تحسين أداء التكثيف عليه. أجريت سلسلة من التجارب أولها تمثلت في تأثير الظروف المناخية على التقطير حيث يصل الناتج اليومي من الماء المقطر إلى $6.01 \text{ L/m}^2/\text{d}$ تم تحسين هذه القيمة في السلسلة الثانية و ذلك بتعزيز قاعدة المقطر وجوانبه بمادة عازلة إضافية من رمل محلي لمنطقة ورقلة، التجربة الثالثة عبارة عن محاولة تخفيض لدرجة الغطاء الزجاجي عن طريق التظليل في فترات متقطعة من مدة التشميس لغطاء الزجاجي الموجه نحو الشمال و عليه هذا الإجراء أعطى تحسين بمقدار %12 من الناتج اليومي (11).

الهدف الرئيسي من العمل الذي أنجزه (Zeroual, 2011) هو تحسين المردود اليومي للمقطر الشمسي البسيط ذي ميلين للغطاء الزجاجي من خلال تحسين أداء المكثف، و قد تحقق ذلك عن طريق تبريد أحد

أسطحه المكثفة. أجريت على إثر ذلك سلسلتين من التجارب، في المجموعة الأولى تم تبريد الغطاء الشمالي بالماء المناسب على كامل سطحه الخارجي، لهذا زادت الإنتاجية بنسبة 11.8%. السلسلة الثانية تم خفض درجة حرارة الزجاج الشمالي و أكد ذلك من خلال وضع ظل متقطع على فترات (14 h 00-12 h 00) فكانت نسبة التحسين بهذا الإجراء حوالي 2.94% (12).

أبرزت الدراسة النظرية التي أجراها الباحث M.M.belhadj () أهم المعادلات الطاقوية لمقطر شمسي مزدوج مقترح، و هو عبارة عن إدماج جهازين مختلفين للتقطير؛ الأول ذو حوض أفقي يعمل بفعل الاحتباس الحراري بالبيت الزجاجي، أما الثاني ذو حوض عمودي يعمل بالخاصية الشعيرية للماء، و الهدف من ربط الجهازين هو الاستفادة من الفائض الطاقوي الناتج عن حوض التبخير الأفقي للمقطر الأول من جهة، و زيادة عدد سطوح التكثيف من جهة أخرى (13).

و في عمل آخر للباحث (Zerrouki) قام بعرض محاكاة رقمية لجهاز تقطير شمسي مكون من مقطر شمسي بالشريط الشعيري مرتبط بالتسلسل مع مقطر آخر تقليدي حيث تم مقارنته بمقطر شمسي تقليدي تحت نفس الظروف المناخية، و أنجزت هذه المحاكاة الرقمية من أجل إظهار مميزات النموذج و تحديد النسبة بين المساحات الماصة للمقطرين كما تم الأخذ بعين الاعتبار مختلف التحولات الحرارية و الكتلية في تقدير الإنتاج اليومي من الماء المقطر، النتائج المتحصل عليها أظهرت تفوق و فاعلية هذا النظام المقترح بنسبة تتراوح بين 54% إلى 83% مقارنة بمقطر تقليدي (14).

و في العمل المنجز من طرف (D. Djaballah, B. Benhaoua, et al) قاموا بدراسة بحثية هدفها الأساسي هو تعزيز أداء المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد و تحسين مردوده اليومي للماء المقطر بإدخال مفعول قوة التوتر السطحي عن طريق تثبيت أنابيب اسطوانية مجوفة من البلاستيك على مستوى حوض التبخر، و قد أظهرت النتائج تحسين في الأداء بنسبة قدرت بحوالي 41.4% مما يؤكد أن التوتر السطحي من أحد أهم العوامل التي تؤثر على أداء هذا الجهاز (15 ، 16).

إن استغلال الطاقة الشمسية في عملية تنقية المياه هي وجهة العالم في الوقت الحالي. فتنقيات التقطير الشمسي على الرغم من بساطة تركيبها و ايجابياتها العديدة، إلا أنها تعاني من إشكالية كبيرة و هي قلت المردود، فهل استطاع الباحثون إيجاد طرق لحل هذه الإشكالية؟ و هل هذه الطرق معقدة أم بسيطة؟ و هل المواد الداخلة في تركيب أجهزة التقطير الشمسي متوفرة في الأسواق المحلية؟ و هل هي باهظة الثمن أو في متناول الجميع؟ هل توجد تقنية بسيطة يمكنها أن ترفع من إنتاجية أجهزة التقطير الشمسي؟.

فمن خلال هذه الأطروحة قمنا بالمساهمة الجدية في تعزيز المشاريع التي تهدف إلى توفير المياه الصالحة للشرب في المناطق النائية و الصحراوية بجنوب الجزائر، و ذلك بدراسة مدى تأثير قوة التوتر السطحي على فعالية المقطر الشمسي و التي تعتبر تجديداً في هذا المجال. حيث قمنا في هذه الأطروحة بدراسة بحثية هدفها الأساسي هو تعزيز أداء المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد و تحسين الإنتاج اليومي للماء المقطر؛ عن طريق زيادة معدلات التبخر. باستخدام مفعول قوة التوتر السطحي التي تمثل أحد أهم العوامل التي تؤثر على أداء المقطر الشمسي البسيط، و لإظهارها تناولت هذه الدراسة فكرة تثبيت زعانف أو أنابيب اسطوانية مجوفة من البلاستيك على مستوى حوض التبخر للمقطر الشمسي، و قد أجريت هذه دراسة على مستوى مخبر تطوير تكنولوجيات الموارد الصحراوية (VTRS)، و وحدة تنمية الطاقات المتجددة في الناطق الفاحلة (UDERZA) بجامعة الوادي الجزائر، حيث أظهرت النتائج و الاستنتاجات المتحصل عليها أن قوة التوتر السطحي تلعب دوراً مهماً و حاسماً في أداء المقطرات الشمسية البسيطة ذات الميل الواحد كما جيء في فصول هذه الأطروحة و هي أربعة فصول:

الفصل الأول: اشتمل دراسة مرجعية تعرفنا من خلالها على الوضع المائي في العالم، طرق تحلية المياه، ثم تطرقنا إلى الإشعاع الشمسي الوارد للأرض، و التقطير الشمسي باستخدام الطاقة الشمسية بإعطاء لمحة تاريخية عنه، و المقطرات الشمسية مبدأ عملها، أنواعها، و العوامل المؤثرة على مردودها. و في نهاية الفصل قمنا بوضع قائمة اسمية لجميع المراجع المتاحة.

فصل ثاني: ذكرنا فيه الظواهر الفيزيائية الأساسية في التقطير الشمسي منها انتقال الحرارة و أشكال انتقالها، تعاريف و مفاهيم لمقادير فيزيائية، انتقال الكتلة، كما تطرقنا لظاهرة التوتر السطحي، أين أعطينا تعريف عام لهذه الظاهرة، تعريف السطح الفاصل، قانون لابلاس، الخاصية الشعرية و علاقتها بالتوتر السطحي. و في نهاية الفصل قمنا بوضع قائمة اسمية لجميع المراجع المتاحة.

الفصل الثالث: يركز هذا الفصل على الدراسة التجريبية المنجزة، و المتمثلة في إظهار مفعول التوتر السطحي باستعمال أنابيب بلاستيكية كوسيلة لرفع إنتاجية المقطر الشمسي، حيث قمنا بإعطاء لمحة مختصرة عن الظروف الجوية و المناخية السائدة في منطقة الوادي، مكونات المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد المستعمل في تجاربنا العملية، أجهزة القياس المستعملة في التجارب، إضافة إلى التوازن الحراري لجهاز التقطير الشمسي البسيط، الخصائص الرئيسية لجهاز التقطير الشمسي، و أخيرا قدمنا شرح مفصل للأعمال التجريبية المنجزة لهذه الدراسة. و في نهاية الفصل قمنا بوضع قائمة اسمية لجميع المراجع المتاحة.

الفصل الرابع: سردنا فيه نتائج الأعمال التجريبية المنجزة و مناقشتها و تحليلها، و قمنا أيضا بمقارنتها مع دراسات أخرى مماثلة لها لبعض الأبحاث العلمية و الأعمال ذات صلة بموضوع هذه الأطروحة. و في نهاية الفصل قمنا بوضع قائمة اسمية لجميع المراجع المتاحة.

و ختمنا هذه الفصول الأربعة؛ بخاتمة عامة نلخص فيها النتائج و الاستنتاجات المتحصل عليها.

الفصل الأول: دراسة مرجعية

1.I. مقدمة

الماء هو القاعدة الأساسية التي تقوم عليها الحياة فوق سطح الأرض، فعلى المياه قامت أولى الحضارات البشرية أي حيثما وجد الماء وجدت الحضارة، فنظرا للتزايد الهائل في عدد سكان العالم وارتفاع المستوى المعيشي وكذلك التطور الصناعي والزراعي، أدى كل ذلك إلى تحديد مصادر المياه الصالحة للاستعمال، في حين أصبح تلوث مياه الشرب في جميع أنحاء العالم من الحقائق الخطيرة التي تهدد حياة الإنسان بصورة مخيفة، و عليه أصبح من الضروري أن يبحث الإنسان عن وسيلة لحماية الماء من التلوث، و الذي يتمثل في الأملاح، المعادن الثقيلة، المواد العضوي و الكيماوية، السموم، البكتريا، و الفيروسات... إلخ.

و نتيجة لقلّة مصادر المياه العذبة في كوكب الأرض برزت مشكلة النقص الحاد لهذه المياه، و لقد أجريت العديد من الدراسات و البحوث حول مستقبل الوضع المائي، و كذلك البحث عن مصادر مائية جديدة غير المصادر التقليدية التي منها علي سبيل المثال تحلية المياه المالحة.

2.I. الوضع المائي في العالم

الماء العذب ليس بالسلعة الرخيصة الثمن التي يمكن الحصول عليها بالمجان من الطبيعة، فبالرغم من أن المياه تغطي سطح الكرة الأرضية بنسبة %72 إلا أن نسبة المياه الصالحة للشرب لا تتجاوز %0.3 من مخزون المياه في الكرة الأرضية، و هي موزعة بين مياه متجمدة في القطبين، و مياه سطحية تتمثل في الأنهار و البحيرات، و الباقي مخزن تحت سطح الأرض مشكلاً المياه الجوفية.

يوجد العديد من مصادر المياه في العالم منها المياه المالحة و تتمثل في البحار و المحيطات، و هي تشكل ثلاثة أرباع كمية المياه في العالم أي بنسبة %96 لكنها غير صالحة للاستعمال البشري نظرا لاحتوائها على نسبة من الملح تقدر ب %3.5، و عليه فان الحاجة لإيجاد مصادر للمياه الصالحة في العالم في تزايد مستمر خاصة في المناطق الجافة و المناطق الشبه جافة، و التي تعاني أيضا من نقص المياه الجوفية.

أعربت المفوضية الأوروبية مؤخراً عن قلقها الشديد من النقص المستمر في مصادر المياه في أوروبا، فوفقا لتقرير الأمم المتحدة لسنة 2006 فإن %20 من سكان الأرض أي 1.1 مليار إنسان يفتقرون إلى موارد عذبة للمياه، و ستزداد هذه النسبة لتصل إلى %30 عام 2025، إذن مشكلة نقص المياه لا تقتصر على الدول النامية فحسب بل ستشمل حتى الدول المتقدمة.

يعد العالم العربي أحد الأقاليم الأكثر حرما من الأقاليم التي ستشهد أزمة مائية في القرن القادم، ففي العديد من دوله خاصة في مناطقها الجافة و الشبه الجافة أين ترتفع معدلات الحرارة و التبخر و تنخفض الرطوبة النسبية في السواحل مع وجود تذبذب كبير في معدلات الأمطار الموسمية و السنوية، أدى كل ذلك إلى ظهور أزمة للمياه بشكل كبير، في حين تبلغ نسبة الموارد المائية المتاحة %0.5 من إجمالي الموارد المائية العالمية، مع العلم أن مساحة الوطن العربي تبلغ حوالي %10 من مساحة العالم، و عدد سكانه حوالي %5 من سكان العالم.

و لأجل حل هذه الأزمة المائية في العالم نقدم بعض المقترحات من بينها الحلول الطبيعية و ذلك حسب حاجة الإنسان للماء، فمن بين هذه المقترحات نقوم بدراسة الموارد الطبيعية للماء مثل مياه البحر، مياه

الشطوط، المياه الجوفية و غيرها، و الموارد الحرارية مثل الغاز الطبيعي، الخشب، النفط و غيرها، ففي حالة توفر الموارد المائية و الحرارية نلجأ إلى الطرق التقليدية الحرارية للتخلية نظرا لتوفر الطاقة، أما عند توفر المصدر المائي فقط في هذه الحالة نلجأ إلى الطاقات المتجددة مثل الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، ضغط بخار الماء الميكانيكي و غيرها.

الجزائر و بالنظر إلى مساحتها الكبيرة إلا أن 90% منها تتمثل في صحراء قاحلة، لذا فهي مثلها مثل باقي دول العالم و العالم العربي مهددة بالجفاف خلال السنوات القادمة، بسبب الخصائص المناخية التي تميزها، حيث تتراوح بين الجافة و الشبه جافة على معظم أراضيها، و كذلك ندرة المياه السطحية، كما تعاني من تذبذب في معدلات الأمطار موسميا و سنويا، بحيث من خلال كمية المياه المتساقطة سنويا يمكن تحديد مدى العجز أو الاكتفاء للماء الصالح للاستعمال، ففي المناطق الساحلية في الشمال الجزائري أين يعيش ثلاثة أرباع السكان يسجل فيها معدل أكثر من 2000 mm/an، لتقل في شمال الصحراء عن 100 mm/an، أما الشرق الجزائري فهو أكبر نسبة من الغرب.

و لمعالجة أزمة التزود بالماء العذبة قامت الجزائر باستثمار مشاريع التقطير حيث يمثل الجدول 1.I. معظم المشاريع التي تم بناءها إلى غاية 2000 (17،18):

الجدول 1.I. مشاريع التقطير المنجزة في الجزائر.

الموقع	عدد الوحدات	التدفق (m ³ /jour)	الصناعة المستعملة	الطريقة
أرزيو	14	35.328	البتترول/ الغاز	الومضي المتعدد المراحل/ التبادل الأيوني/ الضغط الحراري/ الاستقطاب الكهربائي
سكيكدة	04	29.750	البتترول/ السماد	الومضي المتعدد المراحل/ التبادل الأيوني
حاسي مسعود	06	4.070	البتترول	الاستقطاب الكهربائي
عنابة	09	30.560	الفولاذ/ البتترول	الومضي المتعدد المراحل / التبادل الأيوني
مستغانم	01	57.600	الورق	الأسموز العكسي
حاسي الرمل	06	2.070	الغاز	الأسموز العكسي / الاستقطاب الكهربائي
وهران	02	1.720	القدرة	-
المجموع	42	161.098	-	-

فخلال سنة 2021 بلغ العرض الوطني للمياه الصالحة للشرب 3.6×10^9 m³، 50% منها يأتي من المياه الجوفية؛ فعدد الآبار التي تتوفر عليها الجزائر و المستغلة حاليا 281 ألف بئر بسعة تفوق 6.6×10^9 m³، و 30% منها مياه سطحية؛ حيث بلغ عدد محطات معالجة المياه السطحية 116 محطة بطاقة تقدر بـ 586×10^6 m³، و 17% من تحلية مياه البحر؛ من بينها مشاريع إزالة المعادن من المياه المالحة و ذلك على مستوى 34 محطة بلغت سعتها الإنتاجية 52.6×10^9 m³ سنوياً (19).

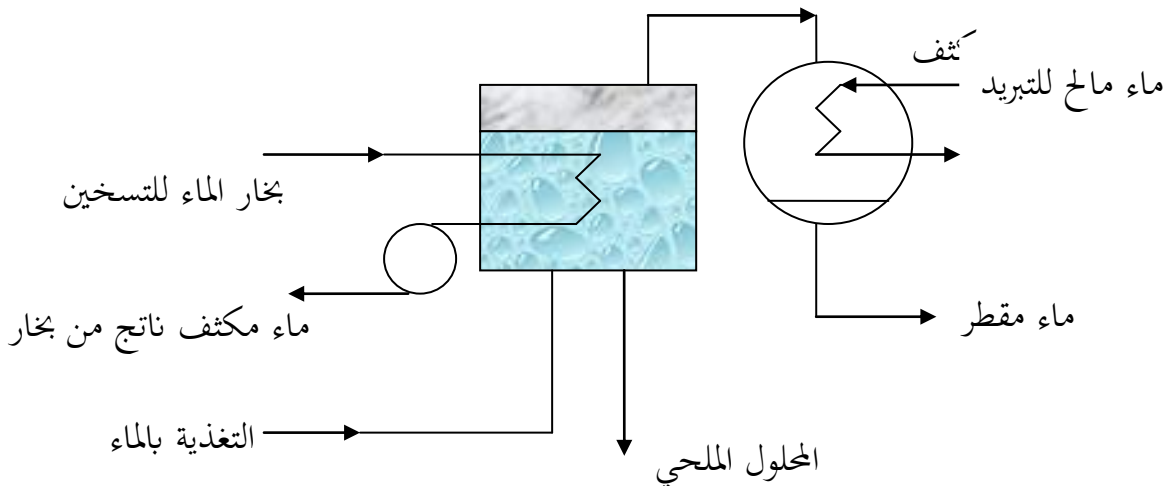
لتحقيق الأمن المائي و معالجة إشكالية التزود بالماء بشكل نهائي، أعدت الجزائر آفاق 2024 و 2025 استراتيجية عمل تهدف إلى تزويد المناطق التي تتمركز فيها كثافة سكانية تعادل 80% من إجمالي سكان البلاد، و ذلك انطلاقاً من 19 محطة تحلية و 4 محطات أحادية الكتلة للتحلية خلال سنة 2024 بإنتاج $1.39 \times 10^9 \text{m}^3$ سنوياً، و سترتفع نسبة الاعتماد على المياه المحلاة من 42% إلى 60% بحلول 2030 بإنتاج يعادل $2 \times 10^9 \text{m}^3$ سنوياً (19).

3.I. تحلية المياه

بصفة عامة إن أزمة المياه الناشئة في العالم تدفعنا للبحث و التقصي عن طرق جديدة للحصول على المياه العذبة، و السبيل الأمثل لذلك يكمن في تحلية المياه المالحة و تحويلها إلى مياه نقية صالحة للاستعمال، و يتم ذلك عن طريق فصل الأملاح عن الماء المالح باستخدام طرق متعددة بعضها حديث و بعضها معروفة منذ قرون مضت، و الطريقة الأكثر شيوعاً و التي ظلت مستخدمة طيلة هذه القرون، هي تبخير المياه و تكثيفها على أسطح باردة، و من هنا سنذكر بعض الأساليب و التقنيات المستعملة في تحلية المياه:

1.3.I. تحلية المياه بطريقة التقطير البسيط (La Distillation à Simple Effet)

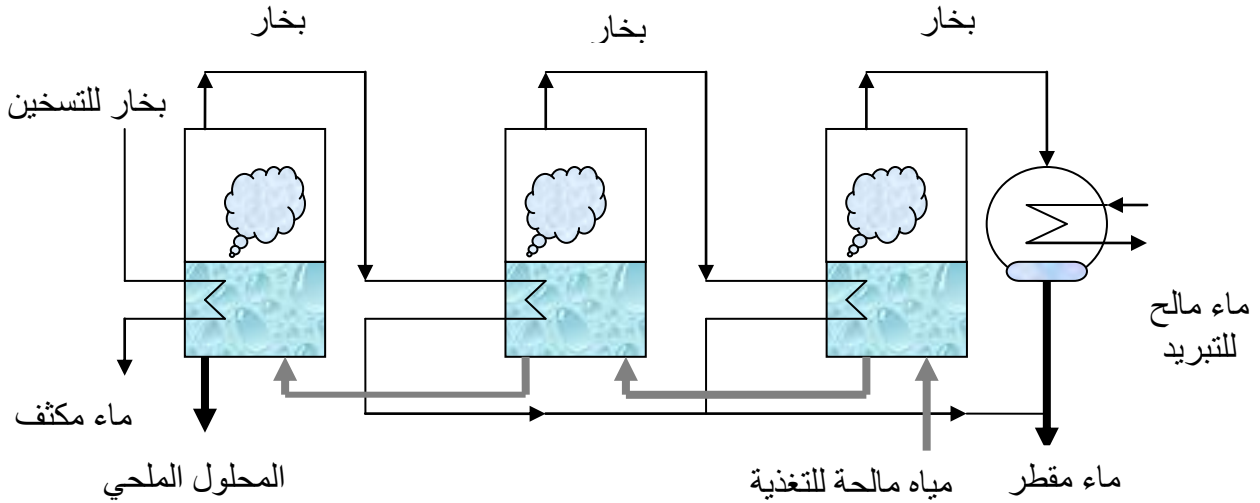
تعتمد هذه الطريقة أساساً على التغير في حالة المادة، حيث يتم فيها رفع درجة حرارة المياه المالحة إلى درجة الغليان ليتشكل بخار الماء و من ثم تكثيفه للحصول على الماء المقطر، و عادة تحتاج هذه الطريقة إلى وحدتي مبدلات حرارية، أحدها لتبخير الماء و الآخر لتكثيفه، حيث يتبخر الماء المالح في خزان ماء بدون ضغط، و لأجل التسخين نستعين بمبادل حراري يسري به بخار الماء، فيتصاعد بخار الماء إلى أعلى الخزان و يخرج عبر مسار موصول بالمكثف لينكثف هذا البخار و يعطي قطرات ماء خالية من الأملاح ثم يجمع في خزان للماء المقطر كما هو موضح في الشكل 1.I. (20):



الشكل 1.I. التقطير البسيط (العادي).

2.3.I. طريقة التقطير بالتبخير متعدد التأثير (La Distillation Multi - Effet)

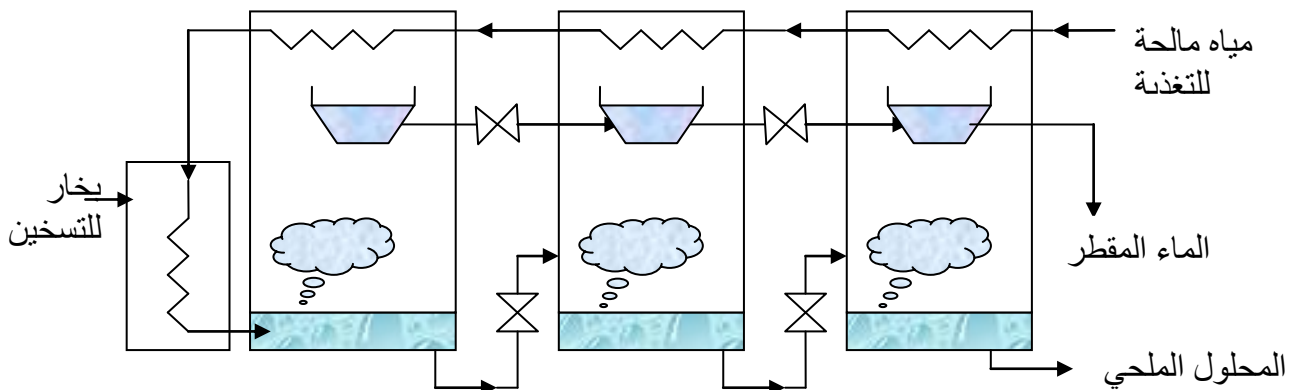
استعمل هذه الطريقة أول مرة في أوائل القرن 19 ميلادي، و تمتاز بارتفاع معدل الأداء، فكمية البخار الناتجة في أي مرحلة (تأثير - effet) يمكنها أن تكون مصدرا حراريا لإنتاج كمية بخار أخرى في المرحلة التالية، و هكذا كما هو مبين في الشكل 2.I. و عليه كلما زاد عدد المراحل (التأثيرات) لهذه التكنولوجيا زاد معدل الأداء، و بالتالي زيادة الإنتاجية (20 ، 21 ، 22).



الشكل 2.I. التقطير متعدد التأثير.

3.3.I. طريقة التقطير بالتبخير الومضي متعدد المراحل (Multi Stage Flash)

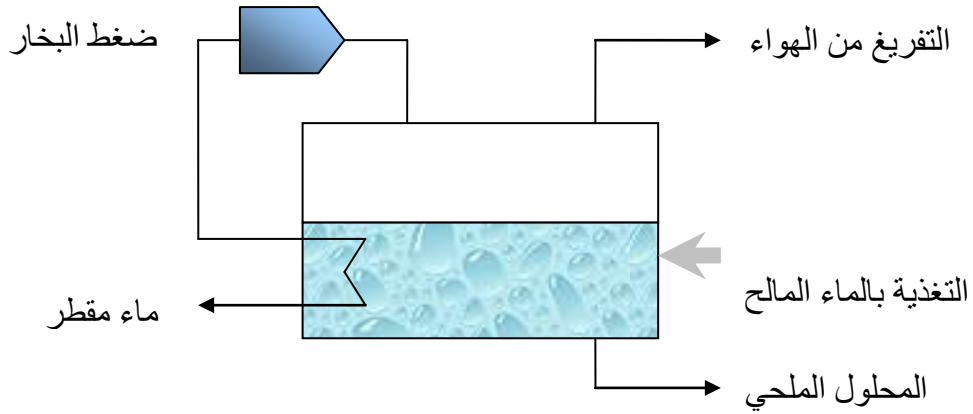
تم اكتشافها في فرنسا من طرف العالم ر.س. سيلفر (R.S.Silver) عام 1950، و هي أولى الطرق المستعملة في التحلية باسترجاع الحرارة الضائعة في المكثف، و تتكون هذه الطريقة من مجموعة طوابق كما هو مبين في الشكل 3.I. و هي تمتاز بإمكانية رفع درجة الحرارة القصوى إلى 120°C ، و تتم هذه الطريقة بتمرير مياه البحر بعد تسخينها إلى غرف متتالية ذات ضغط منخفض فتتحول إلى بخار الماء ليتم تكثيفه على أسطح باردة، و تستخدم أيضا في محطات ذات الطاقة الإنتاجية الكبيرة (20 ، 21 ، 22).



الشكل 3.I. التقطير بالتبخير الومضي متعدد المراحل.

4.3.I. طريقة التقطير بضغط البخار (Compression De Vapeur – CV-)

استخدمت هذه التكنولوجيا في أوروبا عام 1910 و اليابان منذ 1920، و تعتبر هذه الطريقة إحدى الطرق المستخدمة للوحدات المتوسطة نسبياً لإنتاج الماء $5000 \text{ m}^3/\text{j}$ ، و يتم فيها الاستفادة من حرارة البخار في المراحل الأخرى (التقطير متعددة التأثير و التبخير الومضي (MSF)) كمصدر بخار خارجي للتسخين بعد ضغطه و يعتبر مصدراً أساسياً للحرارة الشكل 4.I. و في هذه الطريقة يمكن الحصول على اقتصادية عالية للطاقة، لكن من الضروري الحصول على الطاقة الميكانيكية باستخدام ضاغط (20 ، 21 ، 22 ، 23).

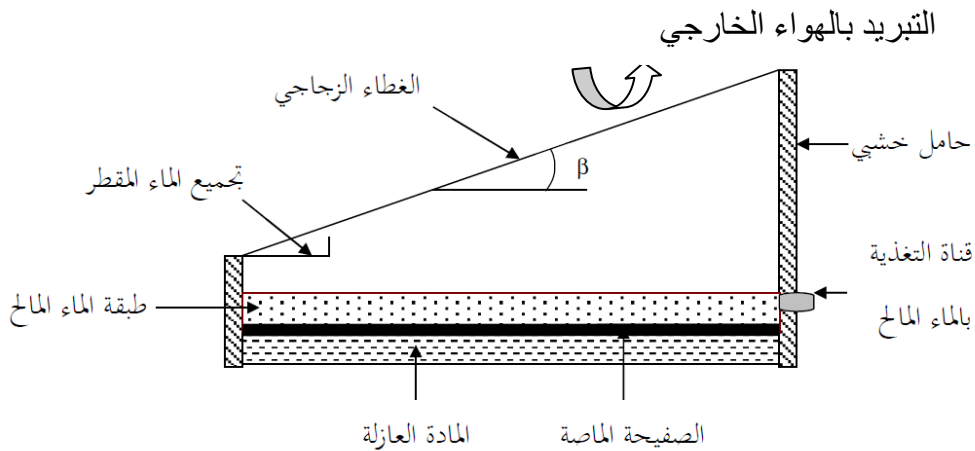


الشكل 4.I. التقطير بضغط البخار.

5.3.I. طريقة تحلية المياه بالطاقة الشمسية

التقطير الشمسي هو تقنية لتنقية المياه بواسطة حرارة الشمس، و ذلك بتبخير المياه المالحة و من ثم تكثيف و تجميع البخار النقي الناتج لاستخدامه لاحقاً الشكل 5.I. و تعتبر هذه الطريقة حلاً بسيطاً منخفض التكلفة و مستداماً خاصة للمجتمعات التي لا تتوفر فيها المياه الصالحة للشرب.

و نتيجة لارتفاع تكلفة الطاقة المستعملة في الطرق التقليدية خاصة بالنسبة للمناطق التي تتمتع بطاقة شمسية عالية، و تعاني في الوقت ذاته من ندرة المياه العذبة زادت أهمية تحليه المياه بالطاقة الشمسية حالياً، التي تعتبر من أقدم الطرق للحصول على المياه العذبة (17 ، 18).



الشكل 5.I. التقطير بالطاقة الشمسية.

4.I. الإشعاع الشمسي

تعتبر الطاقة الشمسية طاقة كهرومغناطيسية تنتج من الأشعة المنبعثة من الشمس، و تصل قدرتها الإشعاعية إلى 1000W/m^2 وهي على شكل حزمة ما تحت الحمراء، و ضوء مرئي يصل إلى سطح الأرض بعد 8 دقائق، و تعتبر هذه الإضاءة مصدرا للعديد من منابع الطاقة الحفزية المتحجرة منذ عصور جيولوجية مضت مثل الكربون، البترول و الغاز الطبيعي، بالإضافة إلى الطاقات الطبيعية المتجددة المباشرة و الغير مباشرة مثل طاقة الرياح و الطاقة الناتجة بفعل الهيدروليكا.

في كل لحظة يستقبل نصف الكرة الأرضية طاقة تعادل 178.1015W على شكل إشعاعات شمسية بطول موجي محصور بين $5\ \mu\text{m}$ و $0.25\ \mu\text{m}$ ، في حين 40% من هذه الطاقة الواردة تنتشر نحو الفضاء الخارجي بفعل الغيوم و غازات الغلاف الجوي (24).

