

الرقم الترتيبي:
الرقم التسلسلي:

وزارة التعليم العالي والبحث العالمي
جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية الرياضيات وعلوم المادة
قسم الفيزياء
أطروحة الدكتوراه علوم في الفيزياء



تخصص: فيزياء الطاقة

بعنوان:

دراسة وتحسين أداء مقطر شمسي مقترن (إحتباس حراري- فيلم شعيري) بمنطقة
ورقلة

**ETUDE ET AMELIORATION DE LA PERFORMANCE D'UN
DISTILLATEUR SOLAIRE COUPLE (SERRE- FILM CAPILLAIRE)
DANS LA REGION D'OUARGLA**

بالحاج محمد مصطفى

مقدمة من طرف:

نوقشت يوم: 2015/02/22

أمام اللجنة

رئيساً	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ	ستو نور الدين
ممتحناً	جامعة أحمد دراية أدرار	أستاذ	حمودة مسعود
ممتحناً	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر أ	بشكي جمال
ممتحناً	جامعة حاج لخضر باتنة	أستاذ	بن موسى حسين
ممتحناً	جامعة الوادي حمة لخضر	أستاذ	رحومة فرحات
مقرراً	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ	بوقطاية حمزة

السنة الجامعية: 2016/2015

الاعتراف بالجميل

الحمد لله والصلاة على المبعوث رحمت للعالمين. تم بعون الرحمان إعداد هذه الأطروحة على مستوى وحدة البحث في الطاقات المتجددة في المناطق الصحراوية بأدرار.

الشكر موصول بالأخص للأستاذ الدكتور "**حمزة بوقطاية**" لموافقته على الإشراف بتأطيري، مع حرصه بتقديم النصائح والإرشادات، والتوجيهات، وتشجيعه لي طوال مدة إعداد هذه الأطروحة.

كما أنه بالشكر الجزيل لرئيس وأعضاء لجنة المناقشة على قبول مناقشة هذه الأطروحة وهم:

الأستاذ : ستو نور الدين، بروفييسور بجامعة قاصد مبراح ورقلة. رئيسا للجنة المناقشة

الأستاذ : حمودة مسعود، بروفييسور بجامعة أحمد دراية أدرار. مناقشا

الأستاذ : بشكي جمال، أستاذ محاضر بجامعة قاصدي مبراح. مناقشا

الأستاذ : بن موسى حسين، بروفييسور بجامعة الحاج لخضر باتنة. مناقشا

الأستاذ : رحومة فرحات، بروفييسور بجامعة حمة لخضر الوادي. مناقشا

وأود الإعراب عن امتناني العميق لجميع من ساهم بشكل مباشر وغير مباشر في انجاز هذا العمل وأخص بالذكر أعضاء فريق "**التقطير الشمسي**" بداية بالزميلين معريف ياسين زروقي موسى، بالإضافة إلى بن حمو محمد ومنقار حسين. وكذلك أعضاء وحدة البحث بمخبر(LENREZA) بجامعة قاصدي مبراح ورقلة.

ويكون من سوء التقدير إهمال أفراد عائلتي الذين وقفوا معي ماديا ومعنويا لإتمام هذا العمل. واخص بالذكر أمي وأبي اللذان لا ينفكان برفع الدعاء لرب السماء لتوفيقني، ولزوجتي التي استمدت منها الدعم بكل معانيه، وأولادي عبد القيوم و وسام.

الملخصات

ملخص:

في هذا العمل نبرز بالمحاكاة الرقمية فعالية مقطر شمسي مزدوج الغطاء الزجاجي غير المتناظر، وذلك بإجراء تغير طفيف، وهذا بإدراج خلية تكثيف تبرد بواسطة فيلم رقيق من الماء يسري بالخاصية الشعيرية، بدل الغطاء الزجاجي الموجه نحو الشمال. نأخذ بعين الاعتبار جميع الانتقالات الحرارية والكتلية بغية تقدير كمية الماء المقطر الناتجة. لتقييم النموذج المقترح، الحسابات الرقمية التي تم إجراؤها بغية الحصول على معاملات التصميم المثلى، مثل معدل التدفق ماء التغذية، درجة حرارة مياه الحوض، بالإضافة لمعامل شكل خلية التكثيف، تحت الظروف المناخية لمنطقة ورقلة، جنوب الجزائر. النتائج الرقمية المتحصل عليها من هذه الدراسة، تبين تفوق مثل هذا النموذج الذي بلغت فعاليته حوالي 50-70% وذلك مقارنة بالنموذج التقليدي البسيط في نفس الظروف المناخية. متوسط الناتج السنوي لهذا المقطر يبلغ 7kg/m^2 . الزاوية المستحسنة لميل المقطر الشعيري 60° بالإضافة لمساحة الحوض غير المظللة لهما أثر جلي على النظام. يتناقص معدل التقطير بنسبة 7% كلما زاد سمك الماء في الحوض (من 0.0005m إلى 0.025m). وتأثير سرعة الرياح على الناتج يتراوح 53% كلما زادت هذه الأخيرة (من 1m/s إلى 7m/s).

الكلمات الدالة: الطاقة الشمسية، التقطير الشمسي، التكثيف، الفيلم الشعيري، المحاكاة الرقمية.

Résumé:

Dans ce travail, un modèle de simulation numérique est présenté, pour étudier la performance d'un distillateur solaire à double pente non symétrique modifié par l'intégration d'une cellule de condensation, refroidir par un film capillaire d'eau très mince, au lieu de la couverture de vitre orientée vers le nord. Les divers phénomènes de transfert de chaleur et de masse ont été considérés pour évaluer la production de distillat. Afin d'apprécier le modèle développé, les calculs numériques ont été faits pour optimiser différents paramètres de conception, à savoir le débit et la température d'alimentation de l'eau saumâtre et le facteur de forme de cellule de condensation, sous les conditions climatiques de la ville d'Ouargla, sud Algérien. Des résultats numériques sont également présentés dans cette étude, ces résultats montrent que la performance de la présente configuration est supérieure 50-70% de celle d'un distillateur conventionnel dans les mêmes conditions météorologiques. La production moyenne annuelle de cet appareil est environs 7kg/m^2 . L'angle d'inclinaison 60° et la surface de bassin sans l'ombre ont un effet significatif sur la production de distillat. La masse du distillat

diminue à 7% lorsque l'épaisseur d'eau augmente (de 0.0005m à 0.025m). L'effet de la vitesse du vent sur la production total est de 53% lorsque la vitesse varie (de 1m/s à 7m/s).

Mots clés: l'énergie solaire, distillation solaire, condensation, film capillaire, simulation

Abstract:

In this work, a model of numerical simulation is presented, to study the performance of a solar distiller with double nonsymmetrical slope modified by the integration of a cell condensation cooled by capillary film of very thin water on the pane cover directed towards north. The various phenomena of transfer of heat and mass were considered to evaluate the distillate production. In order to appreciate the developed model, numerical calculations were made to optimize various parameters of design, namely the flow and the feeding temperature of brackish water and the form factor of condensations cell under the climatic conditions of the town of Ouargla city, Algerian south. Numerical results are also presented in this investigation; these results show that this configuration performance is higher 50–70% than that of a conventional distiller in the same meteorological conditions. The annual average production of this device is about 7kg/m^2 . The tilt angle of 60° and the basin without shadow have a significant effect on distillate production. The mass of fresh water is reduced by 7% when the water depth in the basin changes from 0.0005m to 0.025m. The effect of wind velocity is 53% when it varies from 1m/s to 7m/s.

Key words: solar energy, solar distillation, condensation, capillary film, simulation

فهرس المحتويات

3	ملخص
5	فهرس المحتويات
8	لائحة الأشكال
10	لائحة الجداول
11	الترميز والمصطلحات
13	توطئة عامة

الفصل الأول: دراسة مرجعية

17	1. مقدمة
18	1. 2. مبدأ عمل المقطرات الشمسية
19	1. 3. التبادلات الحرارية في المقطر الشمسي التقليدي
20	1. 3. 1. الانتقالات الحرارية الخارجية
20	1. 3. 1. 1. معامل الضياع الحراري العلوي
20	1. 3. 1. 2. معامل التبادل الحراري بالقاع والسطوح الجانبية
21	1. 3. 2. الانتقالات الحرارية الداخلية
21	1. 3. 2. 1. معامل الإشعاع الداخلي
21	1. 3. 2. 2. معامل الحمل الحراري الداخلي
22	1. 3. 3. معامل التبخير الداخلي
23	1. 4. العوامل المؤثرة في التقطير الشمسي
23	1. 4. 1. تأثير ازدواجية أو أحادية ميلان الغطاء الزجاجي على معدل التقطير
24	1. 4. 2. تأثير درجة حرارة المحيط
25	1. 4. 3. تأثير الإشعاع الشمسي
25	1. 4. 4. تأثير سرعة الرياح
26	1. 4. 5. تأثير السعة الحرارية للماء في الحوض
26	1. 4. 6. تأثير زاوية ميل الغطاء الزجاجي
26	1. 5. بعض الأنماط الأخرى من المقطرات الشمسية
31	1. 6. الخلاصة

الفصل الثاني: الإشعاع الشمسي

33	2. مقدمة
33	2. الإشعاع الشمسي
33	2. 1. الإحداثيات الأرضية
33	2. 2. الإحداثيات الفلكية للشمس
33	2. 2. 1. الانحراف الشمسي
34	2. 2. 2. الزاوية الزمنية (ω)
35	2. 2. 3. الزمن الشمسي المتوسط (TSM) والحقيقي (TSV)
35	2. 2. 5. المعادلة الزمنية (Et)
36	2. 3. الإحداثيات السماوية الأفقية
36	2. 3. 1. زاوية سمت الرأس (a) (الإمالة)
37	2. 3. 2. الارتفاع الشمسي (h)
37	2. 4. حساب الإحداثية السلمية للإشعاع
37	2. 5. الإشعاع الشمسي الوارد للأرض
37	2. 5. 1. ثابت الشمسي على مستوى الغلاف الجوي
38	2. 6. الإشعاع الوارد على سطح مائل

38	.....	2. 6. 1. الإشعاع الشمسي المباشر.
38	.....	2. 6. 1. 1. صيغة <i>Kasten</i> لحساب مقدار الإشعاع الشمسي الكلي الوارد.
41	.....	2. 6. 1. 2. الإشعاع الشمسي المنتشر بالنسبة لمستوي أفقي $i = 0^\circ$.
41	.....	2. 7. حساب مقدار الأشعة الشمسية المنتشرة.
43	.....	2. 8. الخلاصة.

الفصل الثالث: المحاكاة العددية

45	.....	3. 1. مقدمة.
45	.....	3. 2. وصف الجهاز.
47	.....	3. 2. 1. حساب المساحة الفعلية للحوض.
48	.....	3. 3. إنشاء المعادلات الطاقوية.
48	.....	3. 3. 1. الإشكالية الفيزيائية.
49	.....	3. 3. 2. فرضيات وتسهيلات.
49	.....	3. 3. 3. نظام المعادلات الطاقوية.
49	.....	3. 3. 3. 1. على مستوى الغطاء الزجاجي (1).
50	.....	3. 3. 3. 2. على مستوى الماء المالح في الحوض (2).
51	.....	3. 3. 3. 3. على مستوى القاعدة السفلية للحوض (3).
51	.....	3. 3. 3. 4. على مستوى السطح مكثف-4-مبخر (4).
52	.....	3. 3. 3. 5. على مستوى السطح المكثف الثاني (5).
52	.....	3. 4. المصفوفة الرياضية لمعادلات التوازن الطاقوية للمقطر المعدل.
53	.....	3. 4. 1. العبارات التصحيحية المتعلقة بالمقطر الشمسي البسيط.
55	.....	3. 4. 2. العبارات التصحيحية المتعلقة بالمقطر الشمسي بالفيلم الشعيري.
57	.....	3. 4. 3. حساب الفعالية الكلية للمقطر المعدل.
58	.....	3. 5. مبدأ طريقة <i>Runge-kutta</i> .
59	.....	3. 5. 1. تطبيق طريقة <i>Runge-kutta</i> على جملة معادلات تفاضلية.
60	.....	3. 5. 2. طريقة <i>Runge-kutta</i> من أجل زمن غير اختياري.
61	.....	3. 5. 3. خوارزمية اختيار الزمن h .
63	.....	3. 6. الخلاصة.