1.4.I. الأرض و الإحداثيات الأرضية

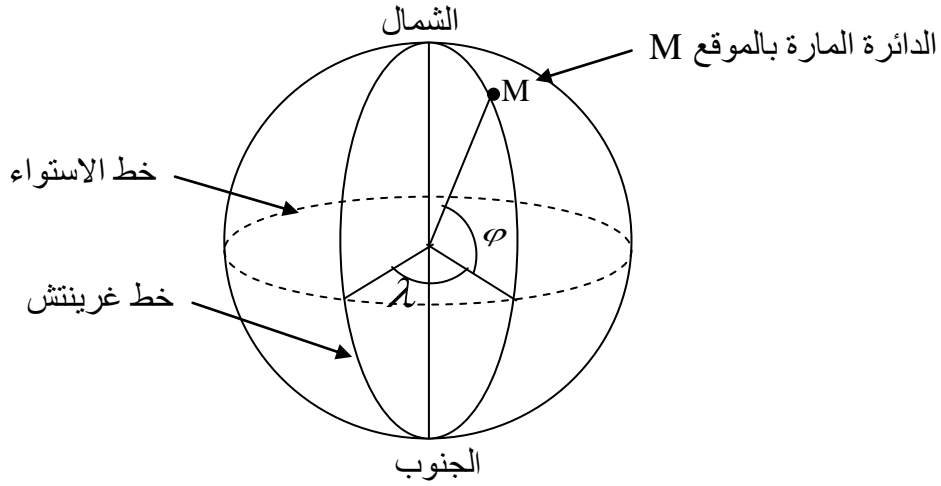
تحاط الأرض بغلاف جوي، شكلها كروي يقدر قطرها بـ $1.27 \times 10^7\ \text{m}$ ، كتلتها حوالي $6 \times 10^{24}\ \text{kg}$ ، و كثافتها 5.51 ، كما أن الأرض تدور حول محورها بحركة معقدة في 23 ساعة و 56 دقيقة و 4 ثوان بسرعة زاوية تقارب $5.5 \times 10^{-5}\ \text{rad/s}$ مشكلةً اليوم، و حول الشمس عبر مسار إهليجي في 365 يوم و 9 ساعات و 10 دقائق بسرعة زاوية تقارب $7.3 \times 10^{-5}\ \text{rad/s}$ مشكلةً السنة، و كل هذا يتغير حسب المدة النسبية لليوم و حسب الفصول الأربعة للسنة، كما يمكن حساب المسافة بين الأرض و الشمس بالعلاقة (25):

$$(I.1) \quad d(n) = 1 - 0.017 \cos \left[\frac{360}{365} (n - 2) \right] \quad (UA)$$

حيث: n عدد الأيام في السنة محسوبة من 1 جانفي إلى غاية اليوم المدروس.

و لتحديد منطقة ما من سطح الأرض نلجأ إلى الإحداثيات الهندسية، الشكل 6.I. و هي (24، 26):

- **خط العرض (φ):** يحدد خط العرض المسافة الزاوية لهذه المنطقة بالنسبة لخط الاستواء و تتغير من 0 إلى 90° باتجاه الشمال، و من 0 إلى -90° باتجاه الجنوب.
- **خط الطول (λ):** هي الزاوية بين خط غرينتش و المنطقة المراد تحديدها، و تتغير من -180° إلى $+180^\circ$ كما هو موضح في الشكل 6.I.
- **ارتفاع المنطقة (h):** هي المسافة بين هذه المنطقة من الأرض مع المستوى المتوسطي لسطح البحر عادة تحسب بوحدة المتر.



الشكل 6.I. رسم تخطيطي للإحداثيات الأرضية.

2.4.I. الشمس و الإحداثيات الفلكية للشمس

الشمس هي نجم كروي الشكل، تتكون عامة من غاز الهيدروجين، قطرها 1.39×10^9 m أي أطول من قطر الأرض بحوالي 109 مرة، كتلتها 2×10^{30} Kg و تعادل 333432 مرة من كتلة الأرض، و تقدر المسافة بينها و بين الأرض بحوالي 150×10^6 km، أما كثافتها المتوسطة فتقدر بـ 1.41 و هي أقل بحوالي 3.88 مرة من كثافة الأرض.

على سطح هذا النجم تتم التفاعلات الحرارية- نووية (He أو جسيمات α) فتحول في كل ثانية 564×10^6 tonnes من الهيدروجين إلى 560×10^6 tonnes من الهيليوم، و ينتج عنها طاقة ($E = m c^2$) معظمها إشعاع كهرومغناطيسي، تتوزع و تنتشر في مجال كبير لطول الموجات $\lambda \in [10^{-10}, 10^4]$ m، كما تصل درجة حرارة قلب الشمس إلى 10^7 k بينما درجة حرارتها على السطح تصل إلى 5760 k (25).

✓ الانحراف الشمسي (δ)

يتواجد المسار الإهليجي الذي تدور فيه الأرض حول الشمس ضمن مستوى يدعى مستوى الإهليجي، فالانحراف الشمسي (δ) نقصد به الزاوية المشكلة باتجاه الشمس التي يصنعها الناظم لهذا المستوى مع محور الدوران بالنسبة للأرض كما هو موضح في الشكل 7.I، و تتغير هذه الزاوية على مدار السنة من خلال العلاقة التالية (28):

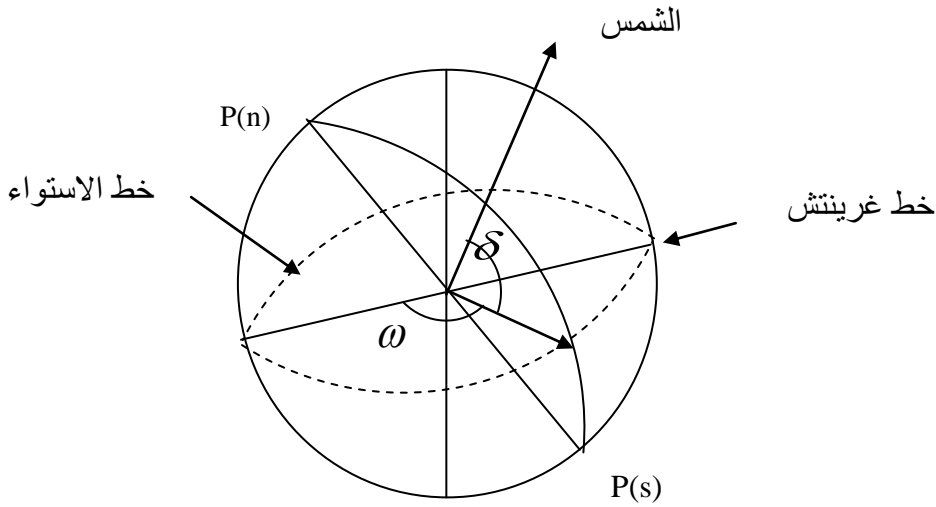
$$(I.2) \quad \delta = 23.45^\circ \cos(30 N_m - 202 + N_{jm}) \quad (^\circ)$$

حيث تمثل N_m عدد شهور السنة، و N_{jm} تمثل رقم اليوم في الشهر، و يأخذ أقصى قيمة زاوية له (23.45°) في 21 جوان و أدنى قيمة زاوية له (23.45°) في 21 ديسمبر.

✓ الزاوية الزمنية (ω)

الزاوية الزمنية هي مقدار الإزاحة الزاوية النسبية للشمس من وقت الزوال، و هي تحدد موقع الشمس بالنسبة لمركز الأرض كما هو موضح في الشكل.7.I، و يمكن تحديدها من خلال دوران الأرض حول محورها و تتعلق مباشرة بالزمن الحقيقي للشمس و عبارتها تعطى كالتالي (27):

$$(I.3) \quad \omega = \left(\frac{\pi}{12}\right) (TSV - 12) \quad (^\circ)$$



الشكل 7.I. رسم تخطيطي للإحداثيات الفلكية للشمس.

✓ الارتفاع الشمسي (H)

هي الزاوية المشكلة بين شعاع الشمس الواصل لنقطة ما و المستوي الأفقي المار بهذه النقطة مثل ما هو موضح في الشكل.8.I، و هذا الارتفاع يأخذ القيمة من $0^\circ - 90^\circ$ و ذلك بالنسبة للمستوى الأفقي، و تكون قيمته موجبة فوق هذا المستوى و سالبة تحته، و تعطى عبارتها بالعلاقة التالية (28):

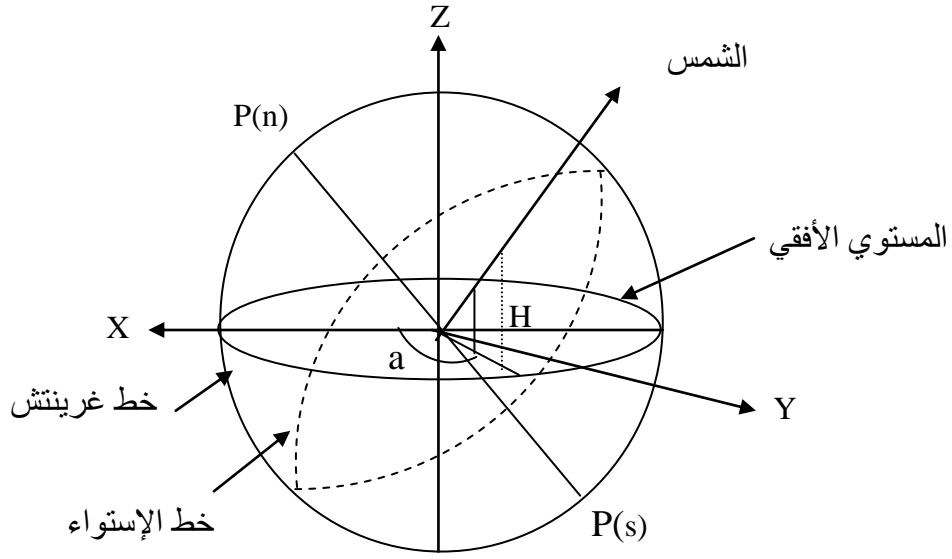
$$(I.4) \quad \sin(H) = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega$$

✓ السميت (a)

تحدد زاوية السميت موقع الشمس بالنسبة للمنطقة المدروسة، و هي الزاوية المنحصرة بين إسقاط شعاع الشمس على المستوي الأفقي و الخط المتجه للجنوب مثل ما هو موضح في الشكل.7.I، و السميت يربط بين الزاوية الزمنية و الانحراف الشمسي بالعلاقة التالية (27):

(I.5)

$$\sin(a) = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos H}$$



الشكل 8.I. رسم تخطيطي للإحداثيات الأفقية.

3.4.I. المعالم الزمنية

إن الدوران الغير المنتظم و المتغير على مدار السنة للأرض حول الشمس، يعطي حسابات و نتائج غير صحيحة بالنسبة للحظة الزوال (12:00h) لكل أيام السنة، لذا نستخدم المعالم الزمنية و هي كالآتي:

✓ الزمن العالمي

هو زمن مرور الشمس بخط غرينتش، و يعطى بالعلاقة (27):

(I.6)

$$T.U = T.S.M - \frac{\lambda}{15} \quad (h)$$

λ : يمثل خط الطول حيث أن: $\lambda > 0$: من اجل المدن الواقعة شرق خط غرينتش .
 $\lambda < 0$: من اجل المدن الواقعة غرب خط غرينتش .

✓ الزمن المحلي

بما أن الأرض ترسم زاوية 360° في 24 ساعة أي $(15^\circ/h)$ فإن الزمن المحلي مرتبط بالزمن العالمي، و بالفارق الزمني، و عبارته كالتالي (27):

$$(I.7) \quad T.L = T.U + \Delta T \quad (h)$$

و الفرق بين الزمن الشمسي المحلي و الزمن العالمي يسمى بالتصحيح.

✓ الزمن الشمسي المتوسط

إن المدى النهاري النظري متناظر بالنسبة للزوال، و نسمي لحظة مرور الشمس على الزوال بالزمن الشمسي المتوسط ($T.S.M$) في منطقة ما و يساوي (27):

$$(I.8) \quad T.S.M = T.U \pm \frac{\lambda}{15} \quad (h)$$

✓ الزمن الشمسي الحقيقي

يمثل الزاوية الزمنية المشكلة بين خط غرينتش المار بمركز الشمس و خط غرينتش العمودي على المكان و تعطى بالعبرة التالية (27):

$$(I.9) \quad T.S.V = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (h)$$

5.I. الإشعاع الشمسي الوارد للأرض

عند ورود الأشعة الشمسية للأرض لا تصل كلها إلى سطح الأرض، و ذلك لأن الغلاف الجوي يعترض مسارها فلا يسمح بمرور جميع الأشعة الواردة من الشمس، و عليه ينقسم الإشعاع الشمسي الوارد إلى:

- الإشعاع المباشر (I): هو الإشعاع الذي يمر بالغلاف الجوي و يصل مباشرة لسطح الأرض بدون أن يتعرض لأي تغيرات (امتصاص أو انتشار)، و يعطى بالعلاقة:

$$(I.10) \quad I = I_0 \sin(h) \quad (W/m^2)$$

- الإشعاع المنتشر (D): هو جزء من الإشعاع الشمسي الذي ينعكس بفعل الجزيئات الصلبة منها أو السائلة العائمة في الجو، التي ليس لها منحى و لا اتجاه معين.
- الإشعاع الإجمالي (G): هو مجموع الإشعاعات المباشرة و المنتشرة معا (25) حيث:

$$(I.11) \quad G = I + D \quad (W/m^2)$$

1.5.I. الثابت الشمسي على مستوى الغلاف الجوي

و هو مقدار الطاقة الشمسية المتدفقة التي تتلقاها مساحة واحد متر مربع على مستوى الغلاف الجوي، ففي سنة 1980 أخذ هذا الثابت قيمة $I_0 = 1367 Wm^{-2}$ ، حيث أنه لا يتغير على مدى أيام السنة نظراً لأن المسافة الموجودة بين الشمس و الأرض تقريبا ثابتة، حيث أن المقدار التصحيحي لهذا الثابت يعطى بالشكل التالي (26):

$$(I.12) \quad I_{T-S} = 1 + 0.034 \cos \left((N_j - 2) \left(\frac{360}{365} \right) \right)$$

و عليه يمكن استنتاج القيمة التصحيحية لثابت الشمس بالشكل التالي:

$$(I.13) \quad I_C = I_0 I_{T-S}$$

2.5.I. الإشعاع الشمسي المباشر الوارد على سطح مائل

عبارة عن مسقط المركبة النظامية على السطح المائل حسب (28):

$$(I.14) \quad I_N = \rho I_0 I_{T-S} \exp \left(-1/6 \sin(h + 2) \right)$$

و يكون لدينا:

$$(I.15) \quad I_D = I_N \cos(i)$$

و هي عبارة الإشعاع المنتشر (D) حيث: I_N يمثل المركبة النظامية للإشعاع المباشر و هي زاوية الورد للإشعاع، و ρ سماحية الرؤية (L' albedo).

6.I. التقطير الشمسي باستخدام الطاقة الشمسية

في وقتنا الحالي زادت أهمية تحليه المياه بالطاقة الشمسية، التي تعتبر من أقدم الطرق للحصول على المياه العذبة و ذلك نتيجة لارتفاع تكلفة الطاقة المستعملة في الطرق التقليدية خاصة في المناطق التي تتمتع بطاقة شمسية عالية و تعاني في الوقت ذاته من ندرة المياه العذبة. و لكن تستمد معظم هذه الطرق التقليدية الطاقة من الوقود و الكهرباء، في حين و على الرغم من اعتبارها طاقة من درجة أقل يمكن استغلال الطاقة الشمسية في أجهزة التقطير، و ذلك من خلال الاستفادة من أشعة الشمس لتسخين المياه المالحة.

1.6.I. لمحة تاريخية عن التقطير الشمسي

عرف الإنسان منذ القدم أن للشمس طاقة هائلة، و حاول إيجاد أساليب لاستغلالها، فأول اختراع في مجال الطاقة الشمسية للعالم (Archimède) باكتشافه لمادة الزجاج و ما لديها من خواص، بحيث من الممكن تصنيع عدسات و مرآيا تساهم في استغلال هذه الأشعة.

و في القرن 18 و لأهداف علمية اخترع العالم الفيزيائي (Saussure) اللواقط الشمسية، حيث أول استخدام لطاقة الشمس في التقطير كانت سنة 1872 من طرف المهندس السويدي (Carlos Wilson) في صحراء (Lassalinas) شمال الشيلي، و كان ذلك على شكل أحواض سوداء تستعمل كعناصر لأشعة الشمس تكون مغطاة بالزجاج، و ينتج هذا المقطر كمية معقولة من الماء الصالح للشرب في اليوم (98، 30).

2.6.I. المقطرات الشمسية

1.2.6.I. مبدأ عمل المقطرات الشمسية

التقطير الشمسي هو ظاهرة طبيعية، لها نفس مبدأ الظواهر الحقيقية، فمثلاً عندما تسقط الأشعة الشمسية على مياه البحر تقوم بتسخينه ليتبخر و يرتفع إلى الأعلى، ثم ينتقل البخار بواسطة الرياح إلى أماكن باردة ليتكاثف و يشكل السحب لتكون بعدها مطراً أو ثلجاً.

و محاكاةً لمبدأ الظواهر الطبيعية الحقيقية فإننا نستطيع الحصول على المياه العذبة، و ذلك باستعمال المقطرات الشمسية، حيث يتم تغذيتها بالماء عبر قنوات خاصة لتصل إلى قاعدة المقطر أين يتم تسخينه بواسطة الأشعة الشمسية الساقطة على سطحه من خلال الغطاء الشفاف، فترتفع درجة حرارته إلى مستوى أعلى من درجة حرارة الغطاء الزجاجي و أعلى من درجة حرارة الهواء الموجود في الفراغ بين سطح الماء و الغطاء الزجاجي داخل الجهاز، و ذلك بفعل ظاهرة الاحتباس الحراري للإشعاع الشمسي تحت الغطاء الزجاجي، و عليه فإن ضغط البخار يرتفع مع ارتفاع درجة الحرارة؛ و نتيجة لهذا الفارق في الضغط بين طبقة البخار الملامسة لسطح ماء الحوض و البخار الموجود في الهواء فإن ماء الحوض يتبخر لمعادلة ضغط البخار داخل الحوض ليصل إلى السطح الداخلي للغطاء فيتكاثف عليه مشكلاً قطرات من الماء العذب التي تنزل بتأثير ثقلها في وعاء تجميع الماء المقطر. و من محاسن هذا النظام هو نظام بسيط و معظم القوى العاملة و المواد المستخدمة في وحداته محلية.

2.2.6.I. أنواع المقطرات الشمسية

بالرغم من أن لها نفس مبدأ العمل، لكن توجد عدة أنواع للمقطرات الشمسية:

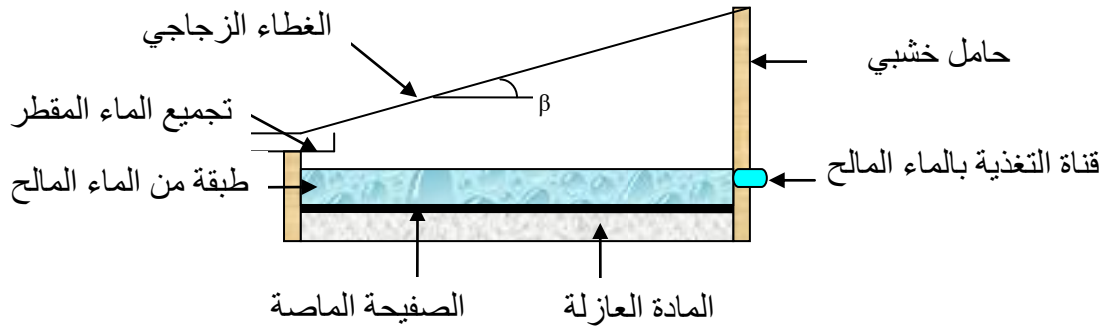
المقطر الشمسي البسيط (Distillateur à Simple Effet)

هو المقطر الأكثر استعمالاً في العالم، و هو عبارة عن حوض مملوء بالماء المالح و لأجل التقاط أكبر كمية من الإشعاع الشمسي تكون قاعدته ذات لون اسود، و مغطى بغطاء من الزجاج يكون مائلاً بزاوية معينة، فيتكاثف البخار المتصاعد على الجزء الداخلي لهذا الغطاء الزجاجي.

على الرغم من سهولة تركيب و صيانة هذا النوع من المقطرات و ثمنها المنخفض نوعاً ما، إلا أن إنتاجيتها للماء المقطر من درجة $2.5 - 3L/m^2 / j$ بسبب انخفاض الفعالية (31، 32)، و توجد عدة نماذج لهذا النوع و هي:

✓ المقطر ذو الميل الواحد (Distillateur à pente unique)

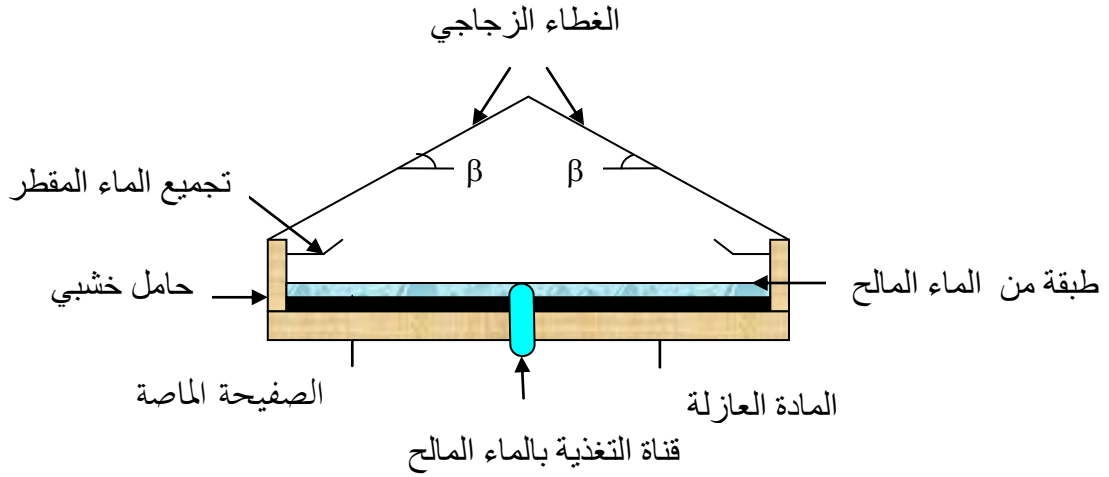
و هذا النوع من المقطرات بسيط تقام عليه الكثير من التجارب من طرف الباحثين، و ذلك لسهولة الفك، التركيب، و الصيانة، و هو مقطر بلاقط واحد مائل بزاوية ثابتة (β) ، كما هو في الشكل 9.I. (33، 34):



الشكل 9.I. مقطر بسيط ذو ميل واحد.

✓ المقطر ذو ميلين (Distillateur à Double Pentes)

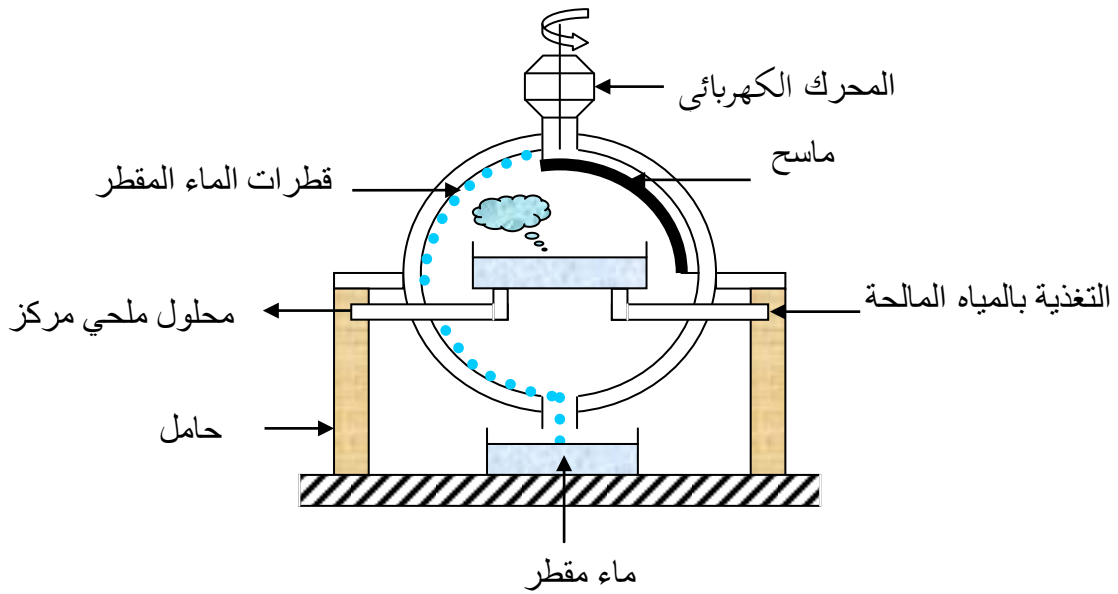
الاختلاف بينه و بين المقطر البسيط ذو الميل الواحد هو وجود لاقطين كل واحد منهما يميل بزاوية (β) ، و ذلك لزيادة مساحة التقاط الإشعاع الشمسي و مساحة التكثيف، حيث يوجه إحدى اللاقطين للشمس و الآخر للظل لتسريع عملية التكثيف، الشكل 10.I. (35):



الشكل 10.I. مقطر بسيط ذو ميلين.

✓ المقطر الشمسي الكروي بماسح (Distillateur Sphérique à Balayage)

هو عبارة عن كرة زجاجية في وسطها حوض أفقي دائري الشكل، أسود اللون حتى يتمكن من امتصاص الإشعاع الشمسي، و يوضع فيه الماء المالح فيتبخر ثم يتكاثف على السطح الداخلي للكرة الزجاجية مشكلا قطرات الماء المقطر، ثم تجمع أسفل هذه الكرة، و لجعل الزجاج شفاف يستعمل ماسح يدور بواسطة محرك كهربائي في السطح الداخلي أعلى المقطر، و أول من اقترح هذا النوع هو (Pr. Menguy) بجامعة لندن، الشكل 11.I. يعطي مخطط لهذا المقطر (36 ، 37):



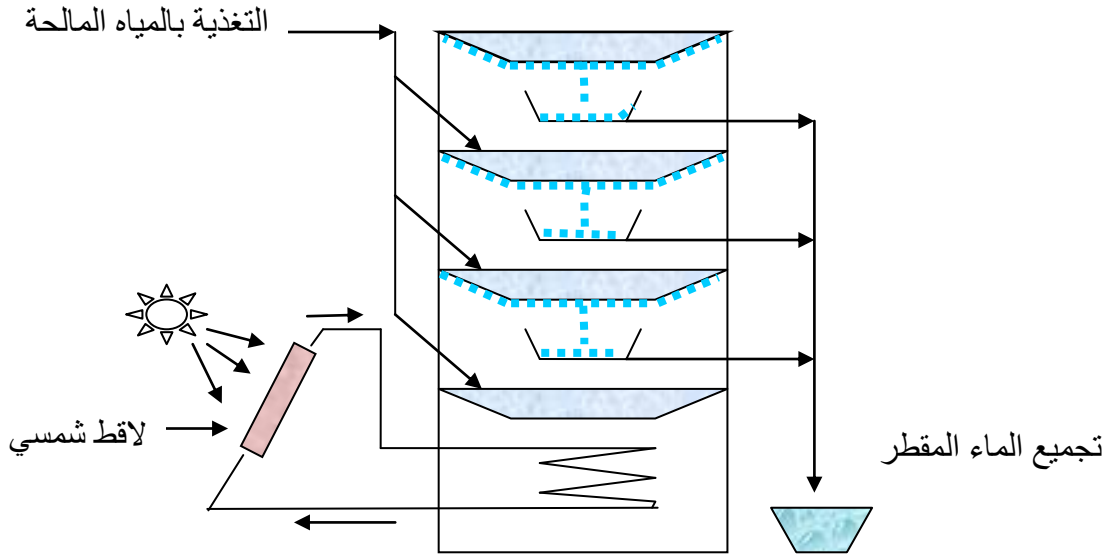
الشكل 11.I. المقطر الشمسي الكروي بماسح.

المقطرات المتعددة (Distillateurs à Multiples Effets)

يتميز هذا النوع من المقطرات باحتوائه على عدة مبخرات و لها عدة نماذج منها:

✓ المقطر الشمسي متعدد الطوابق (Distillateur Solaire à Multiples étages)

و يتميز هذا النموذج بالاستعمال الغير المباشر لأشعة الشمس، حيث يتم تسخين مائع حراري داخل اللاقط الشمسي، ثم ينقل هذا المائع إلى مبدل حراري أين تنتقل الحرارة إلى حوض الماء المالح، ليتبخر الماء ثم يتكاثف على السطح السفلي للحوض الثاني (موجود في الأعلى)، الذي بدوره يحتوي على ماء مالح، وهكذا تتم عملية استرجاع الحرارة الناتجة من تكاثف البخار في الطابق (N) لتسخين الماء المالح في الطابق (N+1) كما هو موضح في الشكل.12.I. (36):

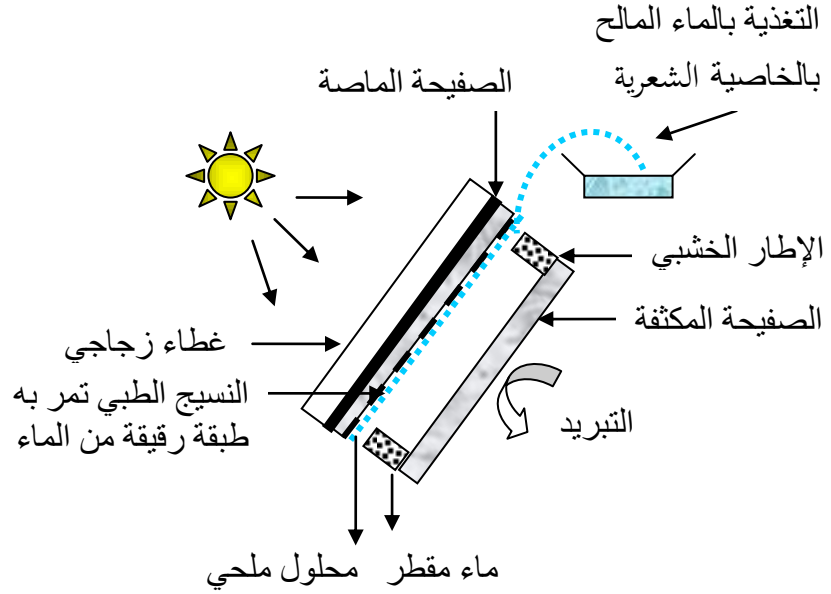


الشكل 12.I. المقطر الشمسي متعدد الطوابق.

✓ المقطر الشمسي بالشريط الشعيري (Distillateur solaire à film capillaire)

قام بإنجازه أول مرة البروفيسور (Pr.P.legofe) بمخبر العلوم و الهندسة الكيميائية بمنطقة (Nancy) بفرنسا بالتعاون مع البروفيسور (Pr.Ouahes) من جامعة الجزائر سنة 1982، و تقدر انتاجيته عند توفر الإشعاع الشمسي بشكل جيد من (10 - 15 L/m²) (30، 31).

و اختصر اسمه بـ (DIFICAP) نظرا للخاصية التي تميزه و هي فعل الشريط الشعيري للماء، و هو جهاز مركب من صفيحتين معدنيتين من الألمنيوم، إحداهما تعتبر مبخرة، حيث وجهها الخارجي مطليا باللون الأسود الغير براق و معرضة للإشعاع الشمسي الوارد، فيتبخر الماء الذي يسري بالخاصية الشعرية عبر النسيج الطبي الملاصق للوجه الداخلي لهذه الصفيحة ثم يتكاثف البخار الناتج على الصفيحة المقابلة، التي تعتبر مكثف و تكون نسبيا أبرد من الأولى، و لأجل منع بخار الماء بين الصفيحتين من الضياع نحيط المقطر بإطار خشبي سميك محكم الغلق، كما هو مبين في الشكل.13.I. (31، 37):



الشكل 13.I. المقطر الشمسي بالشريط الشعيري.