الفصل الرابع: النتائج والمناقشات

65	.....	4. مقدمة.
66	.....	4. 1. تغيرات شدة الإشعاع الشمسي خلال السنة بدلالة الزمن المحلي.
68	.....	4. 2. تأثير زاوية الميل على المساحة النشيطة لحوض التبخير.
69	.....	4. 3. تغيرات درجة حرارة المحيط ومختلف عناصر الجهاز بدلالة الزمن.
70	.....	4. 4. منحني تغيرات نواتج التقطير مع تغير شدة الإشعاع الشمسي.
71	.....	4. 5. بعض المعاملات التي لها تأثير في عملية التقطير.
71	.....	4. 5. 1. تأثير معامل الامتصاص الإشعاعي على حوض التبخير.
73	.....	4. 5. 2. تأثير كمية الماء المالح بالحوض على عملية التبخير.
74	.....	4. 5. 3. تأثير سرعة تيارات الهواء على أداء الجهاز.
77	.....	4. 6. تأثير زاوية الميل على الإنتاجية والمساحة الفعلية للحوض.
78	.....	4. 7. منحني تغيرات معاملات الحرارةية (بالتبخير، بالحمل الحراري وبالإشعاع).
78	.....	4. 7. 1. منحني تغير معامل التبخير بدلالة الفرق في درجة الحرارة.
79	.....	4. 7. 2. منحني تغير معامل الحمل الحراري مع الفرق في درجة الحرارة.
80	.....	4. 7. 3. معامل التبادل الإشعاعي الداخلي بدلالة الفرق في درجة الحرارة.
80	.....	4. 8. التسريبات الحرارية الخارجية.
81	.....	4. 9. تغيرات معدل كمية الماء (المتدفقة، المقطرة والمصرفة) خلال مدة

	التشميس.....
82	4. 10. النسب المئوية المساهمة في الناتج الكلي للتقطير.....
84	4. 11. دراسة إثباتيه للنموذج المنجز بالوضعية العمودية للصفحة المعدنية بالمحاكاة العددية.....
84	4. 11. 1. مقارنة بين شدتي الإشعاع الشمسي المقاس والمحاكاة.....
85	4. 11. 2. مقارنة بين درجتي حرارة المحيط الخارجي نظريا وتطبيقيا.....
85	4. 11. 3. مقارنة بين نواتج التقطير من الناحية التجريبية والمحاكاة العددية.....
	الفصل الخامس: الأثر الاجتماعي-الاقتصادي
88	5. مقدم.....
88	5. 1. الآثار الاجتماعية-الاقتصادية.....
88	5. 1. 1. الأثر الاجتماعي جرى أزمة المياه.....
89	5. 1. 2. الأثر الاقتصادي.....
89	5. 1. 2. 1. الإنتاجية.....
89	5. 1. 2. 2. التكلفة المادية للجهاز.....
91	5. 1. 2. 3. التكلفة السنوية للاستثمار(CAI).....
91	5. 1. 2. 4. التكلفة السنوية للصيانة وحق الانتفاع(CAME).....
91	5. 1. 2. 5. القيمة السنوية للاستهلاك(VAA).....
94	5. 2. الخلاصة.....
95	6. الخلاصة العامة.....
97	الملحقات.....
97	الملحق A.....
98	الملحق B.....
100	B. 1. اختبار تحقق من الصحة.....
103	المراجع.....

لائحة الأشكال

الفصل الأول

- 18 **الشكل.1.1.** تصنيف مختلف المقطرات الشمسية المتداولة.....
- 19 **الشكل.1.2.** إبراز مختلف الانتقالات الحرارية الممكنة في جهاز التقطير.....
- 24 **الشكل.1.3.** رسم بياني لمقطر شمسي تقليدي مزدوج ميل الغطاء
الزجاجي.....

الفصل الثاني

- 34 **الشكل.2.1.** الحركة الظاهرية للشمس مع إبراز خط الطول.....
- 36 **الشكل.2.2.** الإحداثيات السماوية الأفقية.....
- 40 **الشكل.2.3.** الإشعاع الشمسي المباشر الوارد لسطح مستقبل، مائل
بزواوية كيفية غير معين.....

الفصل الثالث

- 45 **الشكل.3.1.** مقطع عرضي لجهاز التقطير الشمسي المعدل مع مكوناته
الأساسية.....
- 47 **الشكل.3.2.a.** الزوايا والأبعاد المهمة التي يرسمها شعاع الشمسي الوارد
على سطح حوض التبخير.....
- 47 **الشكل.3.2.b.** إبراز الظل الذي يرسمه الجدران الجانبية.....
- 48 **الشكل.3.3.** مظهر المساحة الفعلية للالتقاط الإشعاع الشمسي الملقى
على الحوض.....
- 50 **الشكل.3.4.** يبرز مختلف الانتقالات الحرارية الممكنة في المقطر المعدل....
- 51 **الشكل.3.10.** مخطط الخوارزمية الأساسي للمقطر المعدل.....

الفصل الرابع

- 65 **الشكل.4.1أ.** منحنى تغيرات شدة الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن
المحلي لنصف الثاني من السنة.....
- 65 **الشكل.4.1ب.** منحنى تغيرات شدة الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن
المحلي لنصف الأول من السنة.....
- 67 **الشكل.4.2.** منحنى تغيرات مساحة الالتقاط الإشعاعي بدلالة زاوية ميل
الصفحة مكثف-4-مبخر.....
- 68 **الشكل.4.3.** منحنى تغيرات درجات حرارة عناصر الجهاز بدلالة الزمن
المحلي.....
- 69 **الشكل.4.4.** منحنى تغيرات نواتج التقطير خلال أشهر السنة بدلالة تغيرات
متوسط شدة الإشعاع الشمسي.....
- 71 **الشكل.4.5أ.** منحنى تأثير درجة حرارة الحوض بتغير معامل الامتصاص
بدلالة الزمن المحلي.....
- 71 **الشكل.4.5ب.** منحنى تأثير معامل امتصاص الحوض للإشعاع بدلالة الزمن
المحلي.....
- 72 **الشكل.4.6أ.** منحنى تأثير سمك الماء في الحوض على الناتج الكلي
بدلالة الزمن المحلي.....
- 73 **الشكل.4.6ب.** منحنى تأثير سمك الماء في الحوض على درجة حرارة الماء
في الحوض بدلالة الزمن.....