3.6.I العوامل الداخلية و الخارجية المأثرة على التقطير الشمسي

✓ تأثير الإشعاع الشمسي

يعتبر الإشعاع الشمسي عامل مهم جداً و يلعب دوراً أساسياً في عملية التقطير الشمسي، لذا أنجزت عدة بحوث لدراسة تأثيره، حيث أكدت النتائج المتحصل عليها دون شك الزيادة المعتمدة للماء المقطر الناتج بزيادة شدة الإشعاع الشمسي (38 ، 39).

✓ تأثير درجة حرارة الجو المحيط

إن درجة حرارة الوسط الخارجي المنخفضة تعمل على خفض درجة حرارة الغطاء الزجاجي، و بالتالي تساهم في رفع الفارق في درجة الحرارة بين الماء و الغطاء الزجاجي، و من ثم ارتفاع إنتاجية المقطر الشمسي، و لهذا الغرض أجريت عدة دراسات و بحوث، حيث أعطت النتائج المتحصل عليها من طرف الباحث (Malik) زيادة بمقدار 3% من فعالية المقطر الشمسي مقابل زيادة في درجة حرارة الوسط بمقدار 5°C، هذه النتيجة تتوافق مع الأعمال المنجزة من طرف الباحث (Al- Hinai) و الذي أكد بأن ارتفاع درجة حرارة الوسط بمقدار 10% يؤدي لتحسين مردود الجهاز بحوالي 8.3%، و عليه يساعد ارتفاع درجة حرارة الجو المحيط على تحسين إنتاجية المقطر، كما أن هذا التحسن يكون ملموساً في حالة المقطرات رديئة العزل، و يكون مهملاً في حالة المقطرات جيدة العزل، و ذلك بفعل التبادلات الحرارية مع الجو المحيط بواسطة الحمل و الإشعاع الحراري (40 ، 41).

✓ تأثير سرعة الرياح

أثبت الباحث (Cooper) أن سرعة الرياح الزائدة لها تأثير طفيف على معدل التقطير، حيث يزداد مردود التقطير بمعدل 11.5% مع متوسط سرعة الرياح ما بين 0 - 2.15 m/s، بينما يزداد بنسبة 1.5% من أجل قيم لسرعة الرياح ما بين 2.15 - 8.82 m/s، و منه نستنتج أنه كلما كانت سرعة الرياح كبيرة تقل إنتاجية المقطر الشمسي (42).

✓ تأثير سمك طبقة الماء في الحوض

سعى عدت باحثين من بينهم (Khlifa) و (Phadattare) و (Tiwari) لدراسة تغيرات سمك طبقة ماء حوض التبخر، و مدى تأثيرها على معامل الانتقال الحراري و الكتلي لأنماط عديدة من المقطرات الشمسية الفعال منها و الغير الفعالة، و أيضا على الإنتاج اليومي من الماء المقطر، فالنتائج المصرح بها تؤكد تناقص مردود المقطر كلما زاد سمك طبقة ماء الحوض، كما قدم الباحث (Cooper) دراسة حول تأثير تغيرات سمك طبقة الماء المالح في الحوض؛ حيث وضح أنه يكون التأثير بارز في وجود العازل تحت الحوض أو غيابه و ذلك في حالة السمك الرقيق للماء المالح و الذي لا يظهر أي تأثير (42، 43، 44، 45، 46).

✓ تأثير زاوية ميل الغطاء الزجاجي

زاوية ميل الغطاء الزجاجي لها تأثير كبير على إنتاجية المقطر الشمسي، فهذه الزاوية تعتمد على الوجهة الجغرافية للمقطر، بالإضافة إلى خط العرض لمنطقة تواجد، فعلى أساس هذه الاعتبارات يمكن للمقطر استقبال كمية معتبرة من الإشعاع الشمسي طيلة أيام السنة. قام الباحث (Tiwari) بدراسة تأثير زاوية ميل الغطاء الزجاجي على أداء المقطر الشمسي، حيث تحصل على زيادة تقارب 63% من المردود اليومي، كما قدم الباحث (Haini) دراسة نظرية لتأثير زاوية الميل، فأبرزت نتائج المحاكاة العددية بأن الإنتاجية تزداد في فصل الصيف مع خفض زاوية ميل الغطاء، و تنعكس النتيجة في فصل الشتاء (41، 47).

✓ تأثير ازدواجية - أحادية ميلان الغطاء الزجاجي على معدل التقطير

يقوم الغطاء الزجاجي الوارد بعدت أدوار، فهو يستقبل الإشعاع الشمسي، و يلعب دور المكثف و أيضاً يقوم بحجز البخار داخل حيز مغلق، لذا من الأحسن مضاعفة مساحة هذا الغطاء؛ و نقصد هنا المقطر البسيط ذو الميلين، فأحد الغطاءين يوجه نحو الجنوب لاستقبال الإشعاع الشمسي و تكثيف بخار الماء المتصاعد عليه، و الغطاء الثاني يكون للتكثيف فقط، أما بالنسبة لزاوية ميله فالباحث (Cooper) درس معدل إنتاج الماء المقطر بدلالة قيم مختلفة لزاوية الميل حيث أثبت أن معدل التبخر يتناقص مع تغير الزاوية في المجال $0^\circ - 45^\circ$ ، و يرتفع عند الزاوية 60° ، و ينخفض مرة أخرى بعد القيمة 75° (42).

4.6.I. بعض الدراسات و الأبحاث لأنماط مختلفة من المقطرات الشمسية

للمقطرات الشمسية أنواع عديد منها التقليدية و منها المبتكرة، و لقد قام عدة باحثين حول العالم بأبحاث لدراستها و تحسين أدائها، نذكر من بين هذه الأبحاث:

الباحثان (Boukar and Harmim) أثبتا تجريبيا مدى فعالية المقطر الشمسي العمودي بخاصية سريان الماء المالح على سطح قطعة إسفنجية، فوجدا أن معدل الإنتاج يتضاعف بشكل تلقائي مع الظروف المناخية، بالإضافة لدرجة حرارة الغطاء الزجاجي، كما أظهرت الدراسة على مدى 4 أشهر بأن إنتاجية مثل هذا المقطر تتراوح ما بين $0.5\text{kg}/\text{m}^2/\text{J}$ - 2.3 وذلك حسب مساحة القطعة الإسفنجية (48).

الباحث (Bouchekima) اقترح نموذجاً و هو في الأساس امتداد و تطوير لأعمال سابقة منجزة من طرف الباحث (Ouahes) حيث تم صياغة معادلات للانتقال الحراري و الكتلي داخل خلية المقطر الشمسي بالفيلم الشعيري، كما أجرى عليه تجارب عملية لإثبات هذا الزعم النظري، فتحصل على نتائج تجريبية تثبت تفوق هذا النموذج على النموذج التقليدي بالحوض الأفقي، و من جهة أخرى وجد بأن الشاش المستعمل في هذه التجارب يعمل على تجانس الفيلم الشعيري الرقيق للماء عبر كامل الصفيحة الماصة (49 ، 50).

الباحث (K.Sampathkumar) فقد قدم نمذجة حرارية و مراجعة تفصيلية لمختلف الدراسات التي أنجزت على أنواع مختلفة من المقطرات الشمسية ذات الميل الواحد (51).

الباحث (Chandrashekara) درس عدة طرق لتحلية المياه بالطاقة الشمسية، منها الطرق المباشرة و الغير مباشرة، و ذلك لأجل إزالة مادة الفلوريد من الماء و كذلك الزرنيخ، الزئبق، الكاديوم، الكوليفورم، بالإضافة إلى الفيروسات و البكتيريا. أما الباحث (Pankaj kalita) قام بالتركيز على دراسة تأثير مختلف العوامل التشغيلية، الهندسية، و كذلك التحسين الديناميكي الحراري لأداء أمثل للتقطير الشمسي (52 ، 53).

الباحث (Mirunalini Thirugnanasambandam) استعرض مختلف التقنيات الحرارية للطاقة الشمسية، مع مناقشة و تحليل أداء التصاميم المختلفة للمقطرات شمسية، و تقديم المحاكاة الرياضية لهذه التصاميم، و تصنيع تصاميم مبتكرة بالاعتماد على التحسينات المقترحة (54).

الباحثان Murat Emre Demir (and Ibrahim Dincer) عملا على تطوير نظام متكامل لتحلية المياه و إنتاج الكهرباء معاً، و يتكون النظام المقترح من محطة للطاقة الهجينة تعمل بالطاقة الشمسية و الغاز الطبيعي، مولد كهربائي حراري (TEG)، خلية رانكين لإنتاج الكهرباء، و وحدة التقطير الومضي لإنتاج المياه العذبة، حيث تستخدم محطة التوليد هذه أجهزة استقبال الهواء ذات الضغط المرتفع التي تعمل بالطاقة الشمسية كمصدر أساسي للطاقة، و تستخدم الغاز الطبيعي لتعويض الطاقة عندما يكون الإشعاع الطبيعي المباشر أقل من $900\text{W}/\text{m}^2$ ، كما أنها تستخدم المولد الكهروحراري لتوليد الكهرباء من الحرارة المهذرة من توربينات الغاز، و تستخدم وحدة التقطير الومضي لإنتاج المياه العذبة من مياه البحر عن طريق الحرارة المهذرة لدورة رانكين، و يبلغ إجمالي مدخلات الطاقة 50% من الطاقة الشمسية و 50% من الغاز الطبيعي، فأظهرت النتائج أن وحدة (TEG) يمكنها توليد أكثر من 32kW من الطاقة باستخدام الحرارة المهذرة و كذلك من الممكن إنتاج 3.36kg/s من المياه العذبة (55).

الباحثون (Mohammed Shadi, S.Abujazara, S.Fatihah, A.R.Rakmi, M.Z.Shahrom) قاموا بدراسة العوامل المختلفة التي تؤثر على إنتاجية المقطرات الشمسية عندما تكون إنتاجيتها منخفضة جدا مقارنة مع غيرها من أنظمة التحلية، و تتمثل هذه العوامل في العوامل البيئية (المحيط)، عوامل التصميم و عوامل التشغيل، حيث أظهرت النتائج أن الإنتاجية تتأثر بشكل كبير بالعوامل البيئية نظراً لعدم القدرة على التنبؤ بالعوامل المترولوجية، أما بالنسبة لعوامل التصميم و التشغيل فأشارت النتائج بأنها تتأثر بمساحة التبخر و عمق مياه الحوض، و تقليل زاوية الميل خلال فصل الصيف و تكبيرها خلال فصل الشتاء (56).

7.I. الخلاصة

في هذا الفصل تم عرض دراسة مرجعية حول تحلية المياه بشكل عام، في البداية استهل الفصل بذكر الوضع المائي في العالم و بعض الحلول المقترحة له، من بينها تحلية المياه بالطرق التقليدية، و تحلية المياه بالطاقة الشمسية التي تركزت عليها دراستنا، و بعدها تطرقنا إلى دراسة الإشعاع الشمسي و كل ما يتعلق به، و من ثم انتقلنا إلى التقطير الشمسي باستخدام الطاقة الشمسية، مع إعطاء لمحة تاريخية عن بعض الدراسات و البحوث حوله. و هذه الدراسة المرجعية لهذا الفصل تمهد للفصل الثاني؛ أين تم دراسة الظواهر الفيزيائية في التقطير الشمسي و أهمها ظاهرة التوتر السطحي.

- [1] Sellami Mohamed Hassen, "Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud-est algérien (Ouargla) ", Thèse de Doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie (2008).
- [2] Bechki Djamel, "Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes", Thèse de Doctorat, Université Hadj Lakhdar Batna (2011).
- [3] Communay Pierre Henri., "Heliothermique, Le gisement solaire Méthodes et calculs", Groupe de chercheur et d'édition, (2002).
- [4] Delyannis E, "Historic background of desalination and renewable energies", Solar Energy 75 (2003); 357–366.
- [5] Ahmed S. T., "Study of single-effect solar still with an internal condenser", Solar & Wind Technology (1988); 637-643.
- [6] Fath ES. ELsherbiny. Samy M., "Effect of adding a passive condenser on solar still performance", Energy Convers Manag (1993); 34(1): 63–72.
- [7] El-Bahi A. D. inan., "A solar still with minimum inclination", coupled to an outside condenser Desalination 123 (1999) 79-83.
- [8] Hassan E.S. Fath, H.M. Hosny., "Thermal performance of a singlesloped basin still with an inherent built-in additional condenser", Desalination 142 (2002) 19-27.
- [9] A.Harmim, and M.Boukar, "Performance evaluation of a one-sided vertical solar still tested in the desert of algeria", Algeria, Elsevier (2005)
- [10] Janarthanan B. Chandrase karan J. Kumar S., "Performance of floating cum tilted-wick type solar still with the effect of water flowing over the glass cover", Desalination (2006); 190: 51–62.
- [11] D. Bechki, H. Bouguettaia, J. Blanco-Galvez, S. Babay, B. Bouchekima, S. Boughali, H. Mahcene., "Effect of partial intermittent shading on the performance of a simple basin solar still in south Algeria", Desalination 260 (2010); 65–69.
- [12] Zeroual M. Bouguettaia H. Bechki D. Boughali S. Bouchekima B. and Mahcene H., "Experimental investigation on a double-slope solar still with partially cooled condenser in the region of Ouargla (Algeria) ", Energy Procedia 6 (2011); 736–742.
- [13] Belhadj M. Zerrouki M. Settou N. and. Marif Y., " Simulation study of a capillary film solar still coupled with a conventional solar still in south Algeria. Energy Conversion and Management", Vol 85 (2014) pp 112-11.
- [14] Zerrouki M., "Contribution à l'amélioration des performances d'un distillateur à film capillaire par couplage avec un distillateur simple", Energy Conversion and Management. (10mai 2015).
- [15] Djaballah D. Benhaoua B. Khechekhouche A. , "Surface tension force effect on the solar still output", JP Journal of Heat and Mass Transfer Volume 28, 2022, Pages 165-176 (2022) P-ISSN: 0973-5763.
- [16] Djaballah D. Benhaoua B.et al. , "Experimental study of the role of surface tension in enhancing the performance of solar stills using different designs of

- plastic fins", *Solar Energy* 262 (2023) 111835.
- [17] Salim Kehel, "Rétrospective et perspectives du dessalement en Algérie", *Desalination*, Vol 136(2001) pp 35-42.
- [18] Ahmed Katteb, "Les ressources en eau en Algerie: stratégies, enjeux et vision", *Desalination*, Vol 136 (2001) pp 23-25.
- [19] <https://www.aps.dz> وزارة الموارد المائية
- [20] J.R.Vaillant, "Les Problème du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtre", France, (1970).
- [21] K Abdul. Mohsen Al-Shayji., "Modeling, Simulation, and Optimization of Large-Scale commercial desalination plants", Blacksburg. Virginia, (1998).
- [22] Saleh Al-Kharabsheh "Theoretical and Experimental analysis of water desalination system using low grade solar heat", University of Florida, (2003).
- [23] D.Larger "le dessalement de l'eau de mer par compression de vapeur", *Desalination*, Vol 31 (1979) pp 125-130.
- [24] Perrin de Brichambaut. Ch. Vauge, " Le gisement solaire", Edition TEC& DOC Lavoisier, Paris, (1982).
- [25] Pierre Henri Communay., "Héliothermique Le gisement solaire, Méthodes et Calculs", GRE 31600 Saubens France, (2002).
- [26] Bernard R. G. Menguy, M. Shwartz,"Le rayonnement Solaire", Edition TEC& DOC Lavoisier, Paris, (1980).
- [27] Johan A. Duffie William A. Beckman, " Solar Engineering of thermal Processes", Fourth Edition, University of Wisconsin-Madison, (2013).
- [28] Communay Pierre Henri. Heliothermique, " Le gisement solaire Méthodes et calculs", Groupe de chercheur et d'édition, (2002).
- [29] Anil Kr. Tiwari, G.N. Tiwari* "Thermal modeling based on solar fraction and experimental study of the annual and seasonal performance of a single slope passive solar still: The effect of water depths", *Desalination*, Vol 207 (2007) pp 184–204.
- [30] André Deslandes, " Historique de l'énergie solaire ", publiée dans le périodique écologiste français silence numéro (1996) pp 206-207.
- [31] M.El Haimer –M.Barkaoui-A.Irhzo-H.Legoff, "Distillateur solaire rustique a film capillaire et a multiples effets. essais expérimentaux a casablanca", Maroc (2002).
- [32] 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).
- [33] Muhammad Ali Samee, Umar K. Mirza*, Tariq Majeed, Nasir Ahmad, "Design and performance of a simple single basin solar still", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2005) pp 1–8.
- [34] A. K. Singh et G. N. Tiwarit, P. B. Sharma and Emran Khan, "optimization of orientation for higher yield of solar still for a given location", *energy*, (1995) pp 175-187.
- [35] Hassan E.S. Fath, "High performance of a simple design, two effect solar distillation unit", *Desalination*, Vol 107 (1996) 223-233.
- [36] Ahmed Khedim*, Klemens Schwarzer, Christian Faber, Christoph Mtiller,

- "Production de centralisée de l'eau potable l'énergie solaire", *Desalination*, Vol 168 (2004) 13-20.
- [37] Alain maurel. "dessalement Solaire". CEA-Cadarache, (1986).
- [38] Safwat Nafey A. Abdelkader M. Abdelmotalip A. Mabrouk A.A, " Parameters affecting solar still productivity", *Energy Conversion & Management*, Vol 41 (2000) 1797-1809.
- [39] Rahbar N. Esfahani JA, " Experimental study of a novel portable solar still by utilizing the heat pipe and thermo-electric module", *Desalination*, Vol 284 (2012) pp 55–61.
- [40] Malik MAS. Tiwari GN. Kumar A. Sodha MS, " Solar distillation", Oxford, UK: Pergamon Press, (1982).
- [41] Al-Hinai H. Al-Nassri MS, Jubran BA, " Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still", *Energy Convers & Manag*, Vol 43 (2002) 1639–1650.
- [42] Cooper P. i. Digital, " simulation of transient solar still processes", *Solar Energy*, Vol 12 (1969) pp 313-331.
- [43] Khalifa AbdulJabbar N. Hamood Ahmad M. ,"On the verification of the effect of water depth on the performance of basin type solar stills", *Solar Energy*, Vol 83 (2009) pp 1312–1321.
- [44] Phadatare mk. Vermask., "Influence of water depth on internal heat and mass transfer in a plastic solar still", *Desalination*, Vol 217 (2007) pp 267– 275.
- [45] Tiwari Anil Kr. Tiwari GN, " Thermal modeling based on solar fraction and experimental study of the annual and seasonal performance of a single slope passive solar still the effect of water depths", *Desalination*, Vol 207 (2007) pp 184–204.
- [46] Tiwari AN. Tiwari. GN, " Effect of inclination of condensing cover and water depth in solar still for maximum yield: in winter climatic condition", *Sol Energy*, Vol 130 (2005) pp 27–33.
- [47] Tiwari Anil Kr. Tiwari G.N., " Effect of the condensing cover's slope on internal heat and mass transfer in distillation: an indoor simulation", *Desalination*, Vol 180 (2005) pp 73-88.
- [48] Harmim A. Merzouk M. Boukar M. Amar M., "Mathematical modeling of a box type solar cooker employing an asymmetric compound parabolic concentrator", *Solar Energy*, Vol 86 (2012) pp 1673–1682.
- [49] Bouchekima Bachir., Bernard Gros, Ramdane Ouahes, Mostefa Diboun., "The performance of the capillary film solar still installed in South Algeria", *Desalination*, Vol 137 (2001) pp 31-38.
- [50] R.Ouahes, P.Le Goff et C. Ouahes, " le projets –DIFICAP- Distillateur a Film Capillaire ", NANCY- France, (1982).
- [51] K.Sampathkumara T.V. ArjunanbP. PitchandiaP. Senthilkumarc. , "Active solar distillation. Renewable and Sustainable", *Energy Reviews*, Vol 14 (August 2010) pp 1503–1526.
- [52] . AvadheshYadav., " Water desalination system using solar Chandrashekara. M heat", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 67 (January 2017) pp

1308–1330.

- [53] pankaj kalita. Anupam Dewan .Sangeeta Borah., "A review on recent developments in solar distillation units", *sadhana*, Vol 41(february 2016) pp 203-223.
- [54] . S . Iniyan . Ranko Goic, "A review of solar Mirunalini. Thirugnanasambandam thermal technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 14 (January 2010) pp 312–322.
- [55] Ibrahim Dincer., "Development of an integrated hybrid solar Murat Emre Demir. thermal power system with thermoelectric generator for desalination and power production", *Desalination*, Vol 404 (17 February 2017) pp 59–71.
- [56] S.Fatihah A.R.Rakmi M.Z.Shahrom., "The effects Mohammed Shadi S.Abujazara of design parameters on productivity performance of a solar still for seawater desalination", *Desalination*, Vol 385(2 May 2016) pp 178–193.

الفصل الثاني: الظواهر الفيزيائية في التقطير الشمسي و ظاهرة التوتر السطحي

1.II. مقدمة

بشكل عام تُظهر الدراسة النظرية للظواهر الفيزيائية الداخلة في عملية التقطير الشمسي العلاقة بين المقادير الفيزيائية المرتبطة فيما بينها و المرتبطة أيضاً بهذه العملية، كما تعطي هذه الدراسة تفسيرات لما يحدث بين هذه المقادير، فمن بين هذه الظواهر نجد؛ انتقال الحرارة بالتوصيل و الحمل و الإشعاع، انتقال الكتلة بالانتشار الجزيئي و بالحمل الكتلّي، و أيضاً انتقال الحركة بالنمط الرقائقي و الاضطرابي، تحول طور المادة (سائل و صلب و غازي)، بالإضافة إلى نظريات الهواء الرطب و غيرها من الظواهر الفيزيائية.

2.II. الظواهر الفيزيائية الأساسية في التقطير الشمسي

من أهم الظواهر الفيزيائية في التقطير الشمسي الانتقالات الحرارية، و هي إحدى الطرق الأكثر تبادلاً للطاقة الحرارية، فهي تحدث بين نظامين مفصولين لهما درجتى حرارة مختلفتين مهما كان نوع الوسط، و عليه فإننا نجد عملية الانتقالات الحرارية تلعب دور أساسي في العلوم خاصةً تلك التي تدخل في التطبيقات التكنولوجية مثل المبدلات الحرارية، المحركات الحرارية، و لا ننسى استعمالات الطاقة الشمسية.... إلخ.

1.2.II. انتقال الحرارة

أثناء دراسة الانتقالات الحرارية نجد مصطلحين أصليين و هما كمية الحرارة و الاختلاف في درجة الحرارة، و اللذان يعرفان بواسطة الترموديناميك من خلال مبادئه:

المبدأ الأول: تكافؤ الحرارة و العمل على أشكال جزيئات طاقيّة.

المبدأ الثاني: قياس فقدان التوازن الحراري النسبي لنظامين بواسطة اختلاف درجتى حرارتهما، مقدار هذا الاختلاف يميز الإتجاه و شدة كثافة الطاقة الحرارية المنتقلة (1).

إذن بصورة مبسطة تعتبر الحرارة شكل من أشكال الطاقة، و تقاس بوحدتي الجول (J) أو الحرارة حيث $1\text{Cal} = 4.1855\text{ J}$ ، و هي تمثل الحرارة اللازمة لرفع درجة 1g من الماء بـ: 1°C .

كما نعرف الحرارة بأنها الطاقة الناتجة بفعل الطاقة الحركية للجسيمات (جزيئات- ذرات) المركبة للوسط المادي، و تتبادل هذه الجسيمات الطاقة الحرارية أي تفقد أو تكتسب الطاقة الحركية حسب المعادلة التالية:

$$(II.1) \quad \frac{3}{2} N \cdot KT = \sum_{I=1}^N \frac{mU_I^2}{2} \quad (J)$$

حيث (N) عدد الجسيمات (U_I) سرعة الجسيم (I) (2).

و عليه انتقال الحرارة هو تحرك كمية الحرارة من نقطة إلى نقطة بوجود تدرج في درجة الحرارة، و يتم هذا الانتقال مهما كان الوسط، و كما هو معروف فالحرارة نوعان الحرارة الكامنة (اللاتونية) أو الحرارة الكامنة الكتلية و هي الحرارة المتبادلة من طرف جسم مادي مع جسم آخر لتغيير طوره الفيزيائي (صلب، سائل، غازي)، و الحرارة المحسوسة و هي الحرارة التي يكتسبها أو يفقدها الجسم المادي، و إذا تغيرت درجة حرارة كتلة m بالمقدار (ΔT) فإن كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة تعرف بالمقدار (ΔQ) حيث:

$$(II.2) \quad \Delta Q = mC_p \Delta T \quad (J)$$

تمثل (C_p) السعة الحرارية تحت ضغط ثابت، و تقاس في نظام الوحدات الدولية بـ $\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$ (2).
و لانتقال الحرارة ثلاثة أشكال و هي:

✓ التوصيل الحراري (الانتشار الحراري)

و هو انتقال للحرارة تحت تأثير الاختلاف في درجة الحرارة، و يكون ذلك في وسط غير متحرك أي دون انزياح للمادة مثل الأوساط الصلبة، أما في الموائع فالتوصيل الحراري يكون ضعيفا لأن هنا حركة ماكروسكوبية أو عيانية للجسيمات التي يتشكل منها هذا المائع.
و عليه فان قانون فوريه الأول (1^{ere} loi de Fourier) يعطي كمية الحرارة المنقولة بالتوصيل الحراري لوحدة الزمن و عبارته هي:

$$(II.3) \quad \frac{dq}{dt} = -\lambda \cdot A \frac{dT}{dx} \quad (W)$$

العبارة مسبوقة بإشارة (-) و ذلك للحصول على تيار حراري موجب لأن $(\frac{dT}{dx})$ سالبة.

المعامل (λ) هو خاصية مميزة لمادة الوسط، و يسمى التوصيلية الحرارية (Conductivité Thermique) يقاس بـ: $[\lambda]_{SI} = \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ (1).

✓ الحمل الحراري

هو انتقال للحرارة بواسطة حركة مائع يكون ملامساً لمادة صلبة، و قد تكون أيضا متزامنة مع انتقال للكتلة، و في الانتقال الحراري بالحمل تنتقل الحرارة مباشرة بالحركة الماكروسكوبية للمائع، لذا يسمى بالمائع الحامل للحرارة (Fluide Caloporteur)، و الحمل هو شكل من أشكال الانتقال الجد سريعة بالمقارنة بالتوصيل، بحيث ينتقل تيار حراري $(\frac{dq}{dt})$ قيمته تعطى حسب قانون نيوتن (1):

$$(II.4) \quad \frac{dq}{dt} = h \cdot A(T_{\infty} - T_S) \quad (W)$$

يعرف (h) بمعامل الانتقال السطحي أو معامل الحمل الحراري، و يعبر عن فعالية الحمل في نقل الحرارة، و يمثل كمية الحرارة المتبادلة لوحدة الزمن عبر مساحة تقدر بـ ($1m^2$) من أجل فرق في درجة الحرارة بين المائع و السطح يقدر بـ $1^{\circ}C$ ، و يحدد برقم رينولدز (Re) و رقم جراشوف (Gr)، و هو يتناسب مع:

- طبيعة المائع الحراري و خصائصه الفيزيائية.

- الشكل الهندسي لسطح الجسم الصلب و خشونته.

- نمط سريان المائع صفائحي أو رقائقي.

نشير هنا إلى أنه بجوار السطح الصلب تحدث ظاهرة التوصيل الحراري، و ذلك في طبقة رقيقة جداً تدعى الطبقة الحدية الحرارية سمكها (ΔX)، إذن بمحاكاة قانون نيوتن و قانون فورييه الأول في حالة تساوي بين الانتقال بالتوصيل و الحمل فيصبح التيار الحراري كما يلي (1):

$$(II.5) \quad \frac{dq}{dt} = \lambda \cdot A \frac{\Delta T}{\Delta X} = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (W)$$

$$(II.6) \quad h = \frac{\lambda}{\Delta X} \quad \left(W/m^2 \cdot K \right)$$

✓ الإشعاع الحراري

بعكس ما يحدث في التوصيل و الحمل الحراري فالإشعاع الحراري هو انتقال للطاقة على شكل إشعاعات ذات طبيعة كهرومغناطيسية بين سطحين؛ سطح ماص و سطح باعث لهذه الإشعاعات، فالإشعاعات الكهرومغناطيسية تنتشر دون وجود لوسط مادي ناقل للحرارة أي تنتشر حتى في الفراغ المثالي، كما أنه يمكن له أن ينبعث نتيجة لدرجة حرارة السطح و يكون محصور في المجال ($0.1 - 100 \mu m$) أين يوجد الطيف المرئي (3).

يعبر قانون ستيفان- بولتزمان عن التدفق الحراري المنبث من السطح الباعث، كما يعطي هذا القانون الإنبعاثية الكلية (M°) للجسم الأسود في الفراغ بدلالة درجة الحرارة المطلقة (T) التي تقاس بـ (K) حيث:

$$(II.7) \quad M^\circ = \sigma \cdot T^4 \quad \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

σ : ثابت ستيفان- بولتزمان و قيمته $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right)$ $\sigma = 5.669 \cdot 10^{-8}$.

II.2.2. تعريف و مفاهيم لمقادير فيزيائية أخرى داخلية في التقطير الشمسي

✓ شدة الإشعاع (Intensité)

شدة الإشعاع (I_X) هي الاستطاعة المنبعثة في الاتجاه \overrightarrow{OX} في لحظة ما بالنسبة لوحدة الزاوية المجسمة ($d\Omega$)، كما هو موضح في الشكل II.1. حيث:

$$(II.8) \quad I_{OX} = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (W/Sr)$$

✓ الاستضاءة الإشعاعية (Luminance)

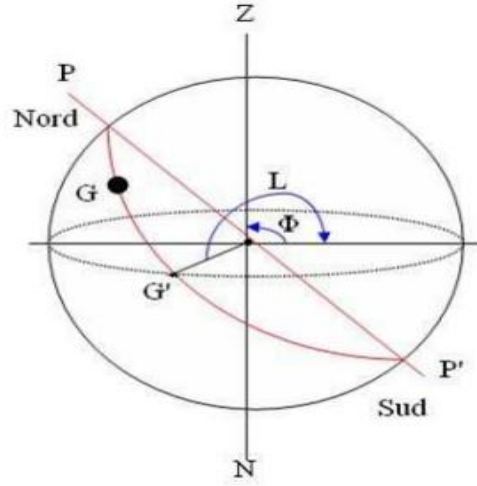
الاستضاءة (L_{OX}) و هي الاستطاعة المنبعثة في الاتجاه \overrightarrow{OX} في لحظة ما بالنسبة لوحدة الزاوية المجسمة ($d\Omega$) و وحدة السطح الباعث و العمودي على الاتجاه \overrightarrow{OX} ، كما هو موضح في الشكل II.1. حيث:

$$(II.9) \quad L_{OX} = \frac{d^2\Phi}{\cos(\theta) \cdot d\Omega \cdot dS_{emi}} = \frac{dI_{OX}}{\cos(\theta) \cdot dS_{emi}} \quad (W/Sr \cdot m^2)$$

✓ الإنبعائية الإشعاعية (Emittance)

الإنبعائية (M) و هي الاستطاعة المنبعثة في نصف الفضاء أي نصف كرة على وحدة مساحة السطح للإشعاع حيث:

$$(II.10) \quad M = \frac{d\Phi}{dS_{emi}} \quad \left(\frac{W}{m^2} \right)$$



الشكل. II.1. مخطط توضيحي.