- 75 **الشكل. 4. 7ج.** منحنى تأثير سرعة الرياح على معامل التسريب الحراري الكلي للنظام.....
- 75 **الشكل. 4. 7ح** منحنى تأثير سرعة الرياح على نواتج التقطير بدلالة الزمن المحلي.....
- 75 **الشكل. 4. 7ج.** منحنى تأثير تغيرات معدل الإنتاج الكلي بدلالة تزايد سرعة الرياح.....
- 76 **الشكل. 4. 8أ.** منحنى تأثير زاوية ميل المكثف 4-مبخر على مساحة الحوض. **الشكل. 4. 8ب.** منحنى تأثير زاوية ميل المكثف على مساحة الحوض الفعلية، وإنتاجية الصفيحة المعدنية.....
- 76 **الشكل. 4. 9.** منحنى تغيرات معامل التبخير بدلالة الفرق في درجة الحرارة. **الشكل. 4. 10.** منحنى تغيرات معامل الحمل الحراري الداخلي بدلالة الفرق في درجة الحرارة.....
- 77 **الشكل. 4. 11.** منحنى تغيرات معامل الإشعاع الداخلي بدلالة فرق في درجة الحرارة.....
- 78 **الشكل. 4. 12.** التوزيع المئوي لنسبة التسريبات الحرارة على مستوى المقطر الشمسي.....
- 79 **الشكل. 4. 13.** منحنى تغيرات كلا من تدفق مياه المصرفة، المقطرة ومياه التزويد بدلالة الزمن المحلي.....
- 80 **الشكل. 4. 14.** منحنى توزيع النسب المئوية المساهمة في عملية التقطير لكل من الغطاء الزجاجي، الصفيحة المعدنية والصفيحة المكثفة.....
- 81 **الشكل. 4. 15.** مقارنة بين منحنى الإشعاع الشمسي النظري والتجريبي بدلالة الزمن المحلي.....
- 82 **الشكل. 4. 16.** مقارنة بين القيم العددية والتجريبية لدرجة حرارة الوسط بدلالة الزمن المحلي.....
- 83 **الشكل. 4. 17.** مقارنة بين الكمية التجميعية المتحصل عليها تجريبيا وعدديا بدلالة الزمن المحلي.....

الفصل الخامس

- 89 **الشكل. 5. 1.** صورة تجسيدية لجهاز التقطير الشمسي المعدل.....
- 92 **الشكل. 5. 2.** تغيرات كلفة وحدة من الماء المقطر بدلالة مدة حياة الجهاز.....

الملحق. B.

- 98 **الشكل. B. 1.** صفيحة في وضع عمودي.....
- 98 **الشكل. B. 2.** صفيحة في وضع مائل.....
- 98 **الشكل. B. 3.** الخلية في وضع مائل.....
- 98 **الشكل. B. 4.** الخلية في وضع أفقي.....
- 98 **الشكل. B. 5.** الخلية في وضع عمودي.....

الفصل الأول

- 24 **جدول. 1. 1.** صيغ معامل الحمل في حالة تغيرات زاوية الميل للغطاء الزجاجي (Cengel. 2006).....
- 31 **جدول. 1. 2.** عرض مختلف نماذج من المقطرات الشمسية مع إبراز الفعالية الطاقوية لكل نموذج.....

الفصل الثاني

- 39 **جدول. 2. 1.** قيم معامل الاضطراب ومعامل ارتفاع الماء المكثف.....

الفصل الثالث

- 55 **جدول. 3. 5.** قيم الزاوية الحرجة بدلالة معامل الشكل.....
- 55 **جدول. 3. 6.** قيم عدد *Nusselt* بدلالة وضعيات وأبعاد خلية التقطير.....

الفصل الخامس

- 90 **جدول. 5. 1.** إعطاء السعر الوحدة لمجمل العناصر الداخلة في تركيب الجهاز.....
- 92 **جدول. 5. 2.** تقدير التكلفة لمكونات الجهاز (K. R. Ranjan. 2013).....
- 92 **جدول. 5. 3.** يبرز أثر مختلف المعاملات على سعر الوحدة من الماء المقطر (Al-Kharabsheh. 2003).....

الملحق. B

- 98 **جدول. B. 1.** إعطاء نسب خاصة بمقادير الامتصاص والانتشار للإشعاع الشمسي.....
- 98 **جدول. B. 2.** الخصائص الترمو-فيزيائية المستخدمة في هذه الدراسة.....
- 99 **جدول. B. 3.** عبارة عدد *Nusselt* لأشكال هندسية مختلف.....
- 100 **جدول. B. 4.** خصائص الخواء الجاف.....
- 100 **جدول. B. 5.** خصائص الماء المالح.....
- 100 **جدول. B. 6.** خصائص الهواء الرطب.....

الترميز والاصطلاحات

الرمز	الاصطلاح	وحدات دولية
a_α	الانتشارية الحرارية	$m^2 s^{-1}$
a	زاوية سمت الرأسي	درجة
C_p	السعة الحرارية	$J kg^{-1} K^{-1}$
D_c	الانتشارية الكتلية	$m^2 s^{-1}$
d_c	المسافة البينية	m
E	البعد	m
F	الكسر	بدون وحدة
G_g	الإشعاع الشمسي	$W m^{-2}$
Gr	عدد غراشوف	بدون وحدة
H	الارتفاع	m
h	معامل الانتقال الحراري	$W m^{-2} K^{-1}$
h	الارتفاع الشمسي	درجة
h_m	معامل الانتقال الكتلي	$m s^{-1}$
h_f	الحرارة الكامنة	$J kg^{-1}$
L	الطول	m
M	الكتلة	kg
M_a	الكتلة المولية للهواء	$kg kmol^{-1}$
M_v	الكتلة المولية لبخار الماء	$kg kmol^{-1}$
\dot{m}	التدفق الكتلي	$kg m^{-2} s^{-1}$
N_j	رتبة اليوم في العام	-
Nu	عدد نوسالت	بدون وحدة
P	الضغط	Pa
Pr	عدد برانتل	بدون وحدة
Q	التدفق الحراري	W
R	ثابت الغازات المثالية	$J K^{-1} mol^{-1}$
Ra	عدد رايلي	بدون وحدة
R_c	نسبة	بدون وحدة
S	المساحة	m^2
Sh	عدد شيرود	بدون وحدة
$S_{i,\gamma}^*$	الإشعاع الشمسي المباشر	$W m^{-2}$
T	درجة الحرارة	K
TSM	زمن الشمسي المتوسط	min
TSV	زمن الشمسي الحقيقي	min
T_L	معامل الاضطراب الجوي للانك <i>Linke</i>	بدون وحدة
t	الزمن	s
U	معامل الانتقال الحراري	$W m^{-2} K^{-1}$
W_s	سرعة الرياح	$m s^{-1}$
Z	ارتفاع عن سطح الأرض	km
الرموز الإغريقية		
α	الامتصاصية	بدون وحدة
β	معامل التمدد الحراري	K^{-1}
ε	الانبعاثية	بدون وحدة
λ	التوصيلية الحرارية	$W m^{-1} K^{-1}$
μ	اللزوجة الديناميكية	Pa s
ν	اللزوجة الحركية	$m^2 s^{-1}$