✓ الاستنارة الإشعاعية لجسم مستقبل للإشعاع (Eclairment)

الاستنارة (E) و هي الاستطاعة الواردة للجسم على وحدة سطحه حيث:

$$(II.11) \quad E = \frac{d\Phi}{dS_{rec}} \quad \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

II.3.2. الجسم الأسود

الجسم الأسود هو الجسم الذي ييبث أو يصدر الإشعاعات الحرارية نتيجة لدرجة حرارته، أو هو الجسم الذي يمتص كل الإشعاعات الواردة إليه بغض النظر عن سمكها، درجة حرارتها، زاوية ورودها و طولها الموجي، فيسمى بالماص أو الباث المثالي، و يُأخذ عموماً كمرجع لمقارنته بالأجسام الأخرى، فالخاصية المميزة له هي أن قدرة البث عنده تكون أقصى قدرة بث لأي جسم آخر في نفس الدرجة، كما أن الجسم الأسود ييبث بنفس الطريقة في كل الاتجاهات أي بث متشتت.

عند سقوط شعاع على سطح ما، فإن الاستطاعة الكلية الواردة له (Q_{inc}) تتوزع على الأجزاء الثلاث التالية (4 ، 5):

- جزء يمر عبر الجسم (Q_{tra})، و معامل الإمرار: $\tau = \frac{Q_{tra}}{Q_{inc}}$.
- جزء يمتص من طرف الجسم (Q_{abs})، و معامل الامتصاص: $\alpha = \frac{Q_{abs}}{Q_{inc}}$.
- جزء ينعكس بواسطة الجسم (Q_{ref})، و معامل الانعكاس: $\rho = \frac{Q_{ref}}{Q_{inc}}$.

عند التوازن الحراري يكون:

$$Q_{inc} = Q_{tra} + Q_{abs} + Q_{ref}$$

حيث:

$$Q_{inc} = \tau Q_{inc} + \alpha Q_{inc} + \rho Q_{inc}$$

فنجد:

$$(II.12) \quad 1 = \tau + \alpha + \rho$$

و يعرف بقانون الطاقة الإشعاعية الواردة على سطح ما.

ملاحظات:

- كل الأسطح المطلية بالأسود الغير براق نعتبرها أسطحاً لأجسام سوداء، مثل الأسطح السوداء لحوض التبخر في المقطرات الشمسية.
- نعتبر الزجاج و البلاستيك الشفاف أجسام تملك معامل إمرار له قيمة معتبرة.
- الأسطح العتمة للأجسام الرمادية، لها معامل إمرار معدوم ($\tau_{opaque} = 0$)، و لها خواص إشعاعية مستقلة عن طول الموجة و اتجاه الإشعاع الوارد لها، فنكتب: $\varepsilon = \alpha = 1 - \rho$.
- نعتبر الصفائح المعدنية (المنيوم، نحاس...) أجسام رمادية ذات الأسطح عتمة.

II.4.2. الانتقال الكتلة

يُعرف هذا الانتقال بأنه كل الإجراءات التي يكون فيها فرق التركيز الكتلي أو المولي لمختلف المواد الموجودة في الوسط المادي نتيجةً للانتشار الجزيئي (الرشح) أو الحمل لهذه المواد، و عادة ما يتزامن هذا الانتقال مع انتقال الحرارة (4).

✓ الانتشار الجزيئي (الرشح)

هناك تشابه مباشر لانتقال الكتلة بالانتشار الجزيئي و انتقال الحرارة بالتوصيل أو انتقال كمية الحركة في السريان الرقائقي، و هذا النوع من الانتشار يتم في مائع يتحرك حسب قانون فيك الأول للانتشار الجزيئي، حيث هناك تشابه مباشر بين معادلة الانتقال وحيدة البعد لانتقال الكتلة بالانتشار الجزيئي و معادلة انتقال الحرارة بالتوصيل في قانون فورييه الأول، حيث ينص قانون فيك الأول على أن التدرج في التركيز الكتلي (C) أو المولي (C_{mol}) يؤدي إلى انتقال جزيئات المادة المذابة بين نقطتين مختلفتين للوسط المذيب من النقطة الأكثر تركيزاً إلى النقطة الأقل تركيزاً، باعتبار المسافة الفاصلة بين النقطتين هي (dx) و مساحة سطح التبادل هي (A)، فمعادلة القانون تكتب على الشكل التالي (1):

$$(II.13) \quad \frac{dm}{dt} = -D_c \cdot A \frac{dc}{dx} \quad \left(\frac{Kg}{s} \right)$$

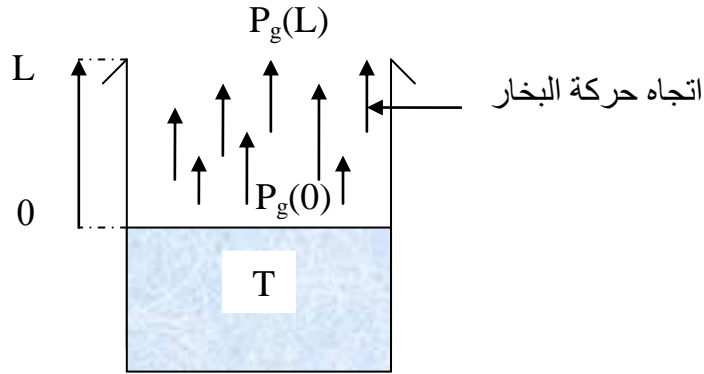
حيث $(\dot{m} = \frac{dm}{dt})$ يسمى التدفق الكتلي و يسمى أيضا بالتيار الكتلي، و المعامل (D_c) خاصية تسمى الانتشارية الكتلية الموافقة للتركيز الكتلي (C) وحدتها: $[D_c]_{SI} = \frac{m^2}{s}$.

5.2.II. ظاهرتي التبخر و التكثيف

تنشأ ظاهرتي التبخر و التكثيف من تغير طور المادة بين بخار و سائل بالإضافة إلى الحركة المصاحبة بتغير التركيز، و تعتبران من أهم الظواهر في عملية التقطير الشمسي.

✓ ظاهرة التبخر

تحدث ظاهرة التبخر عندما نقوم بتسخين وعاء يحتوي على الماء، حيث تتم عملية التغير في الطور من سائل إلى بخار و ذلك فوق سطح الماء مباشرة، ثم ينتقل البخار إلى الأعلى بفعل الاختلاف في الضغط بحركة بطيئة أو سريعة حسب نوعية التسخين، كما موضح الشكل. II.2. (1):



مصدر حراري

الشكل. II.2. تبخر الماء في غياب الحمل الكتلي و الحراري.

✓ ظاهرة التكثيف

عندما يكون البخار النقي في حالة توازن مع طوره السائل، فإن ضغطه و درجة حرارته متوافقتان مع شروط التشبع $(P_{wv}, T_{(sat)})$ ، فإذا كان هذا البخار في الحالة (P_v, T) و ملامس لسطح لوح ذو درجة حرارة (T_p) أقل من درجة التشبع $(T_{(sat)})$ الموافقة لـ (P_v) ، فإن كتلة معينة من السائل الموجود في البخار تنتقل إلى سطح اللوح البارد (نظرية Nusselt).

ترتبط التبادلات الحرارية بين اللوح و البخار المتكاثف عليه بنوعية التكثيف الذي يرتبط أساسا بالتفاعلات بين السائل و اللوح، فإذا كان التكثيف عبارة عن سائل لا يبيل السطح أي يشكل عدة نقاط لقطيرات السائل فيسمى بالتكثيف النقطي أو بالقطيرات (Gouttes)، و هذا النوع من التكثيف لا نستطيع ملاحظته إلا إذا كان اللوح ذو سطح أملس و نظيف، و كذلك مقاومته الحرارية تكون مهملة، في حين أن نوع التكثيف الذي يصادفنا عموما هو التكثيف الشريطي (Film) و يسمى أيضا بالتكثيف الغشائي، حيث أن الشريط المستمر للسائل على طول اللوح يلعب دور عازل حراري بين اللوح و البخار مما يسبب في هبوط قيمة معامل الانتقال الحراري بالحمل (h).

في سنة 1916 و بالتحديد في النموذج النظري الأساسي لمعادلة نوسالت (Nusselt)، أجرى دراسة تحليلية لعملية التكثيف بجوار صفيحة مستوية طولها (L)، و ذلك باستخدام الفرضيات التالية (1):

- (1) نعتبر البخار نقي تماما، في حالة مستقرة، و مشبع في درجة الحرارة ($T_{(sat)}$) تحت ضغط (P_{wv}).
 - (2) درجة الحرارة (T_p) ثابتة على مستوى سطح الصفيحة، و تكون فيها الظواهر دائمة؛ أي المقادير أو الثوابت مستقلة عن الزمن في كل نقطة.
 - (3) طبقة الماء السائل تتحرك إلى الأسفل بفعل قوة الجاذبية الأرضية، و تكون هذه الطبقة رقيقة أو قشرية.
 - (4) سريان الماء السائل المكثف يكون رقائق.
 - (5) يحرر البخار حرارة كامنة، و السائل المتشكل يبرد تحت درجة حرارة أقل من ($T_{(sat)}$)، و الحرارة تكتسبها الصفيحة بالتوصيل فقط و تنتقل عبر الطبقة القشرية.
- بالنظر إلى الشكل II.3. الذي يبين الطبقة القشرية للماء السائل المتكاثف بجوار الصفيحة المستوية نجد أن:

✓ التدفق الكتلي بالنسبة لوحدة العرض (\dot{m}_x) يزداد مع ازدياد الفرق في الكتل الحجمية للطورين السائل و الغازي و سمك الطبقة، و يعطى بالعلاقة التالية:

$$(II.14) \quad \dot{m}_x = \frac{g\rho_{wl}(\rho_{wl} - \rho_{wv})}{3\mu_{wl}} e_x^3 \quad \left(Kg/s \right)$$

✓ سمك الطبقة القشرية (e_x):

$$(II.15) \quad e_x = \left[\frac{4\mu_{wl}\lambda_{wl}^3(T_{(sat)} - T_p)}{g\rho_{wl}(\rho_{wl} - \rho_{wv})L_V} x \right]^{\frac{1}{4}} \quad (m)$$

✓ معامل الانتقال الحراري (h_x):

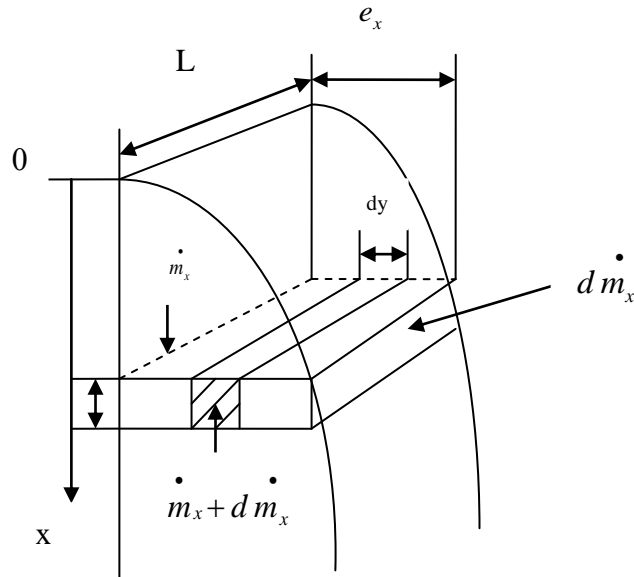
$$(II.16) \quad h_x = \frac{\lambda_{wl}}{e_x} = \left[\frac{g\rho_{wl}(\rho_{wl} - \rho_{wv})\lambda_{wl}L_V}{4\mu_{wl}(T_{(sat)} - T_p)} \frac{1}{x} \right]^{\frac{1}{4}} \quad \left(W/m^2.K \right)$$

✓ معامل الانتقال الحراري المتوسط (\bar{h}):

$$(II.17) \quad \bar{h} = \frac{1}{L} \int_0^L h_x dx = \frac{4}{3} (h_x)_{x=L} \quad \left(W/m^2.K \right)$$

$$(II.18) \quad \bar{h} = 0.943 \left[\frac{g\rho_{wl}(\rho_{wl} - \rho_{wv})\lambda_{wl}L_V}{\mu_{wl}(T_{(sat)} - T_p)} \frac{1}{x} \right]^{\frac{1}{4}} \quad \left(W/m^2.K \right)$$

حيث الدليل السفلي (wv) يعبر عن بخار الماء، و (wl) يعبر عن الماء السائل.



الشكل 3.II. الطبقة القشرية للماء السائل.

6.2.II. الهواء الرطب

و هو مزيج من الهواء الجاف و الماء بحالاته الثلاثة؛ الحالة السائل و حالة الجليد و حالة البخار، و عليه نعرف كتلة الهواء الرطب كما يلي:

■ كتلة الماء:

$$(II.19) \quad m_e = m_{ev} + m_{el} + m_{es} \quad (Kg)$$

■ كتلة الهواء الرطب:

$$(II.20) \quad m_{ah} = m_{ev} + m_{el} + m_{es} + m_a \quad (Kg)$$

حيث تمثل كلا من:

m_e : الكتلة الإجمالية للماء.

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

m_{el} : كتلة الماء السائل المعلق في المزيج.

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

m_{ah} : الكتلة الإجمالية للهواء الرطب.

m_a : كتلة الهواء الجاف.

و في الحالة الغازية للماء أي بخار الماء فقط يصبح لدينا:

$$(II.21) \quad m_{ah} = m_{ev} + m_a \quad (Kg)$$

حيث: $m_{el} = m_{es} = 0$

و هذه الحالة من الهواء الرطب نجدها داخل خلية التقطير الشمسي، و هي عبارة عن مزيج من بخار الماء الذائب في الهواء الجاف، و لدراسة انتقال الحرارة في هذا الوسط ندرس انتقال الكتلة و كذلك انتقال الحرارة المصاحب لها بين نقطتي التبخير (ماء الحوض) و التكثيف (الغطاء الزجاجي).

3.II. التوازن الحراري (Billon énergétique) لجهاز التقطير الشمسي البسيط

تعتمد النماذج الرياضية لمختلف التبادلات الحرارية التي تحدث في المقطر الشمسي البسيط على أربعة نقاط؛ و هي التوازن الحراري للزجاج، التوازن الحراري للماء، التوازن الحراري للعازل، التوازن الحراري لقاعدة المقطر الشمسي (الصفحة الماصة).

1.3.II. التوازن الحراري للزجاج

تنقسم كميات الحرارة الكلية المتبادلة بين الزجاج و الغلاف الجوي إلى وضعيتين؛ الحمل الحراري و الإشعاع الحراري، فالشكل.4.II. يبرز التوازن الحراري للزجاج المستخلص من التبادل الحراري عند الوجهين؛ الداخلي بين طبقة الماء لحوض التبخر و الزجاج، و الخارجي بين الزجاج و المحيط الخارجي، فكمية الحرارة التي يتلقاها الزجاج يتم تفريغها بواسطة التوصيلية الحرارية من خلال العلاقات التالية (8):

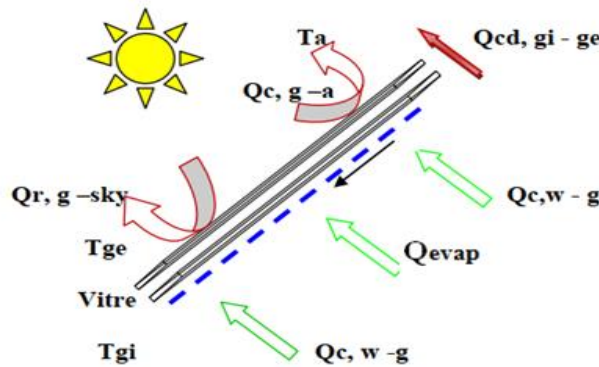
✓ التوازن الحراري للزجاج في الخارج:

$$(II.22) \quad \frac{M_g C_{p_g} dT_{ge}}{A_g} = \alpha_g G + Q_{c.ge_gi} - Q_{r.g.w_a} - Q_{c.g_a} \quad (J)$$

✓ التوازن الحراري للزجاج في الداخل:

$$(II.23) \quad \frac{M_g C_{p_g} dT_{gi}}{A_g} = Q_{r.w_gi} + Q_{c.w_gi} + Q_{evap} - Q_{c.gi_ge} \quad (J)$$

حيث؛ $Q_{r.w_gi}$: التدفق الحراري بالإشعاع الحراري بين طبقة الماء و الزجاج.
 $Q_{c.w_gi}$: التدفق الحراري بالحمل الحراري بين طبقة الماء و الزجاج.
 Q_{evap} : التدفق الحراري تبخير - تكثيف بين طبقة الماء و الزجاج.
 $Q_{c.gi_ge}$: فقدان تدفق الحرارة بالتوصيل عبر الزجاج نحو الخارج.



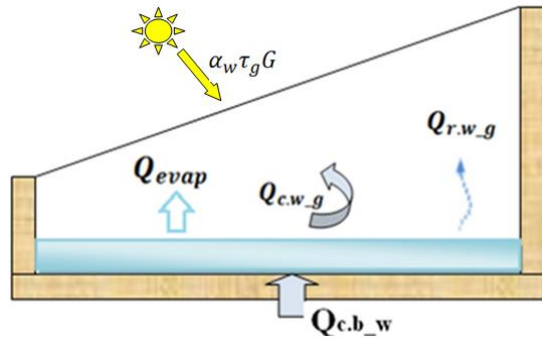
الشكل.4.II. التوازن الحراري للزجاج.

2.3.II. التوازن الحراري للماء

يوضح الشكل II.5. تبادل الحرارة بين طبقة الماء و الوجه الداخلي للزجاج، و هي نفس كميات الحرارة المتبادلة بالحمل الحراري و الإشعاع الحراري و التبخر على التوالي أي:

$$(II.24) \quad \frac{M_w C p_w}{A_w} \frac{dT_w}{dt} = \alpha_w \tau_g G + Q_{c.b.w} - Q_{c.w.g} - Q_{evap} - Q_{r.w.g.i} \quad (J)$$

حيث؛ $Q_{c.b.w}$: التدفق الحراري بالحمل الحراري بين قاع جهاز التقطير و طبقة الماء.

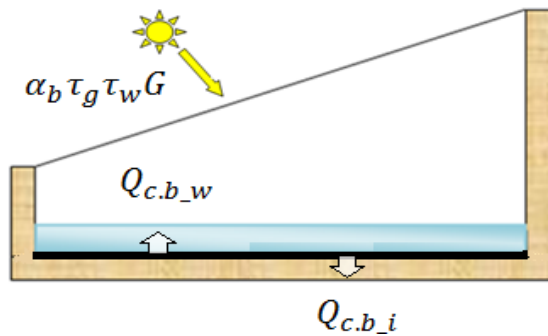


الشكل II.5. التوازن الحراري للماء.

3.3.II. التوازن الحراري لقاعدة المقطر الشمسي (الصفیحة الماصة)

يظهر الشكل II.6. قاعدة المقطر و هي الصفیحة الماصة ذات لون أسود غير براق. حيث مثل الميزان الحراري لأسفل المقطر أي على مستوى حوض التبخر بالعلاقة التالية:

$$(II.25) \quad \frac{M_b C p_b}{A_b} \frac{dT_b}{dt} = \alpha_b \tau_g \tau_w G - Q_{c.b.w} - Q_{c.b.i} \quad (J)$$



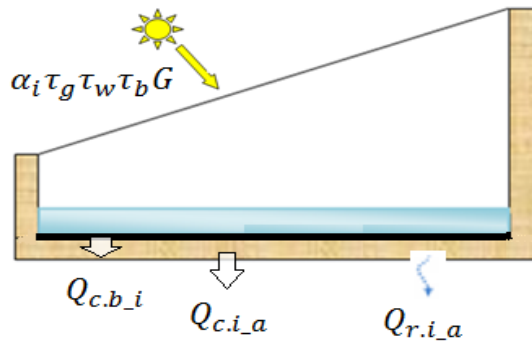
الشكل II.6. التوازن الحراري الكلي لقاعدة المقطر الشمسي (الصفیحة الماصة).

II.4.3. التوازن الحراري للعازل

يستخدم العازل الحراري للتقليل من فقدان الحرارة في جهاز التقطير الشمسي، و يوضح كل من الشكل II.7. و المعادلة (II.26) التوازن الحراري للعازل (8):

$$(II.26) \quad \frac{M_i C_{pi} dT_i}{A_i dt} = \alpha_i \tau_g \tau_w \tau_b G + Q_{c.b_i} - Q_{c.i_a} - Q_{r.i_a} \quad (J)$$

يمثل $Q_{c.b_i}$: التدفق الحراري بالتوصيل بين الحوض و العازل الحراري.



الشكل II.7. التوازن الحراري للعازل.

II.5.3. معاملات التبادل الحراري

✓ التدفق الحراري بواسطة الإشعاع بين طبقة الماء و الزجاج

يعطى تدفق التبادل الحراري بالإشعاع الحراري بين طبقة الماء و الزجاج بواسطة (8):

$$(II.27) \quad Q_{r.w_g} = F \cdot \sigma \cdot (T_w^4 - T_{g,i}^4) \quad (J)$$

يمثل؛ F: عامل الشكل (F = 0.8).

σ : ثابت ستيفان بولتزمان $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$.

$$(II.28) \quad Q_{r.w_g} = h_{r.w_g} (T_w - T_{g,i}) \quad (J)$$

و أيضا:

$$(II.29) \quad \begin{aligned} Q_{r.w_g} &= h_{r.w_g} (T_w - T_{g.i}) \\ &= 0.8 \cdot \sigma \cdot (T_w^2 - T_{g.i}^2) \cdot (T_w + T_{g.i}) \cdot (T_w - T_{g.i}) \end{aligned} \quad (J)$$

و منه نستنتج معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين طبقة الماء و الزجاج:

$$(II.30) \quad h_{r.w_g} = 0.8 \cdot \sigma \cdot (T_w^2 - T_{g.i}^2) \cdot (T_w + T_{g.i}) \quad \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

✓ التدفق الحراري بواسطة الحمل الحراري بين طبقة الماء و الزجاج

التدفق الحراري بين طبقة الماء و الزجاج يعطى بالعلاقة التالية (8):

$$(II.31) \quad Q_{c.w_g} = h_{c.w_g} (T_w - T_g) \quad (J)$$

يتم تحديد التدفق الحراري بالحمل الحراري المتبادل بين غشاء الماء و الزجاج بواسطة الباحث Dunkle في الحالة التي يكون فيها سطح الماء و الزجاج متوازيين (8):

$$(II.32) \quad Q_{c.w_g} = 0.884 \left[T_w - T_{gi} + \frac{(P_w - P_{gi})(T_w + 273.15)}{268.9 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} (T_w - T_{gi}) \quad (J)$$

في التقطير الشمسي، يصنع الزجاج زاوية (θ) مع سطح الماء فتصبح معادلة Dunkle (8):

$$(II.33) \quad \begin{aligned} Q_{c.w_g} &= 0.884 \left[T_w - T_{gi} \right. \\ &\quad \left. + \frac{(P_w - P_{gi})(T_w + 273.15)}{268.9 \times 10^3 - P_w} \left(\frac{1 + \cos \theta}{2} \right) \right]^{\frac{1}{3}} (T_w - T_{gi}) \end{aligned} \quad (J)$$

و عليه معامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي بين غشاء الماء و الزجاج هو:

$$(II.34) \quad h_{c.wg} = 0.884 \left[T_w - T_{gi} \right] \left(W/m^2.K \right) + \frac{(P_w - P_{gi})(T_w + 273.15)}{268.9 \times 10^3 - P_w} \left(\frac{1 + \cos \theta}{2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

✓ التدفق الحراري بواسطة بخار الماء

التدفق الحراري المنقول عن طريق التبخر يعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$(II.35) \quad Q_{evap} = h_{evap} (T_w - T_{g.i}) \quad (J)$$

و حسب Dunkle (8) فان:

$$(II.36) \quad Q_{evap} = 16.273 \times 10^3 Q_{c.w-g} \frac{(P_w - P_{g.i})}{(T_w - T_{g.i})} \quad (J)$$

كما يعطى ضغط بخار الماء وفقاً للصيغة التي قدمها Ouahid بالعلاقة التالية (9):

$$(II.38) \quad P = 133.32 \exp \left(18.6686 - \frac{4030.1824}{T + 273.15} \right) \quad (\text{pasc})$$

$$(II.39) \quad P = 0.148 . T - 0.3653 \times 10^{-2} . T^2 + 0.11242 \times 10^{-3} . T^3 \quad (\text{pasc})$$

✓ التدفق الحراري بواسطة الإشعاع الحراري بين الزجاج و المحيط الخارجي

و تكون على النحو التالي:

$$(II.40) \quad Q_{r.g_sky} = h_{r.g_sky} (T_{g.w} - T_{sky}) \quad (J)$$

و أما معامل انتقال الحرارة بالإشعاع من الزجاج إلى الوسط الخارجي يكون كالتالي (8):

$$(II.41) \quad h_{r.g_sky} = \varepsilon_g \cdot \sigma (T_{g.w}^2 - T_{sky}^2) \cdot (T_{g.w} + T_{sky}) \quad \left(W/m^2.K \right)$$

حيث؛ T_{sky} : درجة حرارة السماء، و $\varepsilon_g = 0.9$
 بشكل عام، نستخدم التعبير الذي اقترحه الباحث Whillier (8):

$$(II.42) \quad T_{sky} = 0.0552 \cdot (T_a^{1.5}) \quad (^\circ C)$$

و أيضا:

$$(II.43) \quad T_{sky} = T_a - 12 \quad (^\circ C)$$

حيث يتم قياس T_a و T_{sky} بوحدة كلفن.

✓ التدفق الحراري بالحمل الحراري بين الزجاج و الوسط المحيط

يعطى فقدان الحرارة بالحمل الحراري بين الزجاج و الوسط الخارجي بالعلاقة (8):

$$(II.44) \quad Q_{c.g_a} = h_{c.g_a} (T_{g.e} - T_a) \quad (J)$$

و عليه يعرف معامل التبادل الحراري بين الوجه الخارجي للزجاج و الهواء المحيط وفق العلاقة:

$$(II.45) \quad h_{c.g_a} = 5.7 + 3.8 V \quad \left(W/m^2.K \right)$$

حيث؛ V : سرعة الرياح (m/ s).

$T_{g.e}$: درجة الحرارة الخارجية للزجاج.

✓ التدفق الحراري بالحمل الحراري بين الحوض و الزجاج

يتم نقل التدفق الحراري بالحمل الحراري من الحوض أي الصفيحة الماصة - المبخر إلى الزجاج وفق العلاقة التالية:

$$(II.46) \quad Q_{c.b_g} = h_{c.b_w} (T_b - T_g) \quad (J)$$

و عليه يُعطى معامل انتقال الحرارة بالحمل الحراري بين أسفل الحوض و غشاء الماء بالعلاقة:

$$(II.47) \quad h_{c.b_w} = \frac{Nu \cdot \lambda}{\delta} \quad \left(W/m^2.K \right)$$

حيث؛ λ : التوصيل الحراري للمائع (في حالتنا هو الماء).
 δ : السمك.

علاقة نيسلت تأخذ التعبير الموالي للزاويا الأكبر من (60°) بين الأفق و الوجه الخارجي للزجاج، في جهاز التقطير الشمسي هذه الزاوية تساوي (160°) (8):

$$(II.48) \quad Nu = A \left(\frac{\delta}{L} \right)^m (Gr_T \cdot Pr \cdot \sin \theta)^n$$

مع؛ Gr : هو عدد GRASHOF

Pr : هو عدد PRANDTL

و عليه فان:

$$(II.49) \quad h_{c.b_g} = \frac{\lambda}{\delta} A \left(\frac{\delta}{L} \right)^m (Gr_T \cdot Pr \cdot \sin \theta)^n \quad \left(W/m^2.K \right)$$

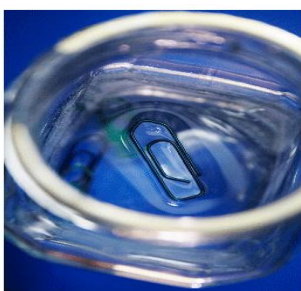
أثناء إجراء التجارب يظهر انتقال الحرارة و الكتلة، في هذه الحالة (λ) تصبح (λ') و (Pr) يصبح (Pr') بالإضافة إلى المجموع ($Gr_T + Gr_M$) فتصبح المعادلة (II.49):

$$(II.50) \quad h_{c.b_g} = \frac{\lambda'}{\delta} A \left(\frac{\delta}{L} \right)^m ((Gr_T + Gr_M) \cdot Pr' \cdot \sin \theta)^n \quad \left(W/m^2.K \right)$$

حيث تم تحديد الأسس (m, n) و المعامل (A) تجريبيا في حالة الحمل الحراري و في حالة الحمل الحراري الطبيعي و المادي: $A = 0.271$ ، $m = 0.21$ ، $n = 0.25$ كما ذكر الباحث Inaba (10).

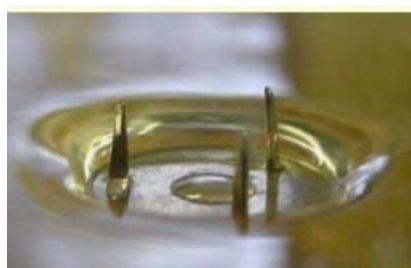
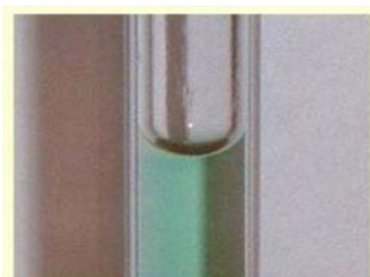
II.4. التوتر السطحي

هو ظاهرة من أهم الظواهر الفيزيائية التي يمكن ملاحظتها بكثرة في الطبيعة و تعرف أيضاً بالظاهرة السطحية، فمن خلال هذه الظاهرة يمكن تفسير عدة مشاهدات مثلاً؛ الطبقة السطحية لأي سائل تتصرف كأنها ورقة مرنة، تكور السوائل في صورة قطرات كتجمع قطرات الندى على أوراق الأشجار، سير الحشرات على الماء، طفو الأشياء المعدنية الصغيرة كالإبرة على سطح الماء، و تبليل الماء لأسطح بعض المواد كالزجاج بينما يتكور و لا يبيلل أسطح مواد أخرى كالشمع، كما هو مبين الشكل II.8، و أيضاً يندرج ارتفاع الماء في الأنابيب الشعرية و التي تسمى بالخاصية الشعرية تحت مفهوم ظاهرة التوتر السطحي (6 ، 7).



طفو الأشياء المعدنية الصغيرة على سطح الماء

تكور السوائل في صورة قطرات



ارتفاع الماء في الأنابيب الشعرية

مرونة الطبقة السطحية للسوائل

سير الحشرات على الماء

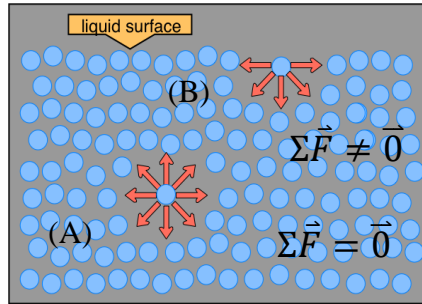
الشكل II.8. مشاهدات تبين ظاهرة التوتر السطحي.

II.1.4. تعريف عام لظاهرة التوتر السطحي

بشكل عام ظاهرة التوتر السطحي هي خاصية يتميز بها كل سائل، و تعمل على تقليل مساحة سطحه الخارجي، لتجعله يعمل كغشاء رقيق، مشدود و مرن، و ذلك بفعل قوى تدعى قوى التوتر السطحي التي تتواجد على سطح هذا السائل. ببساطة إذا كان لدينا إناء يحتوي على سائل و أخذنا نقطتين (A) و (B)، فالجزيء المتواجد داخل السائل عند النقطة (A) يخضع لقوى جذب من كل الجزيئات المجاورة له، و يكون مجموع هذه القوى معدوم ($\Sigma \vec{F} = \vec{0}$)، أما قوى الجذب التي يخضع لها الجزيء المتواجد عند النقطة (B) على سطح السائل تكون من جهة واحدة فقط و هي جهة السائل، و عليه فمجموع هذه القوى غير معدوم ($\Sigma \vec{F} \neq \vec{0}$)، كما هو موضح في الشكل II.9.

الجزيئات المتواجدة على سطح السائل لها طاقة كامنة أكبر من الطاقة الكامنة للجزيئات المتواجدة وسط السائل مثل ما هو مبين في الشكل II.9، و هذا راجع إلى أنه عندما نريد جلب جزيء من وسط السائل إلى

سطحه يجب كسر عدد معين من الروابط و عليه يجب بذل عمل للقيام بذلك، و هذا العمل يتحول إلى طاقة كامنة داخل الجزيء، و هذا يخالف الميل الطبيعي للأجسام لتقليل طاقتها و لكن يتحقق ذلك في السوائل من خلال ميلها الطبيعي لتقليل مساحة سطحها إلى أقل قدر ممكن، فرياضياً يبرهن أن ذلك يتحقق عندما يكون شكل السطح كروياً، كما تعتبر الحالة الأدنى طاقة أو الأكثر ثباتاً لحجم معين من سائل هي عندما تكون مساحة سطحه عند حدها الأدنى، و هذا يعطي أقل عدد من جزيئات السطح ذات الطاقة العالية، فالشكل الذي يفي بهذا الشرط هو الكرة، و هذا هو السبب كون قطرات المطر كروية تقريبا (6 ، 7).



الشكل.9.II. مخطط توضيحي لظاهرة التوتر السطحي.

II.2.4. قوى الترابط و التلاصق

إضافة لما سبق هناك قوى أخرى أساسية إلى جانب قوى ظاهرة التوتر السطحي و هي قوى الترابط و قوى التلاصق حيث أن:

✓ قوى الترابط

قوى الترابط لجزيئات السائل و تسمى أيضاً قوى الجذب الجزيئية، و هي قوى تربط بين جزيئات المادة المتجانسة و تعمل على تماسكها، فتعطي ذلك المظهر المتماسك لتلك المادة، كما أن مقدار هذه القوى في السوائل تكون أقل مما عليه في الأجسام الصلبة، و هذا ما يفسر تغير شكل السائل بتغير الإناء الموجود فيه.

✓ قوى التلاصق

تظهر هذه القوى بين جزيئات السائل و جزيئات الأوساط الأخرى الملامسة له، بمعنى أنها قوى تجاذب تنشأ بين مادتين مختلفتين سواء كانت تلك الأوساط صلبة، سائلة أو غازية، فمثلاً عند غمر أنبوبة شعرية في الماء تنشأ قوى تلاصق بين جزيئات الماء و السطح الداخلي للأنبوبة الشعرية.

II.3.4. السطح الفاصل و قانون لابلاس (Laplace)

قبل تعريف ظاهرة التوتر السطحي فيزيائياً، يجب أن نتعرف أولاً على مفهوم السطح الفاصل:

✓ مفهوم السطح الفاصل

و يعرف كذلك بالواجهة (Interface) و هو سطح التلامس بين وسطين مختلفين، فعندما ينشأ هذا السطح يرافقه دائماً استهلاك للطاقة، هذه الطاقة السطحية تساوي مساحة السطح مضروبة في مقدار التوتر السطحي، و نسجل طاقة السطح كما يلي:

(II.51)

$$E_s = \sigma \times s$$

(J)

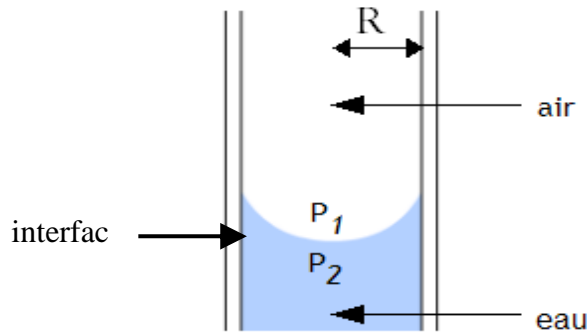
إذاً التوتر السطحي هو قوة تتواجد بتواجد السطح الفاصل الذي يفصل بين وسطين مختلفين، و هذا ما يفسر العديد من الظواهر التي تم ذكرها سابقاً. و عليه نرسم لقوة التوتر السطحي بالرمز اللاتيني سقما (σ) وحدتها هي مقدار الطاقة مقسومة على وحدة المساحة $[\sigma]_{SI} = \frac{J}{m^2}$ (6 ، 7).

✓ قانون لابلاس (Laplace)

عندما يكون السطح الفاصل بين وسطين مختلفين منحنياً فهذا يعني وجود فارق بين ضغطي هاذين الوسطين، فمثلاً في أنبوب اختبار يحتوي على ماء كما هو موضح في الشكل II.10، يتشكل سطح فاصل منحني و ذلك لأن ضغط الماء يختلف عن ضغط الهواء الخارجي. فمن خلال الخط المنحني المحدب أو المقعر للسطح الفاصل يمكن أن نستنتج بديهياً أي من الضغطين أعلى من الآخر، على سبيل المثال إذا كان السائل يملك واجهة منحنية نحوى الأعلى، إذن ضغط السائل أعلى بكثير من الضغط الخارجي، و بالعكس إذا كان السائل يملك واجهة منحنية نحوى الأسفل فإن الضغط الخارجي سيكون أعلى، و عليه يمكننا إيجاد التوتر السطحي للسائل فيزيائياً من خلال معرفة الفرق في الضغط و أيضاً نصف قطر الإناء، و عليه يعرف هذا الضغط بضغط لابلاس (Laplace) و يعطى بالعلاقة التالية (6 ، 7):

(II.52)

$$\Delta P = P_{int} - P_{ext} = \frac{4\sigma}{R} \quad \left(\frac{N}{m^2} \right)$$



الشكل II.10. مخطط توضيحي للسطح الفاصل بين وسطين مختلفين في أنبوب إخبار يحتوي على الماء.

II.4.4. العوامل المؤثرة في ظاهرة التوتر السطحي

هناك عدة عوامل تؤثر على ظاهرة التوتر السطحي أهمها:

✚ نوع السائل، حيث كلما زادت الكثافة زادت قوة التوتر السطحي، فمثلاً التوتر السطحي للزئبق أكبر من التوتر السطحي للماء لذا تبدو قطرات الزئبق أكثر تكوراً من الماء و قطرات الكحول أقل تكوراً.

درجة الحرارة، حيث عند ارتفاع درجة حرارة السائل تقل قوة التوتر السطحي، و ذلك بسبب ضعف قوى التأثير المتبادلة بين جزيئات السائل، الجدول.1.II. يبين قيم قوة التوتر السطحي لبعض السوائل في درجات حرارة مختلفة.

المنظفات أو السوائل المنظفة، فعند إضافتها إلى الماء تقلل من قيمة توتره السطحي.

مواد ذائبة في السائل، فوجودها يُنشأ شحنات كهربائية تقلل من التوتر السطحي للسائل، فحسب قاعدة جيبس (Gibbs rule) فان المواد الذائبة التي تتمركز على سطح السائل تقلل من توتره السطحي بدرجة اكبر مما هي عليه في الداخل.

المواد العضوية، مثل الكحول و الأحماض و الأسترات تقلل من التوتر السطحي للماء.

الأملاح الغير عضوية، هي مواد تزيد من التوتر السطحي للماء قليلا.

الجدول.1.II. قيم قوة التوتر السطحي لبعض السوائل في درجات حرارة مختلفة.

السائل	$(0^{\circ}\text{C}) \gamma \times 10^{-3} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	$(25^{\circ}\text{C}) \gamma \times 10^{-3} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	$(50^{\circ}\text{C}) \gamma \times 10^{-3} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	$(75^{\circ}\text{C}) \gamma \times 10^{-3} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$
بنزين	31.60	28.20	25.00	21.00
كلورو فورم	29.00	26.40	23.10	20.20
كحول ايثيلي	24.00	21.80	19.80	--
الماء	75.64	71.19	67.91	63.50

5.II. الخاصية الشعرية

عند إجراء بعض الأعمال التطبيقية الفيزيائية أو كيميائية نلاحظ ظاهرة انتقال السائل في الأنابيب الدقيقة أو الشعرية، و هذه الظاهرة عرفت بالخاصية الشعرية.

1.5.II. تعريف الخاصية الشعرية

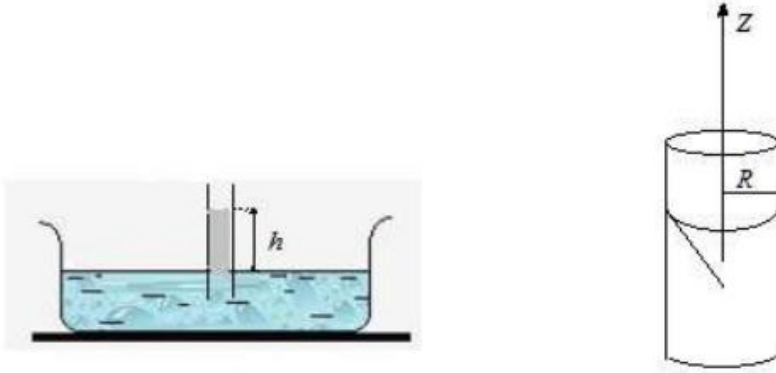
هي خاصية فيزيائية تميل فيها السوائل إلى السريان في أنابيب رفيعة في شكل الشعر تسمى بالشعيرات، و أكثر الأنابيب الشعرية كفاءةً هي التي لا ترى إلا تحت المجهر، و تكون غير منتظمة في الشكل و الحجم، و هي أيضا خاصية يتم بواسطتها انتقال السائل من الأسفل إلى الأعلى، كما أن هذه الخاصية تنشأ بتواجد قوة التوتر السطحي .

2.5.II. الخاصية الشعرية و علاقتها بالتوتر السطحي

من المعروف أن التوتر السطحي هو ذاك التأثير الذي يجعل الطبقة السطحية لأي سائل تتصرف كورقة مرنة، و هناك التوتر الواجهي هو اسم لنفس التأثير عند حدوثه بين سائلين، و الجدير بالذكر هنا أن التوتر السطحي هو المسبب للخاصية الشعرية.

3.5.II. قياس التوتر السطحي تجريبيا عن طريق ارتفاع السائل في الأنبوب الشعري

لتعيين التوتر السطحي لسائل ما ذو كثافة معلومة نقوم بتجربة بسيطة، حيث نضع هذا السائل في إناء مخبري، ثم نغمس فيه أنبوب شعري مفتوح الطرفين نصف قطره (r) ، فنلاحظ ارتفاع السائل داخل الأنبوب بفعل الخاصية الشعرية، ويستمر هذا الارتفاع إلى أن يتوقف عند ارتفاع معين كما يوضحه الشكل. II.12. في هذه النقطة يكون السائل واقع تحت تأثير قوتين متساويتين في المقدار و متضادتان في الاتجاه، و هما قوة التوتر السطحي التي تدفع السائل لأعلى و قوة الجاذبية الأرضية التي تشد السائل لأسفل، ثم نقيس هذا الارتفاع (h) بـ cm.



الشكل. II.11. رسم يوضح تجربة قياس التوتر السطحي عن طريق ارتفاع السائل في الأنبوب الشعري.

و عليه يكون لدينا:

$$(II.53) \quad \text{قوة الأرضية الجاذبية} = \pi r^2 h \rho g = (N)$$

$$(II.54) \quad \text{قوة التوتر السطحي} = 2 \pi R \sigma = (N)$$

(R) تمثل نصف قطر التقعر و العلاقة بينه و بين نصف قطر الأنبوب (r) هي: $R = r \cos \theta$ و بالتالي فان:

$$(II.55) \quad \text{قوة التوتر السطحي} = 2 \pi r \sigma \cos \theta = (N)$$

و عند توقف السائل عن الارتفاع تتساوى القوتان أي: قوة التوتر السطحي = قوة الجاذبية الأرضية. و منه:

$$(II.56) \quad 2 \pi r \sigma \cos \theta = \pi r^2 h \rho g \quad (N)$$

فنستنتج:

$$(II.57) \quad \sigma = \frac{\pi r^2 h \rho g}{2 \pi r \cos \theta} = \frac{r h \rho g}{2 \cos \theta} \quad \left(\frac{N}{m} \right)$$

(σ) تمثل معامل التوتر السطحي.

(ρ) تمثل كثافة السائل بوحدة (g/cm^3) و هي نفس الوحدة (g/ml) و تحول إلى (kg/m^3)

(g) تمثل قوة الجاذبية الأرضية و تساوي $9.81 (m/s^2)$.

(θ) زاوية البلل، و في حالة السوائل التي تبلل السطوح الصلبة مثل الماء فإنها تساوي تقريبا صفر بمعنى $\cos 0 = 1$ فتصبح:

$$(II.58) \quad \sigma = \frac{r h \rho g}{2} \quad \left(\frac{N}{m} \right)$$

6.II. الخلاصة

تطرقنا في هذا الفصل إلى أهم الظواهر الفيزيائية الداخلة في عملية التقطير الشمسي من بينها التبادلات الحرارية و أشكال انتقالها، إضافة إلى انتقال الكتلة، و ظاهرة التوتر السطحي، تعريفها، ابرز قوانينها و العوامل المؤثرة عليها، و دراسة هذه الظواهر تتمحور حولها دراستنا التجريبية للفصل الموالي، و يتضمن دراسة تأثير قوة التوتر السطحي على فعالية المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد، و الذي يعتبر موضوع جديد لم يتم دراسته من طرف الباحثين على مستوى المخابر العالمية، كما تطرقنا أيضا إلى الموازين الطاقوية المتحكمة في جهاز التقطير الشمسي البسيط ذو الميل الواحد.

- [1] J.F. Sacadura "Initiation aux transferts thermiques" . Coordonnateur; Technique et Documentations.
- [2] Nicole Hulin-Jung, Jean Klein "Mécanique Quantique Thermodynamique", Herman, Paris (1972).
- [3] Pierre Henri Communay "Héliothermique Le gisement solaire, Méthodes et Calculs", GRE 31600 Saubens France (2002).
- [4] Communay Pierre Henri., Heliothermique, "Le gisement solaire Méthodes et calculs", Groupe de chercheur et d'édition, (2002).
- [5] Perrin de Brichambaut, Ch. Vauge, "Le gisement solaire, Edition TEC& DOC Lavoisier", Paris, (1982).
- [6] Djaballah D. Benhaoua B. Khechekhouche A, "Surface tension force effect on the solar still output", JP Journal of Heat and Mass Transfer Volume 28, 2022, Pages 165-176 (2022 P-ISSN: 0973-5763).
- [7] Djaballah D. Benhaoua B.et al. , "Experimental study of the role of surface tension in enhancing the performance of solar stills using different designs of plastic fins", Solar Energy 262 (2023) 111835.
- [8] D. Bechki, , " Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes", University of Batna, PhD tesis(2011), pp 75-94.
- [9] Halloufi Ouahid, "étude de la performance d'un distillateur solaire par un système de pre-chauffage solaire de l'eau saumâtre", University of Constantine, PhD thesis(2010), pp 30-31.
- [10] H. Inaba, , "Experimental study of natural convection in an inclined air layer", Int. J.He at Mass Transfer, Vol. 27(1984), n°8, 1127-113.

الفصل الثالث: الدراسة التجريبية

1.III. مقدمة

يضم هذا الفصل الدراسة التجريبية لهذه الأطروحة، و المتمثلة في دراسة تأثير قوة التوتر السطحي على فعالية المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد. لتعزيز أداءه، لذا من الضروري قبل القيام بأي تجربة إجراء دراسة نظرية لفهم النماذج الرياضية المطبقة في هذا المجال و أيضاً معرفة العوامل المؤثرة في التقطير الشمسي، و عليه نقترح أولاً تحليل العوامل التي تؤثر على أداء المقطرات الشمسية مثل الإشعاع الشمسي؛ درجة حرارة المحيط الخارجي؛ سرعة الرياح؛ وكذلك عمق و درجة حرارة ماء حوض التبخير و أخيراً العزل، و قد تؤثر أيضاً عوامل التصميم على الأداء مثل انحدار و سمك الغطاء؛ المسافة بين سطح الماء و غطاء التكثيف؛ و المواد المستعملة في تصميم الجهاز، و عليه عند إنجاز سلسلة التجارب العملية سيتم أخذ عوامل التأثير بعين الاعتبار كموضوع للدراسة، بالإضافة إلى ذلك لا ننسى موازين الطاقة التي تتحكم في المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد المستخدم لهذه الدراسة.

2.III. العوامل المؤثرة على جهاز التقطير الشمسي

يتأثر جهاز التقطير الشمسي بعدة عوامل منها العوامل المناخية، و التي لا يمكن السيطرة عليها مثل؛ الإشعاع الشمسي؛ درجة حرارة المحيط الخارجي، و العوامل الهندسية مثل؛ الشكل؛ السطح؛ الميل؛ و عمق مياه حوض التبخر، هذه العوامل يمكن التحكم فيها بشكل أو بآخر من قبل شركة التصنيع أو مستخدم الجهاز.

1.2.III. العوامل المناخية

✓ الإشعاع الشمسي

الإشعاع الشمسي هو العامل الأكثر أهمية، و هو عبارة عن مجموعة من الموجات الكهرومغناطيسية المنبعثة من الشمس؛ جزء صغير من هذا الإشعاع يصل إلى سطح الأرض فينعكس جزء منه و يتم امتصاص الأجزاء الأخرى، و قد اهتم العديد من الباحثين بدراسة تأثير الإشعاع الشمسي على أداء المقطرات الشمسية حيث أظهرت النتائج أن الزيادة في الإنتاجية تعتمد بشدة على الإشعاع الشمسي الساقط (1 ، 2).

✓ سرعة الرياح

عموماً تتشكل الرياح بسبب الاحتباس الحراري الناتج عن التوزيع الغير متساوٍ للإشعاع الشمسي و دوران كوكب الأرض، و هي عبارة عن حركة جماعية للغاز على سطح الكوكب.

يمكن تأثير سرعة الرياح على أداء المقطرات الشمسية في تأثيرها على درجات حرارة سطح الغطاء الزجاجي الخارجي، بحيث مع انخفاض درجة حرارة الغطاء الزجاجي يزداد الفارق في درجة الحرارة بين الزجاج و ماء حوض التبخير، فزيادة سرعة الرياح يزداد انتقال الحرارة بالحمل القسري من الغطاء

الزجاجي إلى الغلاف الجوي الخارجي، و بالتالي يزداد انتقال الحرارة بالحمل الحراري إلى حد ما عن طريق تبخر مياه الحوض و منه تحسين الإنتاجية (3 ، 4).

✓ درجة حرارة المحيط الخارجي

تُقاس درجة الحرارة في عملنا بالدرجة المئوية، و هي قياس غير مباشر لدرجة تحريض الجسيمات المجهرية التي لها تأثير على التقطير الشمسي؛ حيث درس العديد من الباحثين تأثير درجات حرارة المحيط الخارجي المتغيرة على إنتاجية المقطر الشمسي، فأظهرت النتائج أن درجة حرارة الهواء المحيط لها تأثير على إنتاجية جهاز التقطير. في إحدى الدراسات بينت أن الزيادة في درجة حرارة المحيط بـ 10°C سيتبعها تحسين بنسبة 8.2% (5).

III.2.2. العوامل الهندسية

✓ سمك و ميل الغطاء الزجاجي (المكثف)

لاستقبال أقصى قدر ممكن من الإشعاع الشمسي، و للحصول على أقصى إنتاجية للمقطر الشمسي؛ نركز على سمك الغطاء الزجاجي، و قد تم تأكيد ذلك من خلال دراسات لمجموعة من الباحثين. بينت بعض الدراسات أن زاوية ميل الغطاء الزجاجي يجب أن تكون مساوية لخط عرض مكان التجربة، كما أظهرت دراسات أخرى أن أفضل الزوايا بين (15° و 20°) (6 ، 7).

✓ نظام تبريد الغطاء الزجاجي

تبريد الغطاء الزجاجي للمقطر الشمسي أو تبريد المكثف؛ و يعني ذلك توسيع الفارق في درجة الحرارة بين ماء الحوض و الغطاء الزجاجي لينتج عنه زيادة في تكثيف البخار الناتج و بالتالي رفع الإنتاجية، و قد قام بعض الباحثين بتكييف هذا الحل عن طريق إنشاء تدفق ضعيف و مستمر لبعض الموائع على الغطاء الزجاجي منها الماء و الهواء، فنتج عن هذه التقنية تحسينات في إنتاجية الماء المقطر الناتج (8).

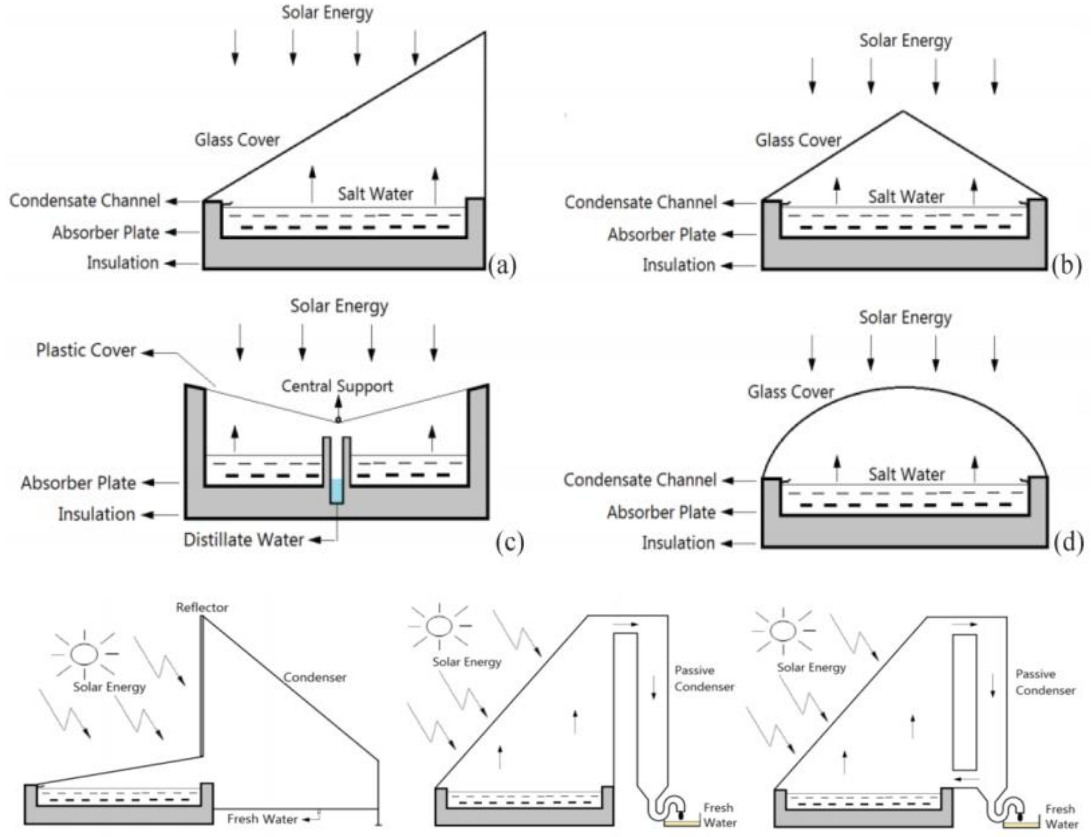
✓ نظام تسخين مياه حوض التبخر

يتم تسخين مياه الحوض عن طريق أنظمة شمسية مدمجة في المقطر الشمسي مثل؛ مجمّع الطاقة الشمسية المسطح؛ مجمّع الطاقة الشمسية المكافئ؛ الأسطوانة المكافئة و غيرها من الأنظمة، كما يعد العاكس الشمسي من أسهل الطرق لزيادة كفاءة المقطر الشمسي، فقد طورت الدراسات استخدامه للاستفادة أكثر من الانعكاسات و الانكسارات الخارجية و الداخلية للإشعاع الشمسي، فأعطت هذه الإضافة المزيد من التحسن في الإنتاجية، ناهيك عن التغيير في عمق المياه لحوض التبخر حيث أثبتت الدراسات المنشورة على أنه كلما قل عمق طبقة الماء زادت الإنتاجية (6 ، 9).

إن استخدام مواد التخزين الحرارية موجود أيضا في المقطر الشمسي؛ و هذه التقنية تستخدم على نطاق واسع لضمان استمرارية الإنتاج حتى بعد غروب الشمس. كما طور الباحثون هذه التقنية باستعمال مواد التخزين الحرارية المتحولة (pcm). و في السنوات الأخيرة استعمل الباحثون في هذا المجال تقنية حديثة جدا و هي استعمال مواد النانو (10 ، 11).

3.III. أنواع المقطرات الشمسية مع حوض مائي يشغل الجزء السفلي من الجهاز

هناك عدة أنواع من المقطرات الشمسية، مثل المقطر البسيط ذو طابق واحد، المقطر المتعدد الطوابق و غيرها، لكننا نريد اختيار المقطرات الشمسية التي تشبه إلى حد كبير المقطرات التقليدية مع حوض مائي يشغل الجزء السفلي من الجهاز، فكما هو موضح في الشكل 1.III. نلاحظ العديد من التعديلات المختلفة على مستوى المكثف (الغطاء الزجاجي) لكن الحوض المائي يبقى كما هو.



الشكل 1.III. مختلفة أنواع المقطرات الشمسية مع حوض مائي يشغل الجزء السفلي.

4.III. الدراسة التجريبية (Etude Experiment)

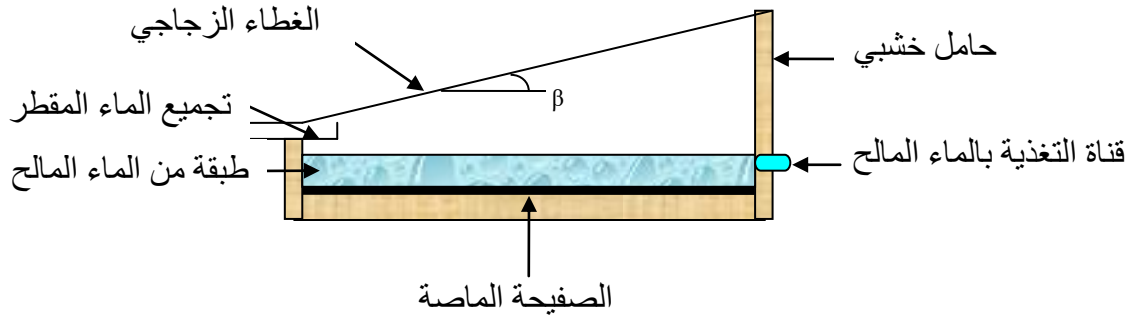
استخدام مفعول التوتر السطحي لزيادة و تحسين المرود اليومي للمقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد هو الهدف الأساسي للدراسة التجريبية لهذه الأطروحة، و ذلك بالاستعانة بعدة مقطرات شمسية بسيطة متماثلة تم تصميمها و تركيبها لإجراء سلسلة من التجارب، كما أنه استوجب معالجة هذه التجارب بالظروف الجوية و المناخية التي أنجزت فيها، و المعدات و الأجهزة المستعملة، و ذكر الخصائص الفيزيائية و الكيميائية لبعض الأجزاء المركبة للنموذج التجريبي للمقطر الشمسي و التمثيل البياني له.

1.4.III. الظروف الجوية و المناخية السائدة في منطقة الوادي

تمثل منطقة الوادي جزءاً من شمال الصحراء الجنوبية الشرقية للجزائر، و تبعد عن عاصمة البلاد بـ 650km، يسودها المناخ الصحراوي المتميز بقسوته، طول مدة أيام الحرّ أي جاف صيفاً، و بارد شتاءً مع قلة هطول الأمطار بسبب بعد المنطقة عن البحر، حيث يصل المتوسط السنوي للتساقط إلى 75.2 mm، بالإضافة إلى هبوب الرياح على مدار السنة، لذا تُعتبر هذه الظروف المناخية من المعوقات التي تُعيق أنشطة الإنسان بها، و بالرغم من ذلك استطاع العيش في هذه المنطقة، كما تتربع منطقة الوادي جغرافياً على مساحة تقدر بـ 77 km²، كما يصل المتوسط الحراري الشهري للقيم العظمى إلى غاية 14.7 °C في فصل الشتاء، و إلى 49.7 °C تحت الظل في فصل الصيف، و بما أنها منطقة ذات طابع صحراوي فهي وافرة و غنية من حيث الطاقة الشمسية المتجددة، لذا فإن مدة التشميس (Durée d' insolation) تكون جيدة، و تعرف نسبة التشميس؛ بأنها معدل عدد ساعات التشميس على المدة الفلكية للأيام، فتصل لمقدار أعظمي يقدر بـ 30.8 % بين شهري جوان و جويلية، و أما الرطوبة الجوية (Humidité atmosphérique) لهذه المنطقة فتقل كلما اقتربنا من فصل الصيف، حيث نسجل أقصاها في شهر ديسمبر لتصل إلى 64.8%، و أدناها في شهر جويلية لتصل إلى 30.4% (12).

2.4.III. مكونات المقطر الشمسي البسيط المستعمل في الدراسة التجريبية

يوضح لنا الشكل الشكل 2.III. نموذج للمقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد المستعمل في سلسلة التجارب العملية لهذه الأطروحة، و هو يتكون من (13، 14، 15):



الشكل 2.III. مكونات المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد.

✓ الإطار الخشبي

مادة صنعه هي الخشب، قاعدته تمثل حوض التبخير مضاف إليها الصفيحة الماصة، و لأجل التقاط أكبر كمية ممكنة من الإشعاع الشمسي تكون ملونة باللون الأسود الغير براق.

✓ الغطاء الزجاجي (La couverture vitrée)

و يكون مصنوع من الزجاج العادي الشفاف، يسمح بالمرور الجيد لأشعة الشمس، و يتميز بعدم شفافيته للأشعة تحت الحمراء، كما أن التدرج الحراري بين وجهيه الداخلي و الخارجي تقريبا مهمل.

✓ الصفيحة الماصة (absorbeur)

مصنوعة من مادة الألمنيوم لأنه يتميز بتوصيلية حرارية جيدة و مقاومة حرارية ضعيفة، وجهها الخارجي مطلي بلون أسود غير براق، و ذلك لأجل التقاط الإشعاع الشمسي.