بدون وحدة	الانعكاسية	\Re
درجة	زاوية ميل الغطاء الزجاجي	θ
درجة	زاوية ميل الصفيحة مكثف-4-مبخر	ϕ
kg m^{-3}	الكثافة	ρ
$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$	ثابت ستيفان-بولتزمان	σ
درجة	زاوية سمت الرأسى	γ
درجة	زاوية سمت الشمسى	γ_s
بدون وحدة	الفعالية	η

الدليل السفلى

الوسط الخارجى	a
الحوض	b
بين الحوض والوسط الخارجى	ba
بين الحوض وطبقة الماء المالحة	be
الحمل الحرارى	c
صفيحة مكثف2	cs
بين المكثف والوسط الخارجى	csa
بالتوصيل الحوض والوسط الخارجى	dba
التبخير	e
الفعال	eff
المكافئ	eq
الماء المالح	e
بين الماء المالح والغطاء الزجاجى	ev
بين الماء المالح والصفيحة مكثف-4-مبخر	ep
يمثل المائع	f
الإجمالى	g
المادة العازلة أسفل الحوض	is
الخليط	m
رسم المثلث على الحوض	otr
المساحة المظلمة	omb
صفيحة مكثف-4-مبخر	p
بين صفيحتى التكتيف	pcs
الانعكاس	Ref
الإشعاع	r
الحالة البخارية للمائع	V
الغطاء الزجاجى	v
بين الغطاء الزجاجى والوسط الخارجى	va
غلاف السماوى	$ciel$

توطئة عامة:

توفير الماء العذب في المناطق النائية والمعزولة في العالم أصبح من الأمور الضرورية في وقتنا الحالي. مثال عن تلك المناطق الشرق الأوسط، وسط استراليا وصحراء إفريقيا، التي تمتاز بمنابع المياه المالحة. أسباب كثيرة وعديدة تخلق مشكل نقص المياه العذبة؛ من بينها النمو السكاني، والتطورات التي تشهدها عدة مجالات منها الصناعية والزراعية، والتي تتطلب توفير كميات هائلة من هذه المياه، حتى ولو كان العثور على بعض هذه المياه بات أمرا صعبا، لكنها تتميز بجودة منخفضة، مع ملوحة زائدة لا تصلح للاستعمال المباشر للإنسان ولا لباقي المجالات الحيوية.

الماء هو مصدر الحياة، لكنه موجود في كوكبنا على هيئات مختلفة دون تغير في الكمية الإجمالية. في الواقع يحدث له تغيرات من حالة إلى أخرى (الدورة الطبيعية للماء). في حين أن المياه المستخدمة تأتي من البحيرات والأنهار والمياه الجوفية. تمثل 97% نسبة مياه المحيطات التي نم العثور عليها على سطح الكرة الأرضية والتي تمثل نسبة 2% موجودة في القطبين الشمالي والجنوبي (Sellami, 2014). المياه العذبة المتوفرة تمثل 0.07% من مجموع الموارد، ما يقارب من مليون كلم³، ولكن توزيع هذه المياه غير متكافئ للغاية (Bechki, 2011).

السؤال المطروح، لماذا مع وجود هذه الكميات الهائلة من المياه، غير أننا عاجزين عن استغلالها بالشكل المباشرة؟ جوابا على هذا السؤال يجب أن نوضح إحدى الظواهر الطبيعية، والمتمثلة في ظاهرة الحلول (الأسموز)، مفعول هذه الظاهرة يسري على جميع الكائنات الحية. وتعرف بانتقال المحاليل ذات التركيز القليل نحو المحاليل المركزة عبر أغشية نصف نفوذة. النباتات لا يمكنها امتصاص الماء المالح من التربة لوجود عائق الامتصاص؛ وهو كمية الملح الزائدة، مما يجعل العملية تتم بالاتجاه العكسي، أي يخرج الماء الموجود داخل الجذور نحو التربة. مما يترتب عن هذا موت المحتم للنبته. لهذا السبب لا يمكننا استعمال مياه البحر أو المياه الجوفية مباشرة. تفسير هذه الظاهرة هو جواب عن السؤال المطروح أنفا.

العديد من المناطق في العالم تصنف بأنها نائية وقاحلة تعاني من مشكل نقص وشح الموارد المائية الصالحة للشرب. هذا المشكل يتفاقم يوما بعد يوم، نظرا لنقص الحاد في معدل التساقط الأمطار الموسمية، الجفاف الشديد جراء ارتفاع درجات الحرارة، تزايد عدد

السكان في نطاق ضيق ومناطق جغرافية محددة. كل هذا وغيره يدعو للقلق من نشوء حروب وصراعات حول ما تبقى من موارد مائية.

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

هناك عدة حلول وتقنيات يمكن أن تساهم في حل مشكل تناقص المياه العذبة، منها الطرق الكلاسيكية المعروفة التي تستخدم الطاقة الأحفورية كمصدر طاقي، لكنها مبعث قلق بالنسبة للطبيعة، ويتمثل خطرها في انبعاث الغازات السامة التي لها تأثير سلبي في البيئة، مما ينعكس ذلك على الكائنات الحية والنباتات. نذكر على سبيل الذكر لا الحصر من بين هذه الطرق المسمومة؛ تقنيات تحليه المياه باستعمال الوقود الأحفوري، كالبتروك والغاز الطبيعي، اليورانيوم... الخ، التي تتسبب في ارتفاع درجات الحرارة مما ينعكس بالدرجة الأولى على جل الظواهر الطبيعية كالدورة الطبيعية للماء، تساقط غير المنتظم للأمطار الموسمية، زوايع وموجات أعاصير قوية كالسونامي

البديل الذي يفرض نفسه حاليا هو استخدام الطاقة الشمسية، حيث تعتبر أصل جل الطاقات الموجودة؛ مثل طاقة الرياح، الطاقة المائية، والنباتية، هذه الشمس التي سخرت لنا لاستفادة من مزاياها العديدة منذ عصور قديمة. فما مقدار الطاقة الشمسية التي تصل للأرض؟. يصل إلى سطح الأرض حوالي نصف كمية الطاقة الشمسية القادمة من الشمس؛ حيث يستقبل كوكب الأرض ما يقارب 48% من الإشعاعات الشمسية القادمة إليه على شكل إشعاعات منتشرة (18%)، ومباشرة (30%)، بينما 52% منها تختفي حسب اعتبارات (Communay, 2002) القيم مدونة في الملحق B، وفيما يمكن ذكره عن تطبيقات استخدام الطاقة الشمسية ما يلي:

في عملية التدفئة والتبريد، التهوية، في مجال الطهي الشمسي، تجفيف المحاصيل الزراعية، معالجة الماء، تسخين الماء، الإضاءة الشمسية، والتخطيط المدني والمعماري.