✓ العازل و الوصلة (L'étanchéité et l'isolation)

أستعمل الإطار الخشبي لتصميم جهازنا كونه عازل جيد للحرارة، و يكون مطلياً بمادة عازلة للماء (Verni)، بالإضافة إلى وصلة (Joint) و هي عبارة عن مادة مطاطية عازلة توضع بين الغطاء الزجاجي و الإطار الخشبي لأجل التقليل من الضياع الحراري و بخار الماء و أيضا لتفادي انصداع الزجاج، و تكون هذه الوصلة مرفقة بمادة صمغية عادية تسمى السيليكون (Silicone).

III.3.4. أجهزة القياس المستعملة في الدراسة التجريبية

باستعمال أجهزة القياس المبينة أدناه سارت دراستنا التجريبية على أكمل وجه، مما أمكننا من الحصول على القياسات النظامية لكل من؛ تدفق الإشعاع الشمسي الكلي، درجة حرارة الزجاج من الداخل و الخارج، درجة حرارة ماء حوض التبخر، درجة حرارة الهواء الجوي المحيط، و أخيرا كمية الماء المقطر الناتج.

✓ بطاقة اردوينو (Arduino)

الشكل III.3. عبارة عن لوح تحكم إلكتروني مبرمج مفتوح المصدر، يستند إلى لوح تحكم آخر ميكروكنترولر بسيط يتضمن برمجيات متكاملة أو برمجيات مراقبة دقيقة، حيث تقوم بطاقة اردوينو بتوفير بيئة تطوير متكاملة لكتابة و تجميع البرامج و نقلها إلى اللوح الميكروكنترولر، و الهدف هنا هو استخدامها كمبركرو في تطبيقات النمذجة الإلكترونية، حيث يقوم المصمم بتطوير واجهات و برمجة المكون الماكرو لتحقيق التطبيق المرغوب. تساعدنا هذه البطاقة على تسجيل درجات الحرارة المختلفة و تخزينها أليا على جهاز الحاسوب و هذا يوفر علينا مجهود و عناء إجراء القياسات يدويا.

✓ جهاز معيار (PHM210)

يوضح الشكل III.6. جهاز معيار (PHM210) المتواجد، و يُستخدم لقياس الأس الهيدروجيني، لذا فهو يساعدنا على إظهار درجة حموضة الماء المقطر الناتج من المقطرات الشمسية المستعملة في تجاربنا العملية.



الشكل III.6. معيار PHM210 .

✓ جهاز قياس الموصلية (CDM210)

يوضح الشكل III.7. مقياس الموصلية (CDM210)، و يساعدنا على معرفة التوصيلية الكهربائية للماء المقطر الناتج من المقطرات الشمسية المستعملة في تجاربنا العملية.



الشكل III.7. مقياس الموصلية (CDM210).

✓ جهاز قياس سرعة الهواء للمحيط الخارجي

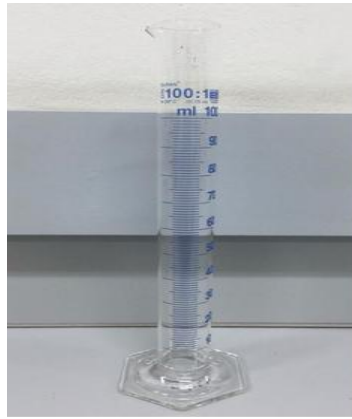
يوضح الشكل III.8. جهاز إلكتروني (Anémomètre à fil chaud)، و يُستعمل لقياس سرعة حركة الهواء المحيط، و هو متصل بسلك رفيع معرض للجو الخارجي يمر عبره تيار كهربائي ضعيف، يعطينا هذا الجهاز قراءتين؛ الأولى تعبر عن سرعة حركة الهواء أما الثانية فتعبر عن درجة حرارة المحيط الخارجي.



الشكل III.8. جهاز قياس سرعة الهواء.

✓ دورق مدرج

و أخيرا يوضح الشكل III.9. الدورق المدرج المستعمل ليسهل لنا قياس كمية الماء المقطر الناتج، الذي يتم تجميعه كل ساعة من المقطرات المستعملة في تجاربنا العملية كلاً على حدا.



الشكل III.9. الدورق المدرج.

III.4.4. الخصائص الرئيسية لجهاز التقطير الشمسي

✓ مردودية المقطر الشمسي (Le rendement)

و هو يمثل إنتاجية جهاز التقطير، و هو كمية الماء المقطر المنتجة لكل (1m²) من سطح التبخر، و يُعطى بالعلاقة التالية حسب الباحث بيشكي (16):

$$(III.29) \quad M = \frac{Q_{evp}}{L_{T_w}}$$

حيث؛ Q_{evp} : التدفق الحراري المستعمل لتبخير الماء.

L_{T_w} : الحرارة الكامنة لتبخير الماء عند درجة الحرارة المدروسة.

✓ الطاقة المنتجة لكل ساعة

وفقاً لـ Manokar et al يتم حساب ناتج الطاقة لكل ساعة على النحو التالي (17):

$$(III.30) \quad Ex_{output} = \frac{m_{ew}L_{fg}}{3600} \times \left[1 - \frac{T_a}{T_w} \right]$$

✓ الطاقة المستهلكة كل الساعة

وفقاً لـ Manokar et al يتم حساب مدخل الطاقة لكل ساعة كما يلي (17):

$$(III.31) \quad Ex_{input} = A_w G(t) \times \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_a}{T_s} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_s} \right)^4 \right]$$

✓ كفاءة المقطر الشمسي efficiency

✚ الكفاءة الكلية

الكفاءة اليومية الكلية هي النسبة بين كمية الحرارة المستخدمة للتبخر لمقدار كمية الطاقة الإجمالية، و التي يمكن حسابها بالصيغة التالية:

$$(III.32) \quad \eta_g = \frac{Q_{evp}}{G} (\%)$$

✚ الكفاءة الحرارية

وفقاً لـ Manokar et al تقدر الكفاءة الحرارية لجهاز التقطير الشمسي كما يلي (17):

$$(III.33) \quad \eta_{passive} = \frac{\sum \dot{m}_{ew} L}{\sum I(t) A_s \times 3600} \times 100$$

✚ قوة الكفاءة

قوة الكفاءة لجهاز التقطير الشمسي تعطى بواسطة العلاقة (17):

$$(III.34) \quad \eta_{overall,exe} = \frac{\sum Ex_{output}}{\sum Ex_{input}}$$

عموما فعالية المقطر الشمسي هو النسبة بين كميات الماء المقطر التي ينتجها و الطاقة التي يتلقاها الجهاز، حيث (16):

✚ **معامل الفعالية اليومي (GPF)**

$$(III.35) \quad GPF = \frac{\text{Quantity of produced water produced after 24 hours}}{\text{Quantity of energy entered after 24 hours}}$$

✚ **معامل الفعالية الساعي (GPH)**

$$(III.36) \quad GPH = \frac{\text{Quantity of water produced after one hour}}{\text{Quantity of energy to enter after one hour}}$$

III.5. الأعمال التجريبية المنجزة لهذه الدراسة (Série d'expérience)

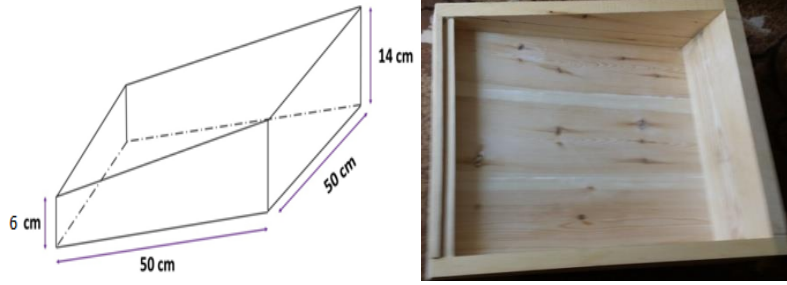
هدفنا الأساسي لهذه الدراسة البحثية هو معرفة مدى تأثير ظاهرة التوتر السطحي على زيادة معدلات التبخر و تحسين إنتاجية المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد، لهذا الغرض أجريت سلسلة التجارب العملية لهذه الأطروحة على مستوى مخبر تطوير تكنولوجيات الموارد الصحراوية (VTRS) بجامعة الوادي، و وحدة تنمية الطاقات المتجددة في الناطق القاحلة (UDERZA) بالوادي الجزائر، حيث استخدمت عدة نماذج مصممة تجريبيا للمقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد، و بالطبع أنجزت هذه التجارب في نفس المكان، بنفس الوضع، نفس طبيعة الماء المستعمل و أيضا في نفس ظروف الأرصاد الجوية، مع أخذ القياسات النظامية التجريبية المختلفة لكل المقطرات في فترات زمنية معينة.

III.5.1. مراحل إدخال مفعول ظاهرة التوتر السطحي على المقطر الشمسي البسيط

✓ **مرحلة (1) تصميم نماذج المقطرات الشمسية البسيطة المستعملة في التجارب**

في إطار انجاز التجارب العملية لهذه الأطروحة تم تصميم أربعة نماذج متماثلة لها نفس الأبعاد المختارة لجهاز المقطر الشمسي البسيط، و الذي يتكون من:

✚ إطار خشبي لأجل العزل الحراري الجيد بمقاس (50 cm × 50 cm) يكون مطليا بمادة عازلة للماء (Verni)، و على قاعدته الصفيحة الماصة طولها مقاسها (50 cm × 50 cm) أي مساحتها (0.25 m²)، إضافة إلى وصلة (Joint) من مادة مطاطية توضع بين الإطار الخشبي و الغطاء الزجاجي و تكون مرفقة بمادة صمغية عادية تسمى السيليكون (Silicone) و ذلك لتفادي انصداع الزجاج، و أيضا لأجل التقليل من الضياع الحراري و بخار الماء، كما هو موضح في الشكل III.10. (14 ، 15).



الشكل III.10. أبعاد المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد المصمم في تجريبيا.

✚ غطاء زجاجي شفاف أبعاده (55 cm × 55 cm) و سمكه (0.03cm)، يميل عن الأفق مع ميل الإطار الخشبي بزواوية ثابتة تقدر بـ 25^0 ، و هو يسمح بالمرور الجيد لأشعة الشمس حيث أن معامل إمراره تقريباً ثابت حوالي (0.87)، كما يتميز أيضا بعدم شفافيته للأشعة تحت الحمراء، و التدرج في درجة الحرارة بين وجهيه الداخلي و الخارجي يعتبر مهمل، و الشكل III.11. يوضح ذلك.



الشكل III.11. الغطاء الزجاجي.

✚ ساقية و هي عبارة عن قناة متواجدة في الجهة السفلية للإطار الخشبي، تُستعمل لتجميع الماء المقطر الناتج عن تكثيف بخار الماء على الوجه الداخلي للغطاء الزجاجي، ثم نقله لإناء التجميع عن طريق ثقب في نهايتها يكون موصول بأنبوب بلاستيكي لين (PVC) قطره (4mm)، كما هو موضح في الشكل III.12.



الشكل III.12. ساقية لتجميع و نقل الماء المقطر الناتج.

و عليه يوضح لنا الشكل III.13. خطوات تصميم النموذج الواحد للمقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد المستعمل في تجاربنا و مكونات، و تكون على النحو التالي:



وضع الوصلة المطاطية، الغطاء الزجاجي، بالإضافة إلى الأنابيب البلاستيكي لنقل الماء المقطر لإناء التجميع.

صباغة الجهاز و الصفيحة الماصة باللون الأسود الغير براق

هيكل الجهاز (الإطار الخشبي) قبل الاستعمال مع إظهار ساقية نقل الماء المقطر.

الشكل III.13. التصميم التجريبي لجهاز المقطر الشمسي البسيط المستعمل في التجارب.

ملاحظة: في نفس الظروف و دون أي إضافات قمنا بالتجريب العملي للنماذج المصممة يدويا، إلى غاية الحصول على نتائج جد مرضية من حيث درجات الحرارة و كميات الماء المقطر الناتج، و ذلك حتى يتسنى لنا القيام بالتجارب العملية على أكمل وجه، و إعطاء مصداقية للنتائج المتحصل عليها.

✓ مرحلة (2) تثبيت الأنابيب البلاستيكية على مستوى حوض التبخر

في هذه المرحلة نترك أحد نماذج المقطرات المصممة كمرجع و البقية نجري عليها سلسلة الأعمال التجريبية. أين نقوم بإدخال معاملات التوتر السطحي و ذلك بواسطة تثبيت عدد معين من الأنابيب البلاستيكية على مستوى حوض التبخر لنماذج المقطرات المتبقية، كما هو موضح في الشكل III.14. (14 ، 15):



الشكل III.14. إدخال معاملات التوتر السطحي بتثبيت الأنابيب البلاستيكية على مستوى حوض التبخر.

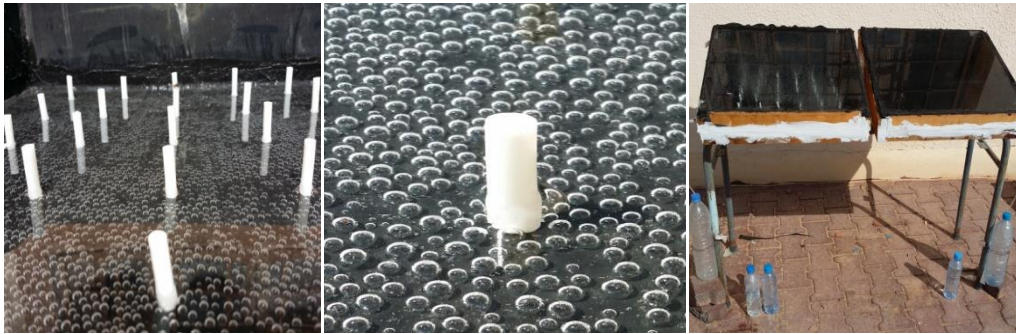
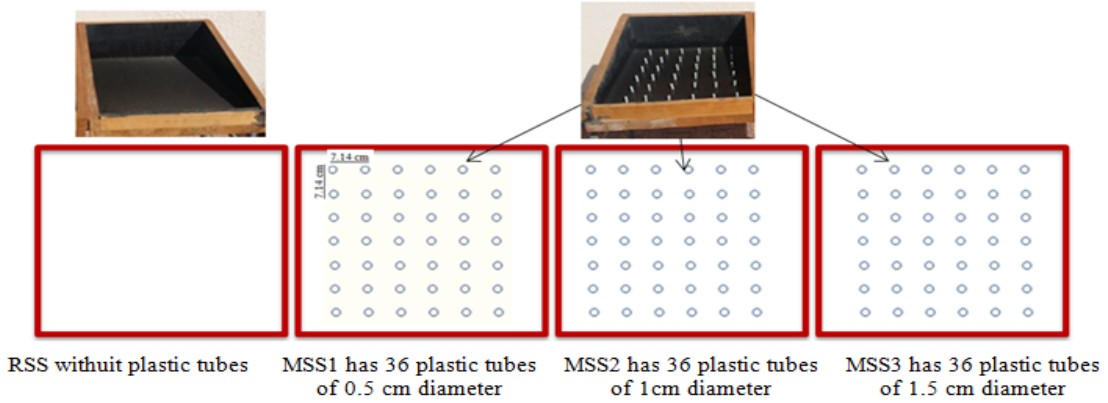
III.2.5. انجاز سلسلة التجارب العملية

خلال شهر نوفمبر 2019 في صحراء الجزائر و تحديداً بجامعة الوادي؛ تم انجاز سلسلة الأعمال التجريبية المقررة لهذه الأطروحة. في نفس الظروف الجوية نعرض نماذج المقطرات الشمسية الأربعة المصممة سلفاً لأشعة الشمس، مع أخذ مختلف القياسات النظامية التجريبية لهذه النماذج، كتسجيل درجات الحرارة، كميات الماء النقية و غيرها، و ذلك خلال كل ساعة طوال مدة التجربة.

لأجل الإلمام بموضوع دراستنا بالكامل؛ قمنا أثناء انجاز سلسلة الأعمال التجريبية بالتغيير التدريجي في أقطار الأنابيب البلاستيكية، و ذلك حتى نتمكن من معرفة دور و مفعول قوة التوتر السطحي و تأثيرها على إنتاجية الخلية الشمسية، و عليه أنجزنا سلسلة الأعمال التجريبية على قسمين:

✓ القسم الأولي من سلسلة التجارب

في القسم الأول من تجاربنا نأخذ أحد المقطرات كمرجع، و قمنا بتثبيت على مستوى حوض التبخر لثلاثة مقطرات شمسية المتبقية (36) أنبوباً بلاستيكيًا أسطوانيًا بارتفاع (3cm) بواسطة مادة السيليكون ذات اللون الأسود، و يكون هذا الارتفاع أكبر من سمك طبقة مياه الحوض، كما يوضحه مخطط التجربة في الشكل III.15.:



صور للأنابيب أثناء الإجراء التجريبي.

تحقيق مخطط التجربة.

الشكل III. 15. مخطط التجربة.

حيث: المقطر (RSS) نتركه كمرجع دون إضافة أنابيب بلاستيكية.

المقطر (MSS1) يحتوي على 36 أنبوب بلاستيكي بقطر 0.5 cm.

المقطر (MSS2) يحتوي على 36 أنبوب بلاستيكي بقطر 1 cm.

المقطر (MSS3) يحتوي على 36 أنبوب بلاستيكي بقطر 1.5 cm.

✓ القسم الثاني من سلسلة التجارب

و حتى نتعمق أكثر في فهم العلاقة بين قطر الأنبوب البلاستيكي و قوة التوتر السطحي، و استناد على نتائج القسم الأولى قمنا في هذا القسم بمواصلة نفس المخطط التجريبي؛ باستخدام نفس العدد الثابت من الأنابيب البلاستيكية أي 36 أنبوبًا بارتفاع (3cm) بواسطة مادة السيليكون ذات اللون الأسود، مع التغيير في قطر الأنبوب البلاستيكي على النحو التالي:

المقطر (RSS) يبقى كمرجع دون إضافة أنابيب بلاستيكية.

المقطر (MSS1) يحتوي على 36 أنبوب بلاستيكي بقطر 2 cm.

المقطر (MSS2) يحتوي على 36 أنبوب بلاستيكي بقطر 2.5 cm.

المقطر (MSS3) يحتوي على 36 أنبوب بلاستيكي بقطر 3 cm.

6.III. الخلاصة

في هذا الفصل تم عرض دراسة نظرية لفهم النماذج الرياضية المطبقة في جهاز التقطير الشمسي، و أيضًا مختلف العوامل المؤثرة عليه منها المناخية و الهندسية. و قد تم تصميم أربعة نماذج تجريبية للمقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد، ثلاث منها مضاف إليها نفس العدد من الأنابيب البلاستيكية (36 أنبوبًا) مع ترك المقطر الرابع كمرجع أي بدون إضافة. و عليه تم انجاز سلسلة الأعمال التجريبية على قسمين مع التغيير التدريجي في أقطار الأنابيب البلاستيكية كما ذكر سالفًا، فتحصلنا على نتائج واعدة تم عرضها و مناقشتها في الفصل الرابع لهذه الأطروحة.

المراجع:

- [1] A Safwat Nafey. M Abdelkader. A Abdelmotalip. AA Mabrouk., "Parameters affecting solar still productivity", Energy Convers Manag. Vol 41(2000). pp 1797–809.
- [2] A Khechekhouche. A Boukhari. Z Driss. N E Benhissen., "Seasonal effect on solar distillation in the El-Oued region of south-east Algeria", International journal of energetica, Vol 2(2017), n° 1, pp 42-45.
- [3] | AA. El Sebaii, , "On effect of wind speed on passive solar still performance based on inner/outer surface temperatures of the glass cover", Energy, Vol 36(2011), pp 4943-4949
- [4] Abdul Jabbar N. Khalifa, Marwa AW. Ali, , "Indoor tests on the effect of wind speed on still performance", International Journal of Energy and Environment, Vol 6, no 3(2015), pp.299-308.
- [5] H Al-Hinai, MS Al-Nassri, BA Jubran, , "Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still", Energy Convers Manag, Vol 43(2002), pp 1639–1650.
- [6] H. Panchal, S. Patel, , "Effect of various parameters on augmentation of distillate output of solar still: a review", Technol. Econ. Smart Grids Sustain. Energy, Vol 1(2016), pp 1–8.
- [7] | H. Panchal, , "Performance Investigation on Variations of Glass Cover Thickness on Solar Still: Experimental and Theoretical Analysis", Technol Econ Smart Grids Sustain Energy, Vol 1(2016), no 1, pp 1- 11.
- [8] | P. Joshi, G.N. Tiwari, , "Effect of cooling condensing cover on the performance of N-identical photovoltaic thermal-compound parabolic concentrator active solar still: a comparative study", Int J Energy Environ Eng, Vol 9(2018), no 4, pp 473-498.
- [9] | Z.M. Omara, A.E. Kabeel, M.M. Younes, , "Enhancing the stepped solar still performance using internal and external reflectors", Energy Convers. Manage, Vol 78(2014), pp 876-881.
- [10] | Khechekhouche, A., Benhaoua, B., Manokar, M., Sathyamurthy, R., Kabeel, A.E., Driss, Z., "Sand dunes effect on the productivity of a single slope solar distiller", Heat and Mass Transfer Journal. 56 (4) (2020), 1117–1126.
- [11] | Khechekhouche, A., Benhaoua, B., Kabeel, A.E., Attia, M.E.H., El-Maghlany, W.M., "Improvement of solar distiller productivity by a black metallic plate of Zinc as a thermal storage material", Journal of Testing and Evaluation 49(2019), no 2.
- [12] | recensement (2008) de la pdf population algérienne, wilaya d'eloued, sur le site de l'ONS (23juillet 2018).
climate Normals for El oued.

El Oued " Climatebase.ru" an 3-12 janve (2019).

- [13] | Muhammad Ali Samee, Umar K. Mirza*, Tariq Majeed, Nasir Ahmad, "Design and performance of a simple single basin solar still", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2005) pp 1–8.
- [14] Djaballah D. Benhaoua B. Khechekhouche A. , "Surface tension force effect on the solar still output", *JP Journal of Heat and Mass Transfer Volume 28*, 2022, Pages 165-176 (2022) P-ISSN: 0973-5763.
- [15] Djaballah D. Benhaoua B. et al. , "Experimental study of the role of surface tension in enhancing the performance of solar stills using different designs of plastic fins", *Solar Energy* 262 (2023) 111835.
- [16] D. Bechki, , "Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes", University of Batna, PhD tesis(2011), pp 75-94.
- [17] A. M. Manokar, D. P. Winston, J. D. Mondol, R. Sathyamurthy, A. E. Kabeel, H. Panchal, , "Comparative study of an inclined solar panel basin solar still in passive and active mode". *Solar Energy*, Vol 169(2018), pp 206-216.

الفصل الرابع: نتائج الدراسة التجريبية و مناقشتها

1.IV. مقدمة

الدراسة التجريبية المنجزة لهذه الأطروحة هدفها الأساسي هو تعزيز أداء المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد و تحسين الإنتاج اليومي للماء المقطر؛ عن طريق زيادة معدلات التبخر من خلال استخدام مفعول قوة التوتر السطحي، و قد تم ذلك بالمقارنة بين عدة نماذج مصممة يدويا.

من خلال القياسات النظامية المأخوذة أثناء الأعمال التجريبية المنجزة تحصلنا على نتائج تجريبية واعدة، تعتبر هذه النتائج إضافة قيمة لمنظومة التقطير الشمسي، لذا في هذا الفصل سنناقش و نحلل النتائج التجريبية المتحصل عليها، و من ثم الخروج بخلاصة.

2.IV. نتائج الأعمال التجريبية المنجزة

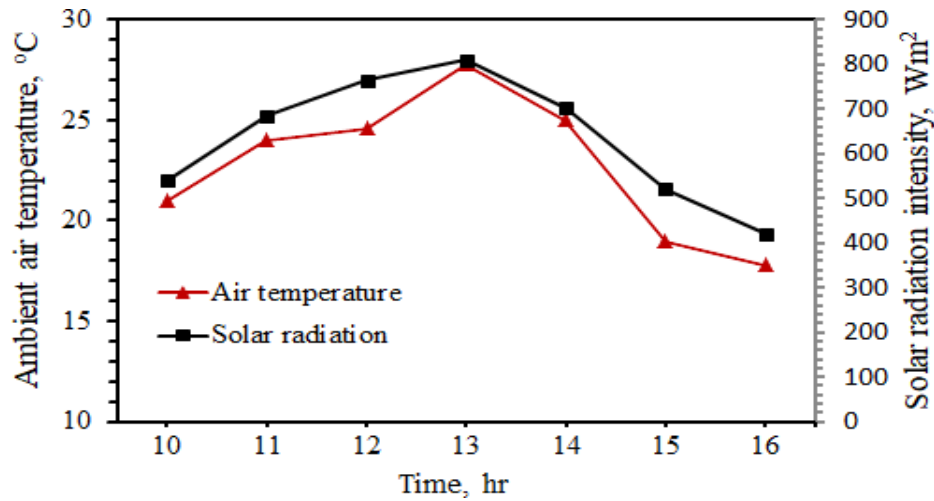
من أجل الإلمام بموضوع دراستنا بالكامل و لفهم دور و مفعول قوة التوتر السطحي على أداء المقطر الشمسي، قمنا ببتثبيت أنابيب بلاستيكية على مستوى حوض التبخر مع التغيير في أقطارها تدريجيا، و من ثم تحديد القطر الأفضل الذي يتوافق مع أفضل ناتج للماء النقي، حيث أبقينا على أحد الأجهزة دون إضافات أي أعتبر كمرجع (RSS)، بينما تحتوي باقي الأجهزة على نفس العدد (36) من الأنابيب البلاستيكية الأسطوانية مثبتاً على مستوى حوض التبخر لكل جهاز بأقطار متفاوتة (كما تمت الإشارة إليه في الفصل الثالث)، بعد انجازنا لسلسلة الأعمال التجريبية تحصلنا على نتائج تجريبية أنجزت على أساسها منحنيات تعبر من جهة؛ على تأثير درجات الحرارة لأجزاء جهاز التقطير الشمسي و الإشعاع الشمسي فيما بينهما، و على عملية التقطير من جهة أخرى، و هي كالتالي:

1.2.IV. نتائج القسم الأول من سلسلة الأعمال التجريبية المنجزة

تعتبر النتائج المتحصل عليها للقسم الأول من التجارب العملية أفضل النتائج، و قد أخذنا النتائج التجريبية ليوم 21/11/2019، حيث قمنا بتحليلها بواسطة المنحنيات الآتية:

✓ درجة حرارة محيط الوسط الخارجي و الإشعاع الشمسي

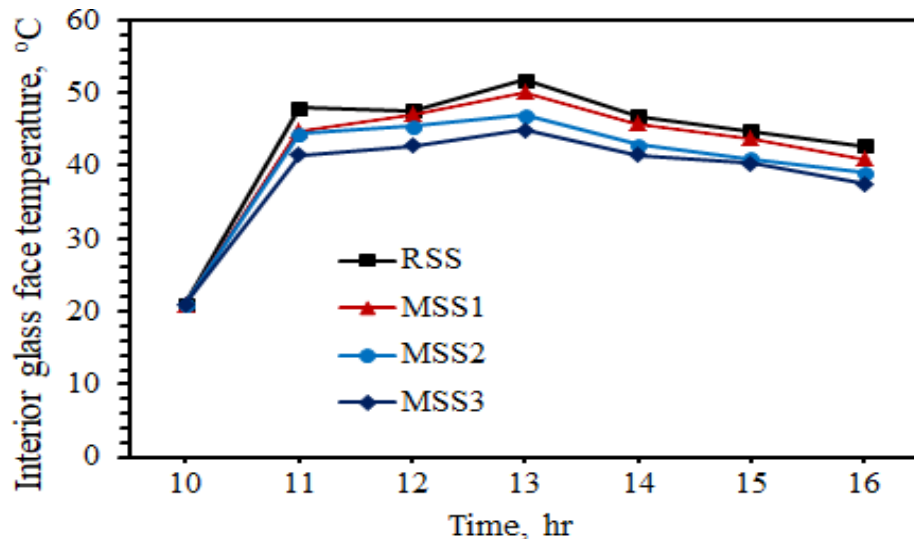
يوضح الشكل 1.IV. منحنى التغير في الإشعاع الشمسي بوحدة (W/m^2) و درجة حرارة محيط الوسط الخارجي بالدرجة المئوية ($^{\circ}C$) كدالة للوقت بالساعة (H) خلال الفترة الممتدة ما بين الساعة 10:00 صباحاً إلى غاية الساعة 16:00 مساءً، و يوضح الرسم البياني أن الإشعاع الشمسي يزداد بدأً من الساعة 10:00 صباحاً ليصل إلى ذروته حوالي الساعة 13:00 مساءً، ليصل إلى $810 W/m^2$ ثم ينخفض ببطء، و بالمثل ترتفع درجة الحرارة المحيطة إلى ذروتها حوالي الساعة 13:00 مساءً قبل أن تنخفض لبقية اليوم.



الشكل 1.IV. منحنى تغير الإشعاع الشمسي و درجة حرارة محيط الوسط الخارجي بدلالة الزمن.

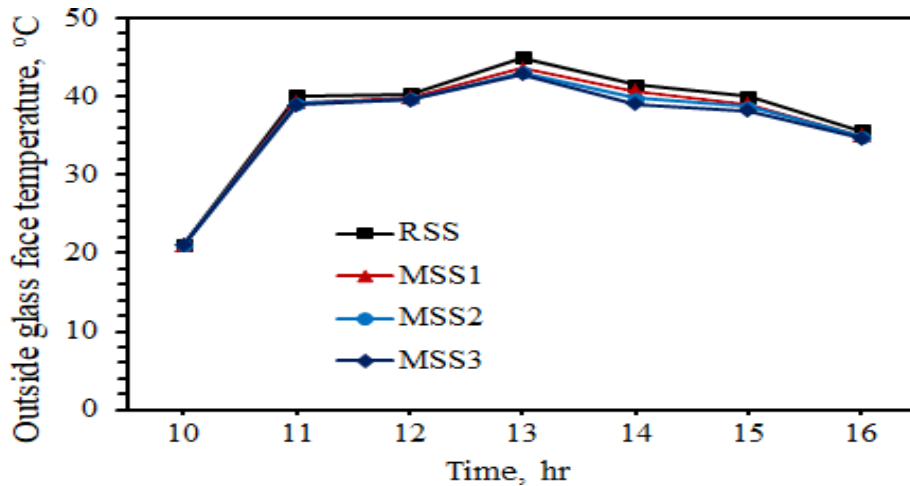
✓ درجات الحرارة الداخلية و الخارجية للغطاء الزجاجي

يمثل الشكل 2.IV. منحنى تغير درجات حرارة الأوجه الداخلية للأغطية الزجاجية للمقطرات الشمسية الأربعة بالدرجة المثوية (°C) كدالة للوقت بالساعة (H) خلال الفترة الممتدة ما بين الساعة 10:00 صباحًا إلى غاية الساعة 16:00 مساءً، حيث ترتفع درجات الحرارة بسرعة خلال الساعة الأولى من التجربة، ثم يظهر استقرار للنظام بعد الساعة 11:00 صباحًا إلى غاية الساعة 13:00 مساءً أين تكون قيم درجات الحرارة قصوى و هي: 51.7 °C ، 50.1 °C ، 46.9 °C ، 44.9 °C للمقطرات الشمسية الأربعة (RSS)، (MSS1)، (MSS2)، (MSS3) على التوالي، و بعد الساعة 13:00 مساءً تكون جميع درجات الحرارة أقل ثباتًا، كما تم تسجيل أعلى درجة حرارة في المقطر (RSS) بينما سجلت أدنى درجة حرارة في المقطر (MSS3) خلال فترة التجربة بأكملها، و يرجع ذلك أساسًا إلى انخفاض معدلات امتصاص الطاقة الشمسية في حوض التبخر نتيجة لتأثير تظليل الزعانف البلاستيكية.



الشكل 2.IV. منحنى تغير درجات حرارة الأوجه الداخلية للأغطية الزجاجية في المقطرات الشمسية الأربعة بدلالة الزمن.

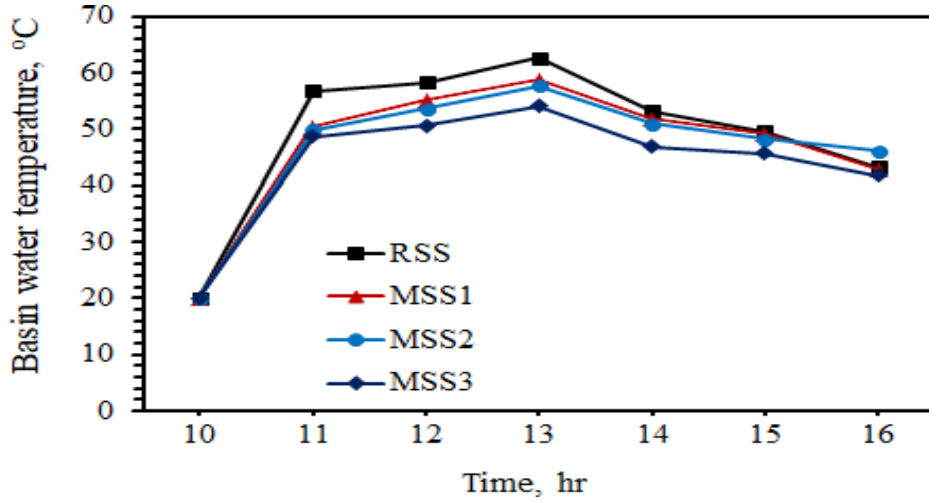
يوضح الشكل 3.IV. منحنى تغير درجات حرارة الأوجه الخارجية للأغطية الزجاجية للمقطرات الشمسية الأربعة بالدرجة المئوية ($^{\circ}\text{C}$) كدالة للوقت بالساعة (H)، في الفترة الممتدة ما بين الساعة 10:00 صباحًا إلى غاية الساعة 12:00 صباحًا يكون الاختلاف في درجة الحرارة متشابهًا لجميع المقطرات، و لكن بعد الساعة 13:00 مساءً يكون هناك ارتفاع قليل لدرجة الحرارة في المقطرين (MSS1) و (RSS)، و ذلك بسبب التغير في درجة حرارة الأوجه الداخلية للأغطية الزجاجية للمقطرين الشمسيين كما هو مبين في الشكل 3.IV، في حين المقطرين الأخرين (MSS2) و (MSS3) لهما نفس اختلاف درجة الحرارة نسبيًا، كما انه تم تسجيل معدلات التبخر القصوى عند درجة حرارة 42.8°C ، 43°C ، 43.6°C ، 44.9°C لكل من (RSS) و (MSS1) و (MSS2) و (MSS3) على التوالي.



الشكل 3.IV. منحنى تغير درجات حرارة الأوجه الخارجية للأغطية الزجاجية للمقطرات الشمسية الأربعة بدلالة الزمن.

✓ تطور درجة حرارة الماء في حوض التبخير

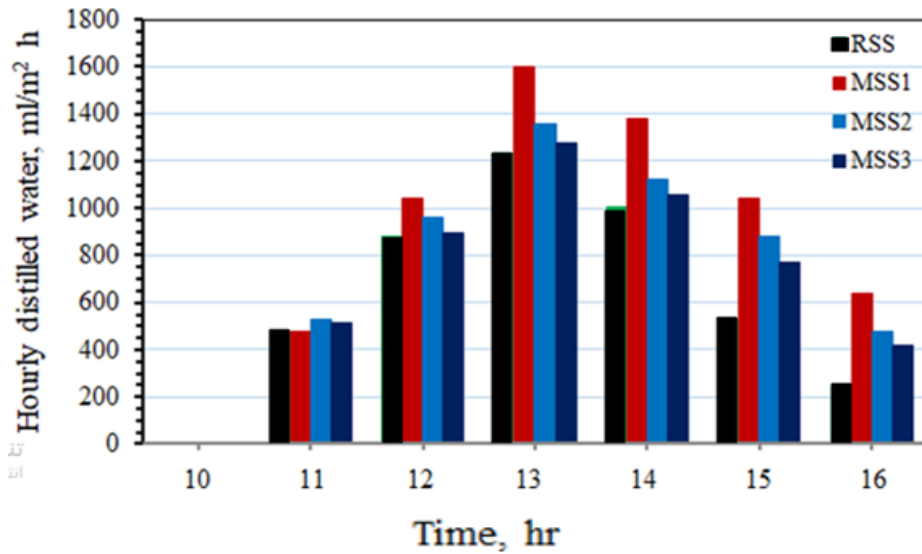
يوضح الشكل 4.IV. التطور بالساعة في درجة حرارة مياه أحواض التبخير للمقطرات الأربعة بالدرجة المئوية ($^{\circ}\text{C}$) كدالة للوقت بالساعة (H)، فبدءًا من الساعة 11:00 صباحًا تكون درجة حرارة المقطر (RSS) هي الأعلى في حين درجة حرارة المقطر (MSS3) هي الأدنى، أما المقطرين (MSS1) و (MSS2) فدرجتهم حرارتهم متشابهة نسبيًا حتى نهاية التجربة، و عند الساعة 13:00 مساءً بلغت قيم درجة حرارة مياه الأحواض أقصى حد لها و هي بالتدريج 62.6°C ، 58.7°C ، 57.6°C ، 54.1°C للمقطرات الشمسية (RSS)، (MSS1)، (MSS2) و (MSS3) على التوالي، و تعتبر هذه القيم القصوى لدرجات الحرارة مؤشرا جيدا و موجبا لزيادة معدلات التبخر داخل الجهاز الشمسي، كما نلاحظ تدرج في انخفاض درجة حرارة مياه الأحواض و يرجع السبب بشكل أساسي إلى تأثير تظليل الأنابيب البلاستيكية، حيث مع زيادة قطر الأنبوب البلاستيكي يزداد تأثير التظليل.



الشكل IV.4. منحنى تطور درجة حرارة مياه أحواض التبخر للمقطرات الشمسية الأربعة بدلالة الزمن.

✓ إنتاجية الماء المقطر لكل ساعة

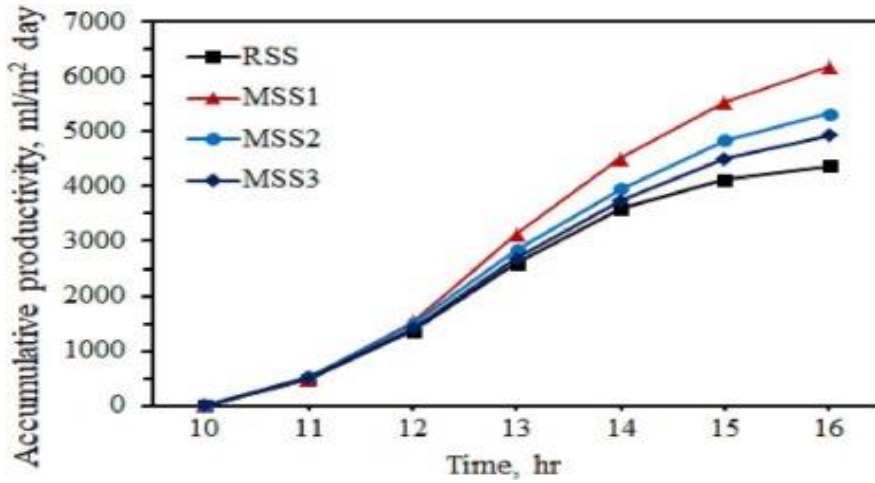
يوضح الشكل IV.5. الإنتاجية التقريبية لكل ساعة لكمية الماء المقطر الناتجة عن المقطرات الشمسية الأربعة (RSS)، (MSS1)، (MSS2)، و (MSS3)، وذلك على فترات زمنية متساوية من الساعة 10:00 صباحاً إلى غاية 16:00 مساءً، وقد أظهرت النتائج أن أعلى قيمة منتجة لكل ساعة تم تحقيقها بواسطة المقطر (MSS1) حيث أنتج $1600 \text{ ml/m}^2 \text{ h}$ ، يليه المقطر (MSS2) بناتج $1360 \text{ ml/m}^2 \text{ h}$ ، و المقطر (MSS3) بناتج $1280 \text{ ml/m}^2 \text{ h}$ ، ثم تسجيل أقل قيمة منتجة للمقطر المرجعي (RSS) بناتج $1232 \text{ ml/m}^2 \text{ h}$ ، و عليه لاحظنا أن كمية الماء المقطر الناتجة تنخفض تدريجياً كلما زاد قطر الأنبوب البلاستيكي؛ و يرجع السبب في ذلك أساساً إلى زيادة تأثير التظليل الناجم عن الأنبوب البلاستيكي مع زيادة قطره، مما يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة و منه انخفاض معدلات التبخر بسبب انخفاض امتصاص الإشعاع الشمسي من طرف ماء الحوض في المنطقة المظلة المشار إليه في الشكل IV.4.



الشكل IV.5. إنتاجية الماء المقطر لكل ساعة.

✓ الإنتاج التراكمي الإجمالي للمقطرات الشمسية

يوضح الشكل 6.IV الإنتاج التراكمي الإجمالي لكمية الماء المقطر الناتجة عن المقطرات الشمسية الأربعة (RSS)، (MSS1)، (MSS2) و (MSS3) خلال الفترة الممتدة ما بين الساعة 10:00 صباحًا إلى غاية الساعة 16:00 مساءً، حيث أظهرت النتائج أن أعلى إنتاج تراكمي للماء المقطر تم تحقيقه بواسطة المقطر (MSS1) بناتج 6176 ml/m^2 يوميًا، يليه المقطر (MSS2) بناتج 5328 ml/m^2 يوميًا، و المقطر (MSS3) بناتج 4928 ml/m^2 يوميًا، ثم تسجيل أقل إنتاج تراكمي للمقطر الشمسي المرجعي (RSS) بناتج 4368 ml/m^2 في اليوم، فمن خلال النتائج تبين أن استخدام الزعانف أو الأنابيب البلاستيكية له تأثير إيجابي على المقطر الشمسي بإظهار مفعول قوة التوتر السطحي الذي يساعد بدوره على انتشار الماء على سطح هذه الزعانف البلاستيكية، من ثم زيادة معدلات التبخر مما يؤدي إلى زيادة الإنتاج التراكمي للماء المقطر و تحسين إنتاجية المقطرات الشمسية التقليدية البسيطة، كما يبين المنحنى أنه مع زيادة قطر الأنابيب البلاستيكية ينخفض الإنتاج؛ و يرجع ذلك إلى التظليل الذي يقلص مساحة امتصاص الإشعاع الشمسي مع زيادة قطر الزعنة البلاستيكية كما سبق ذكره.



الشكل 6.IV. الإنتاجية التراكمية للمقطرات الشمسية.

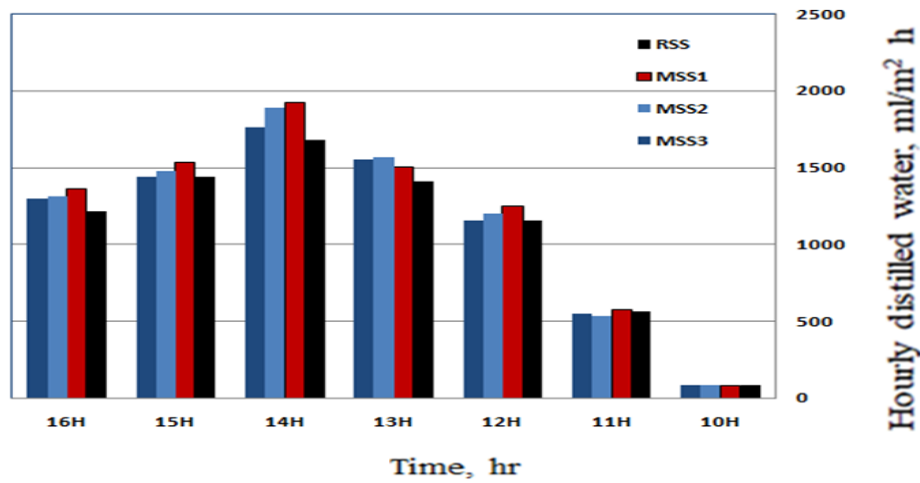
2.2.IV. نتائج القسم الثاني من سلسلة الأعمال التجريبية المنجزة

بالنسبة لنتائج القسم الثاني من سلسلة الأعمال التجريبية، و بغض النظر عن الأقطار المستعملة فهي لا تختلف عن نتائج القسم الأول، من حيث تحليل منحنيات تطور درجة حرارة المحيط الخارجي و الإشعاع الشمسي، درجات الحرارة الداخلية و الخارجية للغطاء الزجاجي للمقطرات الشمسية الأربعة، درجة حرارة الماء في حوض التبخر لكل مقطر شمسي، و كذلك إنتاج الماء المقطر النقي لكل ساعة و الإنتاج التراكمي للمقطرات الشمسية الأربعة، و كان الاختلاف فقط في كمية الماء المقطر الناتج. حيث استنتجنا نفس القاعدة أي كلما زاد قطر الأنبوب البلاستيكي تنخفض نسبة إنتاج الماء المقطر. و قد أخذنا النتائج التجريبية ليوم 2020/07/03 و هي كالتالي:

✓ إنتاجية الماء المقطر لكل ساعة

يوضح الشكل 7.IV الإنتاجية التقريبية لكل ساعة لكمية الماء المقطر الناتجة عن المقطرات الشمسية الأربعة (RSS)، (MSS1)، (MSS2) و (MSS3)، و ذلك على فترات زمنية متساوية من الساعة 10:00 صباحًا إلى غاية 16:00 مساءً، و قد أظهرت النتائج أن أعلى قيمة منتجة لكل ساعة تم تحقيقها بواسطة المقطر (MSS1) حيث أنتج $2056 \text{ ml/m}^2 \text{ h}$ ، يليه المقطر (MSS2) بناتج $2012 \text{ ml/m}^2 \text{ h}$ ، و المقطر

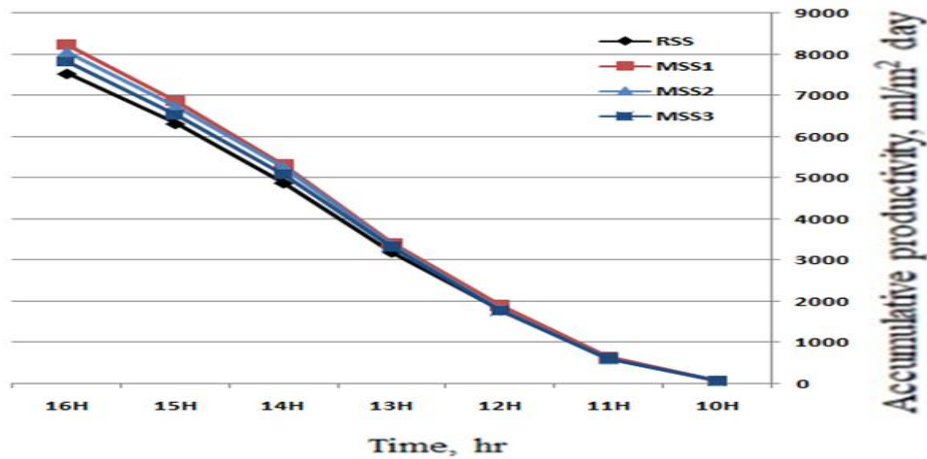
(MSS3) بناتج $1956 \text{ ml/m}^2 \text{ h}$ ، ثم تسجيل أقل قيمة منتجة للمقطر المرجعي (RSS) بناتج البلاستيكي. $1884 \text{ ml/m}^2 \text{ h}$ ، و عليه لاحظنا أن كمية الماء المقطر الناتجة تنخفض تدريجيا كلما زاد قطر الأنبوب.



الشكل IV.7. إنتاجية الماء المقطر لكل ساعة (القسم الثاني).

✓ الإنتاج التراكمي الإجمالي للمقطرات الشمسية

يوضح الشكل IV.8 الإنتاج التراكمي الإجمالي لكمية الماء المقطر الناتجة عن المقطرات الشمسية الأربعة (RSS)، (MSS1)، (MSS2) و (MSS3) خلال الفترة الممتدة ما بين الساعة 10:00 صباحاً إلى غاية الساعة 16:00 مساءً، حيث أظهرت النتائج أن أعلى إنتاج تراكمي للماء المقطر تم تحقيقه بواسطة المقطر (MSS1) بناتج 8224 ml/m^2 يومياً، يليه المقطر (MSS2) بناتج 8048 ml/m^2 يومياً، و المقطر (MSS3) بناتج 7824 ml/m^2 يومياً، ثم تسجيل أقل إنتاج تراكمي للمقطر الشمسي المرجعي (RSS) بناتج 7536 ml/m^2 في اليوم، فمن خلال النتائج تبين أن استخدام الزعانف أو الأنابيب البلاستيكية له تأثير إيجابي على المقطر الشمسي بإظهار مفعول قوة التوتر السطحي الذي يساعد بدوره على انتشار الماء على سطح هذه الزعانف البلاستيكية، من ثم زيادة معدلات التبخر مما يؤدي إلى زيادة الإنتاج التراكمي للماء المقطر و تحسين إنتاجية المقطرات الشمسية التقليدية البسيطة، كما يبين المنحنى أنه مع زيادة قطر الأنابيب البلاستيكية ينخفض الإنتاج؛ و يرجع ذلك إلى التظليل الذي يقلص مساحة امتصاص الإشعاع الشمسي مع زيادة قطر الزعنف البلاستيكية كما سبق ذكره.

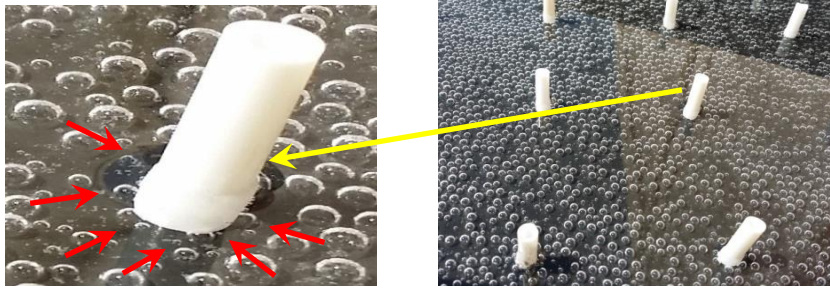


الشكل IV.8. الإنتاجية التراكمية للمقطرات الشمسية (القسم الثاني).

ملاحظة: أثناء إجرائنا للتجارب العملية، قمنا بأخذ القياسات النظامية بدأ من الساعة 10:00 صباحاً لأنه توقيت ظهور أولى قطرات الماء المقطر للمقطرات الشمسية.

3.2.IV. تكوّن فقاعات الهواء حول الأنابيب البلاستيكية

يوضح الشكل 9.IV. تكوّن الفقاعات الهوائية حول الأنابيب البلاستيكية المثبتة على مستوى حوض التبخر داخل المقطرات الشمسية المدروسة (MSS1)، (MSS2)، و (MSS3)، حيث و نتيجةً لغليان ماء الحوض بفعل الطاقة الشمسية تتشكل فقاعات هوائية و تتحرك باتجاه الأنابيب البلاستيكية و تلتف حول سطحها، ثم وبعدها تنفجر و تتبخر بشكل سريع، و هكذا يتم تشكل المزيد من هذه الفقاعات، و من ناحية أخرى؛ نلاحظ تشكل فقاعات هوائية ثابتة في المقطر المرجعي (RSS) ثم تنفجر ببطء و تتبخر.



الشكل 9. IV. تكوّن فقاعات الهواء حول الأنابيب البلاستيكية.

4.2.IV. تحليل جودة المياه

الأنابيب البلاستيكية المستخدمة في المقطرات الشمسية المدروسة على الرغم من غمرها في ماء حوض التبخر الذي تفوق درجة حرارته 60°C لم تظهر على هذه الأنابيب أي علامات للذوبان أو التشوه، كما هو مبين في الشكل 10.IV. الذي يوضح العملية التجريبية الكاملة، حيث أظهرت مئاة ممتازة، و تحملاً كبيراً لدرجات الحرارة العالية، مما يؤكد ضماناً لأداء موثوق، طول العمر، و ملائمة جيدة للظروف التشغيلية للمقطر الشمسي.



الشكل 10.IV. صورة للأنابيب البلاستيكية أثناء العملية التجريبية.

و منه و نظراً لعدم وجود أي مؤشرات على ذوبان أو تشوه للأنابيب البلاستيكية المستخدمة، قمنا بإجراء تحليل كيميائي لنوعية الماء المقطر الناتج كما هو مبين في الجدول 1.IV.:

الجدول 1.IV. التحليل الكيميائي لجودة الماء المقطر الناتج.

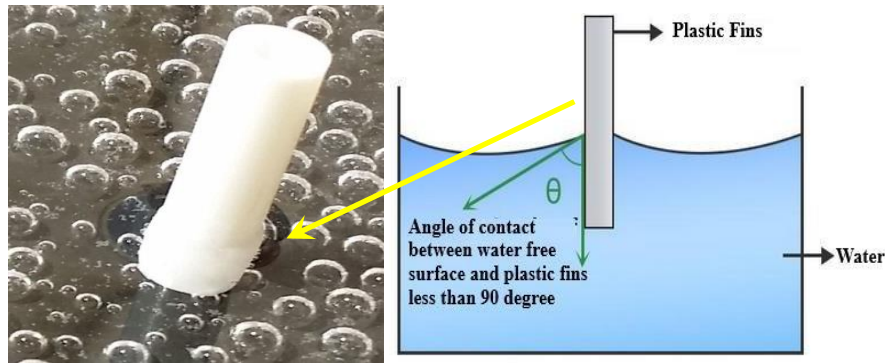
NH ⁴ ml/g	Cl ⁻ ml/g	Mg ²⁺ ml/g	Ca ²⁺ ml/g	Σ (μs/cm)	pH	
0.010	500.212	951.100	210.2	5955	8.82	قبل
0.01	15.271	4.861	8.03	28	6.84	بعد

3.IV. المناقشة

كما ذكرنا سابقا يهدف هذا العمل البحثي إلى زيادة معدلات التبخر داخل المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد، و ذلك لأجل تحسين إنتاجيته للماء المقطر، و لتحقيق ذلك اعتبرنا التوتر السطحي أحد أهم العوامل التي تؤثر على معدلات التبخر لهذا الجهاز.

و كما ذكرنا سابقا تناولت هذه الدراسة اقتراح تثبيت أنابيب بلاستيكية على مستوى حوض التبخر للمقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد، بحيث يكون ارتفاعها أكبر من سمك طبقة مياه الحوض، فمن خلال انجازنا لسلسلة الأعمال التجريبية و النتائج الواعدة المتحصل عليها؛ استنتجنا أن لهذه الأنابيب البلاستيكية دور فعال و مهم في تحسين أداء هذا المقطر الشمسي البسيط و زيادة إنتاجيته للماء المقطر.

إن اقتراحنا بتثبيت الأنابيب البلاستيكية في حوض التبخر للمقطر الشمسي البسيط، كان الهدف منه إبرار تأثير قوة التوتر السطحي على مستوى السطح الخارجي لهذه الأنابيب البلاستيكية، و بما أن هذه الأخيرة مغمورة في ماء حوض التبخر نشير هنا إلى أن قوى التلاصق بين جزيئات ماء الحوض و السطح الخارجي لهذه الأنابيب أعلى من قوى الترابط بين جزيئات ماء الحوض (قوى الترابط و التلاصق، التي تطرقنا لها في الفصل الثاني)، و بالتالي؛ فإن قوى التلاصق ستساعد أكثر في نشر الماء على السطح الخارجي لهذه الأنابيب البلاستيكية، كما هو موضح في الشكل 11.IV.



الشكل 11.IV. العلاقة بين الأنابيب البلاستيكية و قوة التوتر السطحي.

1.3.IV. آلية عمل المقطرات الشمسية أثناء أداء الأعمال التجريبية

أثناء أداء الأعمال التجريبية و وفقاً لمبدأ عمل المقطر الشمسي، تعمل الأشعة الشمسية على تسخين ماء حوض التبخر للمقطرات المدروسة منها و الشاهد على حدٍ سواء، مما يؤدي ذلك إلى تشكل فقاعات هوائية نتيجةً لغلغليانه، كما هو موضح في الشكل 12. IV.



المقطر المدروس



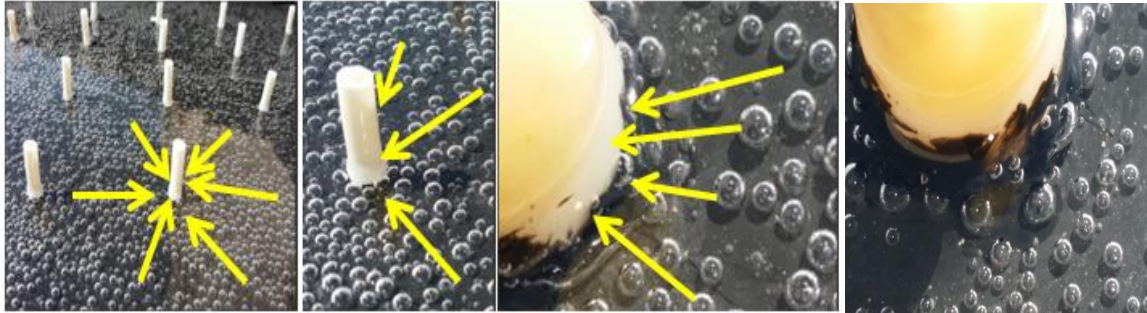
المقطر الشاهد (المرجعي)

الشكل 12.IV. تكوين فقاعات هوائية في المقطرات الشمسية.

بعد تكوّن الفقاعات الهوائية نتيجةً لغلّيان ماء حوض التبخر للمقطرات الشمسية الأربعة بفعل الطاقة الشمسية، تحدث عملية التبخر مشكّلةً بخار الماء، فيتصاعد هذا الأخير ليتكاثف على الوجه الداخلي للغطاء الزجاجي، بحكم أن درجة حرارته أقل من درجة حرارة بخار الماء المتصاعد، و من ثمّ تتشكل قطرات الماء النقي لتنزلق متأثرةً بثقلها الخاضع للجاذبية الأرضية من جهة، و ميل الغطاء الزجاجي من جهة أخرى، لتتجمع بعدها في الساقية أسفل الغطاء الزجاجي و من ثمّ تنتقل لإناء تجمع الماء المقطر.

في المقطرات الشمسية المدروسة التي تحوي على الأنابيب البلاستيكية المثبتة على مستوى حوض التبخر، تتحرك الفقاعات الهوائية المتشكلة أثناء عملية الغلّيان باتجاه هذه الأنابيب، كما هو موضح في الشكل 13.IV. و هذه الحركة تحدث بسبب الفرق في الضغط بين الوسط الخارجي (ماء الحوض) و الفراغ الداخلي للأنابيب البلاستيكية؛ بعبارة أصح يلعب التوتر السطحي دوره هنا (حسب قانون Laplace).

يلعب التوتر السطحي دورًا هامًا في هذه العملية؛ وذلك لأن هذه الظاهرة تحدث نتيجةً لتفاعل السطح الحر أو بما يعرف بالسطح الفاصل بين الماء و الهواء، و غالباً عندما يكون التوتر السطحي عاليًا يكون لدينا تأثيرًا جيدًا على حركة هذه الفقاعات الهوائية نحو و حول الأنابيب البلاستيكية، مما يزيد من كفاءة عملية التبخير و تحويل الماء إلى بخار بنسبة عالية.



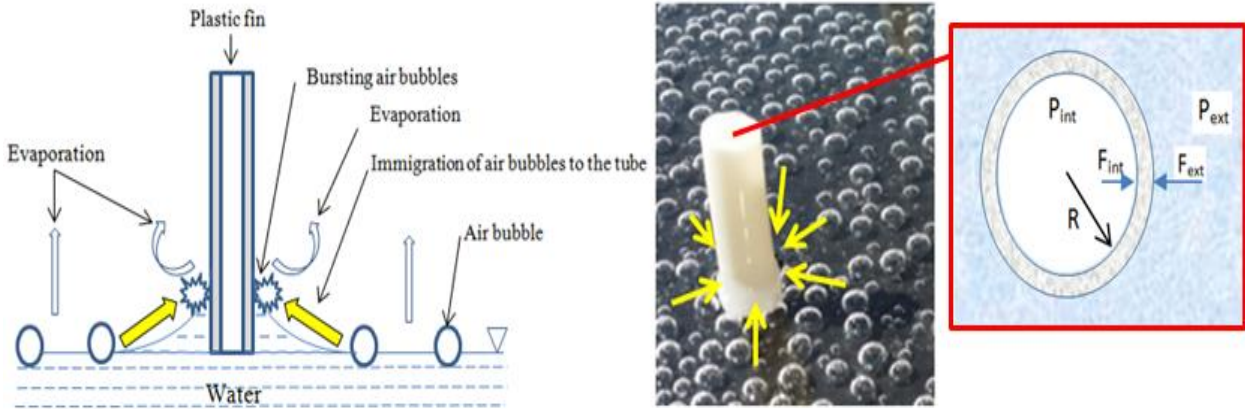
الشكل 13.IV. تشكل الفقاعات الهوائية و حركتها نحو الأنابيب البلاستيكية.

2.3.IV. وجهة نظر Laplace

وفقاً لوجهة نظر Laplace و حسب قانونه المتمثل في المعادلة (IV.1)، يمكن أن نعرف فرق الضغط بين الوسط الخارجي (ماء الحوض) و الفراغ الداخلي للأنابيب البلاستيكية كدالة للتوتر السطحي (γ) و نصف قطر الأنبوب البلاستيكي (R) حيث:

$$(IV.1) \quad \Delta p = P_{int} - P_{ext} = 4\gamma.R^{-1} \quad (\text{Pa})$$

بما أن قيم كلاً من (R) و (γ) موجبة فإن المصطلح $P_{int} - P_{ext} > 0$ أي موجب، و عليه الضغط داخل الأنبوب يكون دائماً أكبر من الضغط خارجه ($P_{int} > P_{ext}$)، كما أن هذا الاختلاف في الضغط يتسبب في هجرة كرات الماء و الهواء نحو الأنابيب البلاستيكية الثابتة، و حركتها على شكل دوائر حولها و بشكل مستمر، و هذا ما يشير إليه الشكل 14.IV.



الشكل 14.IV. تأثير قوة التوتر السطحي و فرق الضغط على حركة كرات الهواء نحو الأنابيب البلاستيكية.