جل هذه التقنيات وغيرها لها مزايا عديدة إما ايجابية أو سلبية، من بين المزايا الايجابية أنها تستخدم الأشعة الشمسية غير الناضبة كوقود حيوي. من ناحية تكاليف الانجاز لمثل هذه الأجهزة لا تتطلب

تكاليف باهظة، وأسعارها في متناول الإنسان البسيط، بينما عملية الصيانة لا تتطلب تكنولوجيات عالية، غير أن الأمر السلبي في هذه التقنيات يتمثل فقط في المردود الضئيل لكل $1m^2$. وبهذا يتطلب توفير الماء العذب تضافر جهود الباحثين في هذا المجال لتدارك العجز في تأمين هذه المادة الحيوية.

أول ظهور واستعمال لأجهزة التقطير كان في الشيلي منذ 1870 (Delyannis, 2003)، ومن ذلك الوقت بدأت عمليات دراسة تطوير وتحسين لمردود وكفاءة هذا النموذج. هدفنا في هذه الدراسة يتمثل في تحسين كفاءة الجهاز أولاً من خلال مضاعفة سطوح التكثيف من جهة ومن جهة ثانية، تحقق من مبدأ إعادة الاستفادة من الطاقة الضائعة جراء عملية التكثيف مرة أخرى. وبالتالي زيادة في كمية الماء المقطر المتحصل عليها. اخترت منطقة ورقلة (جنوب الجزائر) كمناطق نموذجية لاستخدام المعطيات الجغرافية للمساعدة على الدراسة. بينما أنجزت الحسابات الرقمية في وحدة البحث في الطاقات المتجددة في المناطق الصحراوية (URER'MS) بمدينة أدرار. هذا الهدف يركز أساساً على الخصائص الحرارية الخاصة بالمكثف والتي تمثل مفتاح كفاءة التقطير الشمسي.

تحتوي هذه المخطوطة في الأساس على خمسة فصول، يتبعها ملحقات توضيحية. يتقدمها فصل أول يشتمل على نبذة وجولة في المراجع لسرد بعض الأعمال ذات صلة بموضوعنا. يليها فصل ثاني نسرد فيه النموذج النظري للإشعاع الشمسي المقترح والذي أخذ بالحسبان على أساس انسجامه لمعطيات الدراسة. أما عن الفصل الثالث فهو يحتوي على نمذجة النموذج وصياغته للصورة الرياضية حتى تسهل علينا معالجتها عددياً. ونختم بالفصل الرابع حيث نسرد فيه جميع النتائج الرقمية المتحصل عليها والتي تقرب الصورة الافتراضية للجهاز للوضع الواقعية من خلال المعطيات المناخية والجغرافية لمنطقة الدراسة، مع إبراز مصداقية النموذج الرقمي المقترح بإجراء وجه مقارنة للنتائج التجريبية مع ما يقابلها بالمحاكاة العددية، والفصل الخامس يحدد التكلفة الإجمالية لوحدة كيلوغرام من الماء المقطر الناتجة من هذا النموذج المقترح، ليعطي فكرة واضحة على أساسها يمكن عرض هذا الجهاز ليستغل من طرف الهيئات المعنية. نختم هذه الفصول الأربعة؛ بخاتمة عامة نلخص فيها النتائج والتوصيات، يختم بوضع قائمة اسمية لجميع المراجع.

الفصل الأول الدراسة المرجعية

1. مقدمة:

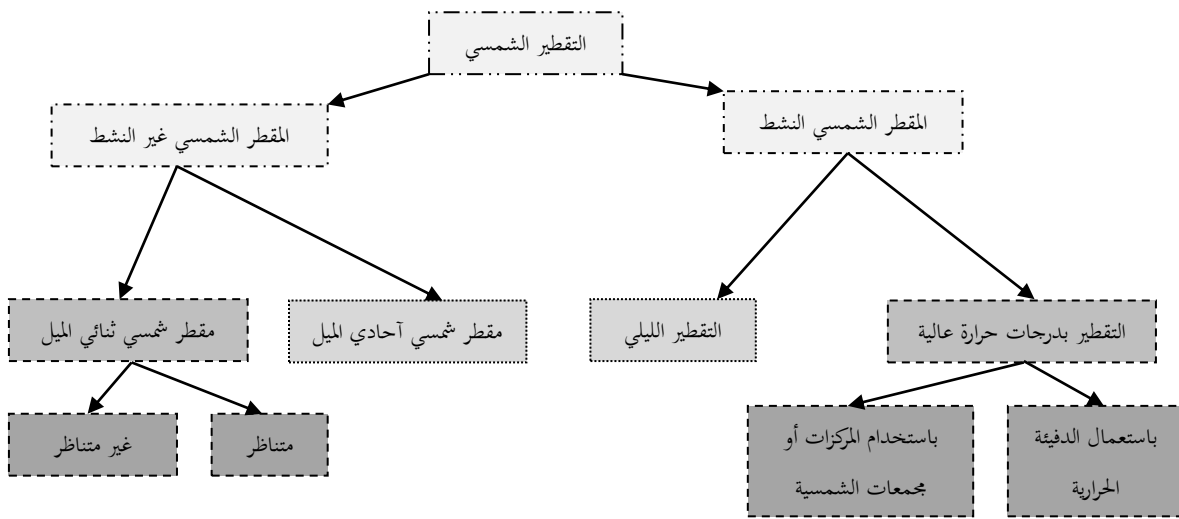
توفير مياه الشرب مشكلة رئيسية في متخلف مناطق العالم وخاصة في البلدان النامية، وهذا جنبا لجنب مع الحاجة الماسة للغذاء والهواء. الماء ضرورة أساسية للإنسان والكائنات الحية. يعتمد استغلال الإنسان للمياه العذبة غالبا على الأنهار والبحيرات وخزانات المياه الجوفية ولكن تلوث الأنهار والبحيرات بسبب المخلفات الصناعية ومياه الصرف الصحي تسبب في ندرة المياه العذبة في العديد من البلدان والقرى القريبة من هذه البحيرات والأنهار.