باختصار، يمكننا أن نستنتج أن قوى التوتر السطحي و فرق الضغط بين الوسط الخارجي و الفراغ الداخلي للأنابيب البلاستيكية؛ هما العاملان الرئيسيان اللذان يدفعان الكرات الهوائية للحركة و التجمع حول الأنابيب البلاستيكية المثبتة على مستوى حوض التبخر للمقدرات الشمسية البسيطة المدروسة.

و عليه يتضمن الجدول 2.IV. قيم فرق الضغط (Δp) المحسوب عن طريق المعادلة (IV.1) المرفقة بقيمة نصف قطر الأنبوب البلاستيكي (R) الموافقة لها، فنلاحظ من خلال هذا الجدول أنه كلما ينقص نصف القطر (R) يزداد فرق الضغط (Δp) و التالي يرتفع الإنتاج.

الجدول 2.IV. فرق الضغط بدلالة لـ (R) و (γ).

الماء المقطر (ml) الناتج	Δp (Pa)	T متوسط درجة حرارة مياه الحوض (°C)	T = 50°C γ (N/m). 10^{-3}	الأنابيب البلاستيكية D/2 = R (m)	المقتر الشمسي
1564	108.64	67.9	46.7	0.0025	MSS1
1332	54.32	67.9	46.9	0.0050	MSS2
1232	36.21	67.9	45.9	0.0075	MSS3

بالنظر إلى الجدول 2.IV. نلاحظ أن المقتر (MSS1) ذو نصف القطر $R = 0.0025$ m له أكبر قيمة للفرق في الضغط حيث $\Delta p = 108.64$ Pa و أعلى كمية ناتجة للماء المقطر و المقدر بـ 1564 ml، و هذا يعني أن هجرة فقاعات الهواء تتم بسرعة أكبر، و عليه يتم تسريع معدل التبخر بشكل أعلى مما يؤدي إلى

إنتاج أكثر للماء المقطر مقارنةً بالمقطر (MSS2) ذو نصف القطر $R=0.005\text{ m}$ و المقطر (MSS3) ذو نصف القطر $R=0.0075\text{ m}$.

3.3.IV مقارنة دراستنا التجريبية مع دراسات مماثلة لها في بعض الأبحاث العلمية

حسب ما ورد في دراستنا التجريبية هذه و على الرغم من الناقلية الحرارية المنخفضة للبلاستيك و المقدرة بحوالي (5 w/mk) مقارنة بالمعادن، إلا أن المقطرات الشمسية البسيطة بإضافة الأنابيب البلاستيكية لها إنتاجية جيدة للمياه النقية، و هذا ما يؤكد الدور الفعال لظاهرة التوتر السطحي في دراستنا و تأثيرها على المردود اليومي لهذا الجهاز البسيط، حيث يوضح الجدول 3.IV. نسبة تحسين الإنتاجية (%) لدراسات مماثلة لعلنا في بعض الأبحاث العلمية:

الجدول 3.IV. مقارنة الدراسة الحالية مع دراسات علمية المماثلة لها.

المراجع	الدراسة التجريبية مع أبعاد الأنابيب المستخدمة	نسبة التحسين (%)
Rabhi, et al. (1)	زعانف بقطر 3 mm على شكل مسمار اسطواني من مادة الفولاذ.	41,95 %
Alaian et al. (2)	زعانف بقطر 1 cm و ارتفاع 9 cm اسطوانية الشكل من مادة الفولاذ.	23 %
Agrawal and Rana. (3)	زعانف بقطر 0.18 cm بطول 2.5 cm اسطوانية الشكل من الفولاذ الخفيف.	13.2 %
Shmroukh and Ookawara. (4)	زعانف من مادة النحاس	12.9 %
El-Sebaili, et al. (5)	لأجل كتلة الماء 40 kg مع 7 زعانف بارتفاع = 1.01 - 0.04 m، و سمك = 0.002 - 0.008 m	$\geq 13.7\%$
Rajaseenivasan and Srithar (6)	عمق الماء 1 cm مع زعانف دائرية: (70 mm ارتفاع، 30 mm قطر) (70 mm ارتفاع، 19 mm قطر)	26.3 % 36.7 %
Jani and Modi. (7)	عمق الماء 1 cm مع زعانف مجوفة من الفولاذ الطري: دائرية الشكل (20 mm ارتفاع، 25 mm قطر، 2 mm سمك) مربعة الشكل (20 mm ارتفاع، 25 mm قطر، 2 mm سمك)	26.86 % 17.42 %
Appadurai and	زعانف صلبة مستطيلة الشكل:	

50 %	900 mm ارتفاع، 35 mm قطر، 2 mm سمك	Velmurugan. (8)
30.92 % 25.77 %	زعانف فولاذية: 0.4 mm قطر، 2 cm ارتفاع - زعانف مائلة - زعانف عمودية	Panchal et al. (9)
43 %	مياه الحوض بعمق 2 cm، نستخدم أنابيب نحاسية مجوفة بقطر خارجي 2.5 cm، و طول 1.75 cm	Kabeel et al. (10)
41.4 % 21.97 % 12.82 %	زعانف بلاستيكية مجوفة بارتفاع 3 cm: القطر = 0.5 cm القطر = 1 cm القطر = 1.5 cm	عملنا المنجز لهذه الأطروحة 11 (12،)

و عليه تُظهر هذه المقارنة أمراً مثيراً للدهشة، و يتمثل في أن الزعانف أو الأنابيب البلاستيكية لها إنتاجية شبه مماثلة للزعانف النحاسية، على الرغم من أن البلاستيك لديه ناقلية حرارية أقل مقارنة بالنحاس، و هذا ما يؤكد أن ظاهرة التوتر السطحي تلعب دوراً مهماً في زيادة إنتاجية المقطرات الشمسية باستخدام الأنابيب البلاستيكية، مما يجعل البلاستيك بديلاً محتملاً للنحاس (13).

4.3.IV. الدراسة الاقتصادية

لمعرفة مدى ربحية مشروعنا هذا، لا بد من إجراء دراسة اقتصادية بسيطة و مختصرة، من خلال هذه الدراسة نستطيع معرفة فترة استرداد مبلغ المال المستثمر في هذا المشروع، لذا يتم أخذ عدّة معايير و اعتبارات مثل تكلفة التصنيع، تكلفة الصيانة، تكلفة التشغيل، و إمدادات الطاقة. يوضح الجدول 4. IV. أنه إذا طرحنا صافي الربح و تكلفة الصيانة فسوف نربح المال، و بالتالي فإن جهاز التقطير المحسّن أي بإضافة أنابيب بلاستيكية ذات القطر 0.5 cm مريح للغاية.

الجدول 4.IV. تكلفة تصنيع جهاز التقطير الشمسي المحسّن.

	اليورو	الدينار الجزائري	
	1 €=136.03 DA	DA	
	73.51	10000	إجمالي تكلفة التصنيع التي يجب مراعاتها
	0.73	100	تكلفة لتر واحد من الماء المقطر

4.368 L/m ² / يوم :D _{RSS}			إنتاجية الطاقة الشمسية (L/m ² /day)
6.176 L/m ² /يوم :D _{MSS1}			
	3.211 :D _{RSS}	436.8 :D _{RSS}	تكلفة المياه المُنتجة يوميًا
	4.54: D _{MSS1}	617.6 :D _{MSS1}	
	0.37	50	تكلفة الصيانة
	2.841 :D _{RSS}	386.8 :D _{RSS}	صافي الربح
	4.17 :D _{MSS1}	567.6 :D _{MSS1}	
D _{RSS} : 50 يوماً			فترة التعافي
D _{MSS1} : 50 يوماً			

4.IV. الخلاصة

في هذه الدراسة تم تثبيت أنابيب اسطوانية مجوفة من البلاستيك على مستوى حوض التبخر للمقطر الشمسي البسيط بارتفاع (3cm)، و أما عمق الماء داخل الحوض يبقى ثابتا عند (2cm) لذا يكون ارتفاع الزعانف أكبر من عمق طبقة الماء.

تحت نفس الظروف المتروولوجية تم انجاز سلسلة الأعمال التجريبية في المناطق القاحلة بالوادي، الجزائر، و للحصول على القطر الأمثل للأنابيب البلاستيكية الأسطوانية التي تحقق أعلى معدلات التحسين، تم تصميم أربعة مقطرات شمسية متماثلة، ثلاث منها معدلة بإضافة نفس العدد من الأنابيب البلاستيكية (36 أنبوب بلاستيكي) بأقطار مختلفة، و الرابع أخذ كمرجع (RSS) غير معدل أي بدون أنابيب بلاستيكية فسجل أقل إنتاج تراكمي قدر بـ 4368 ml/m^2 في اليوم. بينما المقطر (MSS1) الذي يحتوي على أنابيب بلاستيكية بقطر 0.5 cm حقق أعلى إنتاج، حيث أنتج 6176 ml/m^2 يوميًا بمعدل تحسن يساوي 41.4%. من خلال هذه النتائج نستنتج أن الأنابيب البلاستيكية ذات القطر 0.5 cm تحقق أعلى نسبة تحسين، و بالتالي تلعب هذه الأنابيب دورًا هامًا و حاسمًا في أداء المقطر الشمسي البسيط.

خلاصة عامة

تعتبر ظاهرة التوتر السطحي أحد أهم العوامل التي تؤثر على معدلات التبخر داخل المقطر الشمسي البسيط، و لإظهارها تم تثبيت أنابيب بلاستيكية بارتفاع أكبر من عمق ماء الحوض داخل المقطر الشمسي، و ذلك لإبراز قوة التوتر السطحي التي تعتبر أحد أهم العوامل التي لها تأثير إيجابي في زيادة معدلات التبخر، و من ثم زيادة إنتاجية المقطر الشمسي.

يشير هذا البحث إلى أن الأنابيب البلاستيكية، على الرغم من الموصلية الحرارية المنخفضة لها فهي تساعد على التقليل من فقد الحرارة من ماء الحوض، و هي تلعب دورًا جوهريًا في تعزيز إنتاجية جهاز المقطر الشمسي، و ذلك لأن تصميمها و هندستها يساهمان في زيادة قوة التوتر السطحي، مما يؤدي في النهاية إلى تحسين الكفاءة الإجمالية للمقطر الشمسي.

تسلط النتائج المتحصل عليها الضوء على إمكانية استعمال الأنابيب البلاستيكية كبديل جديد قابل للتطبيق في أنظمة التقطير الشمسي، مما يوفر حلاً فعالاً لتنقية المياه و فعالاً من حيث التكلفة. للحصول على التصميم والهندسة الأمثل لهذه التقنية التي تحقق أعلى معدلات التحسين في إنتاجية المقطر الشمسي مقارنة بمثلتها المصنوعة من النحاس التي تملك موصلية حرارية أعلى بكثير من البلاستيك. لذا تم تصميم أربعة مقطرات شمسية متماثلة حيث يترك أحدها كمقطر مرجعي دون إضافة، و البقية تكون معدلة بأحواض تحتوي على نفس العدد من الأنابيب البلاستيكية المجوفة بارتفاع (3 cm)، و أما عمق الماء داخل الحوض فيبقى ثابتاً عند (2 cm) لذا يكون ارتفاع الزعانف أكبر من عمق طبقة الماء، بعد انجاز سلسلة الأعمال التجريبية حصلنا على النتائج التالية:

✓ نتائج القسم الأول من سلسلة الأعمال التجريبية المنجزة في يوم 21/11/2019:

المقطر المرجعي (RSS) سجل أقل إنتاج تراكمي قدر بـ 4368 ml/m^2 في اليوم محل المقارنة.

المقطر (MSS1) يحتوي على أنابيب بلاستيكية بقطر 0.5 cm، أنتج 6176 ml/m^2 يومياً بمعدل تحسن قدر بحوالي 41.4% مقارنةً بالمقطر المرجعي (RSS).

المقطر (MSS2) يحتوي على أنابيب بلاستيكية بقطر 1cm، أنتج 5328 ml/m^2 يومياً بمعدل تحسن قدر بحوالي 21.98% مقارنةً بالمقطر المرجعي (RSS).

المقطر (MSS3) يحتوي على أنابيب بلاستيكية بقطر 1.5 cm، أنتج 4928 ml/m^2 يومياً بمعدل تحسن قدر بحوالي 12.82% مقارنةً بالمقطر المرجعي (RSS).

✓ نتائج القسم الثاني من سلسلة الأعمال التجريبية المنجزة في 03/07/2020:

المقطر المرجعي (RSS) سجل أقل إنتاج تراكمي قدر بـ 7536 ml/m^2 في اليوم محل المقارنة.

المقطر (MSS1) يحتوي على أنابيب بلاستيكية بقطر 2 cm، أنتج 8224 ml/m^2 يومياً بمعدل تحسن قدر بحوالي 9.129% مقارنةً بالمقطر المرجعي (RSS).

المقطر (MSS2) يحتوي على أنابيب بلاستيكية بقطر 2.5 cm، أنتج 8048 ml/m^2 يومياً بمعدل تحسن قدر بحوالي 6.794% مقارنةً بالمقطر المرجعي (RSS).

المقطر (MSS3) يحتوي على أنابيب بلاستيكية بقطر 3.5 cm، أنتج 7824 ml/m^2 يومياً بمعدل تحسن قدر بحوالي 3.821% مقارنةً بالمقطر المرجعي (RSS).

و عليه و بواسطة هذه النتائج المتحصل عليها نستنتج أن الأنابيب البلاستيكية ذات القطر 0.5 cm تحقق أعلى نسبة تحسين، و بالتالي تلعب دوراً هاماً و حاسماً في أداء المقطر الشمسي البسيط، لذا يمكن اعتبار الأنابيب البلاستيكية بديلاً جيداً للأنابيب المعدنية.

و منه و من خلال الدراسة التي قمنا بها في هذه الأطروحة نكون قد أسهمنا في تعزيز المشاريع التي تهدف إلى توفير المياه الصالحة للشرب في المناطق النائية و الصحراوية بجنوب الجزائر. و ذلك بتحسين أداء المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد و زيادة الناتج اليومي له باستخدام مفعول قوة التوتر السطحي التي اعتبرناها أحد أهم العوامل التي تؤثر على أداء هذا الجهاز. و بالتالي يمكن للفرد الواحد امتلاك هذا الجهاز البسيط الغير مكلف و استخدامه في حياته اليومية لتوفير الماء الصالح للشرب.

نظرا للنتائج الواعدة المتحصل عليها في هذا العمل جعلتنا نضع رؤية مستقبلية لما يمكن انجازه لزيادة تطوير منظومة التقطير الشمسي، و ذلك باقتراحنا لعدة أعمال منها دراسة المسافة الفاصلة بين الأنابيب البلاستيكية حتى الوصول إلى المسافة الأفضل، و أيضا قياس و دراسة ارتفاع الماء على المحيط الجانبي للأنبوب البلاستيكي و علاقته بقطر الأنبوب.

- [1] Rabhi, K., Nciri, R., Nasri, F., Ali, C., Ben, B.H., "Experimental performance analysis of a modified single-basin single-slope solar still with pin fins absorber and condenser", *Desalination* 416(2017), 86–93.
- [2] Alaian, W.M., Elnegiry, E.A. Hamed, A.M., "Experimental investigation on the performance of solar still augmented with pin-finned wick", *Desalination* 379(2016), 10–15.
- [3] Agrawal, A., Rana, R.S. "Experimental performance analysis of single slope single basin solar still with extended pin fins basin liner in summer and winter climatic conditions", *Materials Science and Engineering* 788 (1) (2020), 012092.
- [4] Shmroukh, A.N., Ookawara, S. "Evaluation of Transparent Acrylic Stepped Solar Still Equipped with Internal and External Reflectors and Copper Fins", *Thermal Science and Engineering Progress* 18(2020), 100518.
- [5] El Sebaili, A.A., Ramadan, M.R.I., Aboul-Enein, S., El-Naggar, M., "Effect of fin configuration parameters on single basin solar still performance", *Desalination* 365(2015), 15–24.
- [6] Rajaseenivasan, T., Srithar, K., "Performance investigation on solar still with circular and square fins in basin with CO₂ mitigation and economic analysis", *Desalination* 380(2016), 66–74.
- [7] Jani, H.K., Modi, K.V., " Experimental performance evaluation of single basin dual slope solar still with circular and square cross-sectional hollow fins", *Solar Energy* 179(2019), 186–194.
- [8] Appadurai, M., Velmurugan, V., "Performance analysis of fin type solar still integrated with fin type mini solar pond", *Sustain. Energy Technol. Assess.* 9(2015), 30–36.
- [9] Panchal, H., Mevada, D., Sadasivuni, K.K., Essa, F.A., Shanmugan, S., Khalid, M., " Experimental and water quality analysis of solar stills with vertical and inclined fins", *Groundwater for Sustainable Development* 11(2020), 100410.
- [10] Kabeel, A.E., El-Maghlany, W.M., Abdelgaied, M., Abdel-Aziz, M.M., "Performance enhancement of pyramid-shaped solar stills using hollow circular fins and phase change materials", *Journal of Energy Storage* 31(2020), 101610.
- [11] Djaballah D. Benhaoua B. Khechekhouche A., "Surface tension force effect on the solar still output", *JP Journal of Heat and Mass Transfer* Volume 28, 2022, Pages 165-176 (2022) P-ISSN: 0973-5763.
- [12] Djaballah D, Benhaoua B, et al., "Experimental study of the role of surface tension in enhancing the performance of solar stills using different designs of plastic fins", *Solar Energy* 262 (2023) 111835.
- [13] Khechekhouche A. Benhaoua B. Kabeel A. Attia M. El-Maghlany W.,

"Improvement of solar distiller productivity by a black metallic plate of Zinc as a thermal storage material", Journal of Testing and Evaluation 49(2019), no 2.

الملحقات

الملحق (A):

يعد الماء حالة استثنائية مقارنة بكثير من المواد الطبيعية بتميزه بخواص غير عادية، فخصائصه الفيزيائية والكيميائية تجعل منه مادة حيوية مهمة للحياة على سطح الأرض.

الماء الصالح للشرب: هو ماء صاف ليس له لون و لا رائحة و لا طعم، يحتوي على كميات قليلة من الأملاح المعدنية، و يمثل الجدول (1- A) المعايير العالمية لمياه الشرب:

الجدول 1.A. المعايير العالمية لمياه الشرب.

التركيز	المركب الكيميائي	التركيز	المركب الكيميائي
$[NO_2^-] < 1.10^{-4}$	النترت	$[NH_4^+] < 0,5.10^{-3}$	الأمونيوم
$[Mn^{2+}] < 5.10^{-5}$	المنغنيز	$[Cl^-] < 0,2.10^{-3}$	الكلور
$[PO_4^{3-}] < 5.10^{-3}$	الفسفورات	$[SO_4^{2-}] < 0,25.10^{-3}$	الكبريتات
$[Al^{3+}] < 10^{-3}$	الألمنيوم	$[Zn^{2+}] < 5.10^{-3}$	الزنك
$[K^+] < 1.2.10^{-2}$	البوتاسيوم	$[Cu^{2+}] < 1.10^{-3}$	النحاس
$[Na^+] < 0,15$	الصوديوم	$[Fe^{3+}] < 0,2.10^{-3}$	الحديد
$1.5 < [Na^+] + [Ca^{2+}] < 3^{\circ}F$	القساوة	$[NO_3^-] < 5.10^{-3}$	النترات

الخصائص الفيزيائية للماء: و نذكرها في الجدول 2.A.:

الجدول 2.A. الخصائص الفيزيائية للماء.

Pr	$10^7 \nu (m^2 / s)$	$10^4 \mu (Pa.s)$	$\lambda (W / m.^{\circ}C)$	$C_p (J / Kg.^{\circ}C)$	$\rho (Kg / m^3)$	T (°C)
13.06	1.31	17.90	0.552	4218	1002	0
7.02	1.43	10.10	0.597	4182	1001	20
4.34	1.51	6.55	0.628	4178	995	40
3.02	1.55	4.71	0.651	4184	985	60
2.22	1.64	3.55	0.668	4196	974	80
1.74	1.68	2.82	0.680	4216	960	100
1.45	1.71	2.33	0.685	4250	945	120

التقديرات العالمية لتوزيع الماء: حيث يمثل الجدول 3.A. أحد التقديرات للتوزيع العالمي للماء:

الجدول 3.A. يوضح احد التقديرات للتوزيع العالمي للماء.

مصدر الماء	حجم الماء (10^6 km^3)	حجم الماء (10^6 km^3)	نسبة المياه العذبة	نسبة المياه بأكملها
المحيطات والبحار والخلجان	1338	321	--	96.5
الكتل و الأنهار الجليدية والثلوج الدائمة	24.064	5.773	68.7	1.74
المياه الجوفية: عذبة، مالح	23.4	5.614	--	1.7
	10.5	2.526	30.1	0.76
	12.87	3.088	--	0.094
رطوبة التربة	0.0165	0.003959	0.05	0.001
أرض دائمة التجمد	0.30	0.07197	0.86	0.022
البحيرات: عذب، مالح	0.1764	0.04232	--	0.013
	0.091	0.02183	0.26	0.007
	0.0854	0.02049	--	0.006
الغلاف الجوي	0.00129	0.003095	0.04	0.001
مياه المستنقعات	0.01147	0.002752	0.03	0.0008
الأنهار	0.00212	0.000509	0.006	0.0002
المياه البيولوجية	0.0112	0.000269	0.003	0.0001

بينما يمثل الجدول 4.A. مصادر المياه لمناطق مختلفة في الجزائر (Hm3) :

الجدول 4.A. مصادر المياه بالجزائر.

Area	Surface water	Underground water
ORANAIS	645	200
CHELIFF	1.660	207
ALGEROIS	3.010	412
SOUMMAM	700	122
CONSTANTINOIS	3.000	174
COTIERS-ANNABA	1.340	44
CHOTT CHERGUI	220	69
ZAHREZ-SERSOU	290	153
CHOTT-HODNA	280	133
MEDJERDA-MELLEQUE	645	75
AURES-NEMEMCHAS	300	145
SUD- ATLAS	70	20
SAHARA	250	4.950
TOTAL	12410	6.710

الجدول 5.A. يعطي عوامل المرور، الامتصاص و الانعكاس للزجاج حسب زاوية الورود:

الجدول 5.A. النسبة المئوية للطاقة النافذة، الممتصة و المنعكسة للزجاج.

زاوية الورود (i)	0°	30°	45°	60°
معامل الانعكاس (ρ)	5%	5%	6%	10%
معامل الامتصاص (α)	5%	5%	5%	5%
معامل العبور (τ)	90%	9%	89%	85%

و في ما يلي بعض الجداول التي تعطينا الخصائص الفيزيائية لبعض المواد و لكل من الماء المشبع، الهواء عند الضغط الجوي:

الجدول 6.A. خصائص الفيزيائية لبعض المواد و المعادن.

خصائص الفيزيائية للمواد.				
المواد	$\rho(Kg / m^3)$	$C_p (J / Kg .°C)$	$\lambda(W / m .°C)$	$10^7 \nu(m^2 / s)$
Aluminium pure	2707	0.896	204	8.418
Galvanise	-	-	54	-
Bois	640	2.8	0.147	0.82
Verre	2700	840	0.78	-
sable	1515	800	0.1-0.2	-
Polystyrène expansé	25	1380	0.033	-
Constantan 60 % Cu, 40 % Ni	8922	0.410	22.7	0.612

الجدول 7.A. الخصائص الحرارية- فيزيائية (thermo - physique) للهواء.

الخصائص الفيزيائية للهواء عند ضغط 1atm.						
Pr	$10^5 \nu(m^2/s)$	$10^5 \mu(Pa.s)$	$\lambda(W/m.^{\circ}C)$	$C_p(J/Kg.^{\circ}C)$	$\rho(Kg/m^3)$	$T(^{\circ}C)$
0.72	1.86	1.72	0.0242	1006	1.292	0
0.71	2.12	1.81	0.257	1006	1.204	20
0.70	2.40	1.90	0.0272	1007	1.127	40
0.70	2.69	1.99	0.0287	1008	1.059	60
0.70	3.00	2.09	0.0302	1010	0.999	80
0.69	3.32	2.18	0.0318	1012	0.946	100
0.69	3.66	2.27	0.0333	1014	0.898	120

الجدول 8.A. الخصائص الفيزيو- حرارية (physio - thermique) للماء.

الخصائص الفيزيائية للماء المشبع.						
Pr	$10^7 \nu(m^2/s)$	$10^4 \mu(Pa.s)$	$\lambda(W/m.^{\circ}C)$	$C_p(J/Kg.^{\circ}C)$	$\rho(Kg/m^3)$	$T(^{\circ}C)$
13.06	1.31	17.90	0.552	4218	1002	0
7.02	1.43	10.10	0.597	4182	1001	20
4.34	1.51	6.55	0.628	4178	995	40
3.02	1.55	4.71	0.651	4184	985	60
2.22	1.64	3.55	0.668	4196	974	80
1.74	1.68	2.82	0.680	4216	960	100
1.45	1.71	2.33	0.685	4250	945	120

الملحق (B):

في هذا الملحق نجد بعض الجداول منها تعطي النسب الخاصة بمقادير الامتصاص و الانتشار للإشعاع الشمسي الخاصة بالإضافة للمعاملات الترمو-فيزيائية لكل من الهواء الجاف، الهواء الرطب، و الماء المالح.

الجدول 1.B. إعطاء نسب خاصة بمقادير الامتصاص و الانتشار للإشعاع الشمسي.

مقدار المتصاص		المقدار المنتشر	
الغيوم	12 %	نحو الفضاء الخارجي	8 %
غازات الغلاف الجوي	6 %	السحب المكثفة	26 %

الجدول 2.B. خصائص الهواء الجاف.

$Cp_{air} = 1055.05 - 0.3475T + 6.25 \times 10^{-4} T^2$	السعة الحرارية
$\rho_{air} = 353 / (273.15 + T)$	الكثافة
$\lambda_{air} = 0.0242 + 7.57 \times 10^{-5} T$	التوصيلية
$\mu_{air} = 1.7176 \times 10^{-5} + 0.46 \times 10^{-7} T$	اللزوجة الديناميكية
$\alpha_{air} = 1.8343 \times 10^{-5} + 0.146 \times 10^{-6} T$	الانتشارية الحرارية
$Pr = 0.7147 + 0.254 \times 10^{-3} T$	عدد Prandtl
$\beta_{air} = 1 / (273.15 + T)$	معامل التمدد الحراري

الجدول 3.B. خصائص الماء المالح.

$Cp_e = 3958 - 52.3S + 0.837T$	السعة الحرارية
$\rho_e = 1002.5 - 0.505 \times 10^{-1} T - 0.38 \times 10^{-2} T^2$	الكثافة
$\lambda_e = 0.5536 + 2.238 \times 10^{-3} T - 9.87 \times 10^{-6} T^2$	التوصيلية
$\nu_e = 17.199 \times 10^{-4} - 0.3389 \times 10^{-4} T^2 + 0.2 \times 10^{-6} T^3$	اللزوجة الحركية
$Pr = 12.501 - 0.261 T \times 10^{-3} T + 1.577 \times 10^{-3} T^2$	عدد Prandtl

الجدول 4.B. خصائص الهواء الرطب.

$Cp_m = (Cp_a + Cp_e \cdot y) / (1 + y); y = 0.622((p_s/p) - 1)$	السعة الحرارية
$\mu_m = 1.718 \times 10^{-5} + 4.62 \times 10^{-8} T$	اللزوجة الديناميكية
$\beta_m = 1.6578 \times 10^{-3} T \cdot (0.362 \cdot x - 1)^{-1}; x = p/p_0$	معامل التمدد الحراري

المخلصات

المخلص: الطاقة الشمسية من الحلول الفعالة وغير المكلفة لإنتاج المياه النقية، خصوصًا في المناطق النائية التي تعاني من نقص في المياه الصالحة للشرب، لكنها تعاني من انخفاض في الإنتاجية. في هذه الدراسة، تم تصميم ثلاث مقطرات شمسية معدلة باستخدام أنابيب بلاستيكية ذات أقطار مختلفة: 0.5 سم (MSS1)، 1 سم (MSS2)، و1.5 سم (MSS3)، ومقارنتها بمقطر شمسي مرجعي (RSS). أظهرت النتائج أن التصميم الأمثل كان باستخدام أنابيب بقطر 0.5 سم، حيث بلغ إنتاج المقطر المعدل (MSS1) 6176 مل/م² يوميًا، وهو ما يمثل زيادة بنسبة 41.4% مقارنة بإنتاج المقطر المرجعي الذي بلغ 4368 مل/م² يوميًا. أما التصميم باستخدام أنابيب بقطر 1 سم (MSS2) فقد حقق إنتاجًا يوميًا قدره 5600 مل/م²، بينما بلغ الإنتاج باستخدام أنابيب بقطر 1.5 سم (MSS3) 4870 مل/م². هذه النتائج تبرز أهمية التصميم الأمثل للأنابيب البلاستيكية ودورها في تعزيز كفاءة التبخر، مما يساهم في تحسين الأداء بشكل كبير.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، التقطير الشمسي، الأنابيب البلاستيكية، التوتر السطحي، التبخر، تحسين الأداء.

Résumé: Cette étude met en évidence l'importance de l'innovation continue dans le développement de technologies durables pour la purification de l'eau, en réponse à l'aggravation de la crise mondiale de l'eau. Les distillateurs solaires, bien qu'économiques et simples à utiliser, ont une productivité limitée, notamment dans les zones reculées souffrant de pénurie d'eau potable. Dans cette étude, trois distillateurs solaires modifiés ont été conçus en utilisant des tubes en plastique de diamètres différents : 0,5 cm (MSS1), 1 cm (MSS2), et 1,5 cm (MSS3), puis comparés à un distillateur de référence (RSS). Les résultats montrent que le distillateur équipé de tubes de 0,5 cm (MSS1) a produit 6176 ml/m² par jour, surpassant ainsi le distillateur de référence (RSS) qui n'a produit que 4368 ml/m² par jour, soit une augmentation de 41.4%. Le modèle MSS2, avec des tubes de 1 cm, a produit 5600 ml/m² par jour, tandis que le modèle MSS3, avec des tubes de 1.5 cm, a produit 4870 ml/m² par jour. Ces résultats confirment que l'intégration de tubes en plastique de diamètre 0,5 cm est le choix optimal, permettant d'augmenter considérablement la productivité des distillateurs solaires, avec des améliorations progressives observées en fonction du diamètre des tubes.

Mots-clés : énergie solaire, distillation solaire, tubes en plastique, tension superficielle, évaporation, performance améliorée.

Abstract: This study emphasizes the critical need for ongoing innovation in developing sustainable water purification technologies to combat the worsening global water crisis. Solar stills offer a simple and cost-effective solution, especially for remote areas suffering from water shortages, but their productivity is often limited. In this research, three modified solar stills were designed with plastic tubes of varying diameters: 0.5 cm (MSS1), 1 cm (MSS2), and 1.5 cm (MSS3), and compared with a reference solar still (RSS). The findings revealed that the still with 0.5 cm diameter tubes (MSS1) achieved the highest daily output, producing 6176 ml/m², which represents a 41.4% increase over the reference still's output of 4368 ml/m². The still equipped with 1 cm diameter tubes (MSS2) produced 5600 ml/m² per day, while the still with 1.5 cm diameter tubes (MSS3) produced 4870 ml/m² per day. These results underscore the significant role that optimal tube design plays in enhancing evaporation rates, with the 0.5 cm diameter tubes offering the best overall performance in increasing solar still productivity.

Keywords: solar energy, solar distillation, plastic tubes, surface tension, evaporation rates, performance optimization.