تشير الاستطلاعات إلى أن حوالي 79% من المياه المتاحة في الأرض مالحة غير صالحة لا للشرب ولا للسقي الزراعي. 1% فقط من هذه المياه هي الصالحة للشرب، والباقي 20% غير الصالحة مجمدة في القطبين الشمالي والجنوبي (Kettab, 2001). نحن بصد المساهمة الجدية في تعزيز المشاريع التي تهدف إلى توفير المياه الصالحة للشرب في المناطق النائية والصحراوية بجنوب الجزائر حيث يتكبد بعض السكان لقطع مسافات طويلة من أجل الحصول على قطرة ماء صالحة للشرب.

تقطير المياه المالحة (مياه البحر مثلا)، أينما كانت متوفرة، هي وسيلة متاحة للحصول على المياه العذبة. ومع ذلك فإن عمليات التقطير بالأساليب التقليدية مثل التبخير متعدد التأثير (Multi-effet)، متعدد المراحل التبخر (Multi-flash)، التناضح العكسي (Osmose inverse) والكهربائي (Electrodialyse) هي تقنيات تتطلب استخدام للطاقة بكثافة، وهذه الطاقة يفتقر وجودها في تلك المناطق النائية. لذا، والتقطير الشمسي هو البديل المناسب لهذه الظروف وهذا بسبب تقنيته البسيطة. وعدم حاجتها لليد الماهرة لأعمال الصيانة، ولا لاستهلاكها للطاقة الأحفورية الناضبة. على هذا النحو، يمكن استخدامها في أي مكان دون وجود لمشاكل عويصة.

يوضح الشكل 1.1. 1. تصنيف لأهم المقطرات الشمسية المنجزة من طرف كلا من (Sodha, (1980, 1981); Tiwari and Rao, 1983; Tiwari and

النماذج لاحقاً. (Yadav, 1985; Tiwari, 1989; Malik, 1982) ويتم عرض تفاصيل بعض

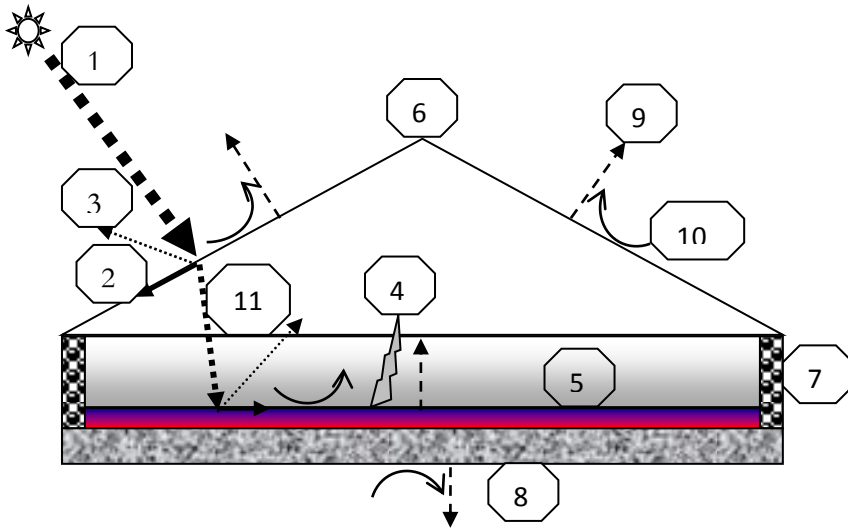


الشكل.1.1. تصنيف مختلف المقطرات الشمسية المتداولة

1.1.2. مبدأ عمل المقطرات الشمسية:

الشكل.1.2. يبين مختلف عناصر التوازن الطاقوي، وضياع الطاقة الحرارية في جهاز التقطير الشمسي التقليدي. يحتوي هذا الجهاز على حوض محكم الغلق، بالعادة يشيد بواسطة الخرسانة أو الأسمنت المجلفن أو من صفائح (مادة القالفانيز أو الألمنيوم مثلا إلخ...) أو من ألياف البلاستيك المقوى. مع الغطاء العلوي من مادة شفافة مثل الزجاج والبلاستيك إلخ...، واستعمل طلاء أسود عند السطح الداخلي لقاعدة الحوض المستطيلة لزيادة كفاءة معدل امتصاص الإشعاع الشمسي الوارد. وحتى نقل من الضياع الحرارة المخزنة في الحوض خلال مدة التسخين، تتركز قاعدة الحوض على مادة أسفنجية ذات السمك المعتبر، مع الخصائص فيزو-حرارية المواتية للعزل لإعطاء جودة في الإحكام. نزود محيط قاعدة الحوض بإطار خشبي لإعطاء شكل أنيق للجهاز. تتم عملية تغذية-تنقية الحوض عن طريق أنابيب معدنية موصولة أسفله. وعليه مبدأ عمل الجهاز يتم على النحو التالي: ينتقل أغلب الإشعاع الشمسي الوارد على الغطاء الزجاجي ($\tau_v G_g$) بعد أن ينعكس جزء منه ($\rho_v G_g$) للوسط

الخارجي ويمتص كمية قليلة ($\alpha_v G_g$) بفعل عطالة الزجاج. كمية الإشعاع التي تصل الحوض تطراً عليها ما يحدث على مستوى الغطاء الزجاجي غير أن الحوض الأسود يتميز كونه لا يمرر الأشعة بل يمتص أكبر كمية لتتحول في النهاية إلى حرارة التي تعمل على تسخين طبقة الماء المالحة التي بدورها تنتج بخار الماء المتصاعد نحو سطوح التكثيف. وتوصل نهاية كل سطح تكثيف بقناة لتجميع الماء المقطر. توجد في الأساس ثلاثة أنماط لانتقالات الحرارة فهي؛ الإشعاع (Q_{rij})، الحمل الحراري (Q_{cij})، التبخير (Q_{eij}) وهي تتم بين السطح الساخن i نحو السطح البارد j .



الشكل 1.2. إبراز مختلف الانتقالات الحرارية الممكنة في جهاز التقطير
 1: الإشعاع الشمسي الوارد؛ 2: المقدار الممتص؛ 3: الكمية المنعكسة؛ 4: الانتقال بالحمل؛ 5: حوض التبخير؛ 6: الغطاء الزجاجي؛ 7: الإطار الخشبي؛ 8: المادة العازلة السفلية؛ 9: الانتقال بالإشعاع؛ 10: الانتقال بالحمل الحراري؛ 11: كمية الإشعاع النافذة عبر الزجاج.

1.3. التبادلات الحرارية في المقطر الشمسي التقليدي:

التبادل الحراري في أنظمة التقطير الشمسي بالإمكان تصنيفه من خلال المظهر الداخلي والخارجي للجهاز. الانتقالات الحرارية الخارجية تتم عن طريق التوصيل والحمل الحراري بالإضافة للإشعاع وهي مستقلة عن بعضها البعض، هذه الانتقالات الحرارية الخارجية مصدرها الغطاء الزجاجي والجوانب العازلة وكذا المادة العازلة تحت

الحوض نحو الوسط الخارجي. أما عن التبادلات الحرارية الداخلية فهي تتم بين سطح التسخين الذي يحتوي على المائع المراد تقطيره نحو السطوح التكثيف الباردة نسبيا في هذه الحالة يتزامن الانتقال الحراري بالحمل مع الانتقال الكتلي لبخار الماء دون ارتباط بالانتقال الإشعاعي. الشكل.1. 2 يظهر التصنيف لأهم عناصر الانتقالات الحرارية على مستوى المقطر الشمسي التقليدي.

1. 3. 1. الانتقالات الحرارية الخارجية:

1. 1. 3. 1. معامل الضياع الحراري العلوي:

على اعتبار سمك الغطاء الزجاج صغيرا نسبيا ولا وجود لتدرج في درجة حرارته (درجة حرارة موحدة). التبادل الحراري بين الغطاء والوسط الخارجي يمكن وصفه حسب (Sadineni, 2008) بالعلاقة التالية:

$$(1.1) \quad Q_v = Q_{cva} + Q_{rva}$$

حيث يعبر كلا من Q_{cva} ، و Q_{rva} الحمل الحراري والإشعاع الحراري المتبادل بين الغطاء الزجاجي والمحيط الخارجي.

$$Q_{rva} = h_{rva}(T_v - T_a) \text{ و } Q_{cva} = h_{cva}(T_v - T_a)$$

1. 3. 1. 2. معامل التبادل الحراري بالقاع والسطوح الجانبية:

يتم انتقال الحرارة من الحوض نحو الوسط الخارجي عبر المادة العازلة عن طريق التوصيل وبعد ذلك بالحمل والإشعاع من القاع والسطوح الجانبية. والمعادلة (Dhiman, 1990) تكتب بالشكل التالي:

$$(2.1) \quad U_b = \left[\frac{1}{h_{cbe}} + \frac{1}{h_h} \right]^{-1}$$

نعرف كلا من

$$(3.1) \quad \frac{1}{h_h} = \frac{1}{\lambda_{is}/E_{is}} + \frac{1}{h_{cba}}$$

يمثل h_{cbe} معامل التبادل الحراري بالحمل بين الصفيحة الماصة والماء المالح في الحوض، ويمثل λ_{is} معامل التوصيل الحراري للمادة العازلة.

1. 3. 2. الانتقالات الحرارية الداخلية:

نمط التبادلات الحرارية الداخلية تتم بين طبقة الماء المالحة في الحوض وسطوح التكتيف.

1. 3. 1. معامل الإشعاع الداخلي:

في هذه الحالة، نعتبر سطح الماء المالح والغطاء الزجاج هي سطوح غير منتهية ومتوازية (هذا التقريب صالح في حالة زاوية ميل صغيرة للغطاء الزجاجي، أما غير ذلك يلزم إدخال معامل الشكل (كما هو مبين في الملحق A)). كمية الحراري المتبادلة بالإشعاع بين المستويين اللانهائيين والمتوازيين الماء-الزجاج يعطى حسب (Sadineni, 2008) بالشكل التالي:

$$(4.1) \quad Q_{rev} = h_{rev} S_e (T_e - T_v)$$

ونعرف معامل التبادل الحراري بالإشعاع بين الماء والغطاء الزجاجي حسب (Velmurugan, 2008) بالعلاقة التالية:

$$(5.1) \quad h_{rev} = \epsilon_e \sigma [(T_e + 273.15)^2 + (T_v + 273.15)^2](T_e + T_v + 546.3)$$

1. 3. 2. معامل الحمل الحراري الداخلي:

يحدث الانتقال الحراري بواسطة الحمل الحراري الطبيعي للهواء الرطب داخل المقطر الشمسي التقليدي والذي كان سببه تأثير طفو البخار في الهواء، نظرا لاختلاف كثافة المائع. هذا يحدث بسبب تدرج في درجة حرارة المائع. كمية الحرارة المنتقلة من سطح الماء إلى الغطاء الزجاجي بواسطة الحمل الحراري في الاتجاه التصاعدي من خلال المائع الرطب يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$(6.1) \quad Q_{cev} = h_{cev} S_e (T_e - T_v)$$

ونعرف بالمقابل معامل الحمل الحراري انطلاقا من علاقة العدد اللابعدى لـ (Nessult) $Nu = C (Gr Pr)^n$ (Velmurugan, 2008) كما يلي:

$$(7.1) \quad h_{cev} = Nu \frac{d_b}{\lambda_f}$$

حيث قيم الأعداد n, C تحدد حسب نمط وحركة المائع، كما يلي:

$$\begin{cases} n = \frac{1}{4}, & 10^4 < Gr < 2.51 \times 10^5 \\ n = \frac{1}{3}, & 2.51 \times 10^5 < Gr < 10^7 \end{cases}$$

عدد اللابيدي لـ [Grashof](#) (Tiwari, 2005)

$$(8.1) \quad Gr = \frac{g d_b^3 \beta^T \rho_f^2}{\mu_f^2} \Delta T$$

عدد اللابيدي لـ [Prandtl](#) (Tiwari, 2005)

$$(9.1) \quad Pr = \frac{\mu_f C_{p_f}}{\lambda_f}$$

تكتب عبارة ΔT فرق في درجة الحرارة على النحو التالي:

$$(10.1) \quad \Delta T = \Delta T + \frac{(P_e - P_v)(T_e + 273.15)}{\frac{M_a P_T}{M_a - M_v} - P_e}$$

وعليه يكتب المعامل بالشكل التالي (Tsilingiris, 2010):

$$(11.1) \quad h_{cev} = C C_f \left[\Delta T + \frac{(P_e - P_v)(T_e + 273.15)}{\frac{M_a P_T}{M_a - M_v} - P_e} \right]^n$$

ويكتب المعامل C_f الذي يختلف من مائع لآخر حسب الخصائص الترمو-فيزيائية لكل مائع على الشكل التالي (Tsilingiris, 2010):

$$(12.1) \quad C_f = \frac{\lambda_f}{d_b} \left[\frac{g d_b^3 \beta^T \rho_f^2 C_{p_f}}{\mu_f \lambda_f} \right]^n$$

1. 3. 2. 3. معامل التبخير الداخلي:

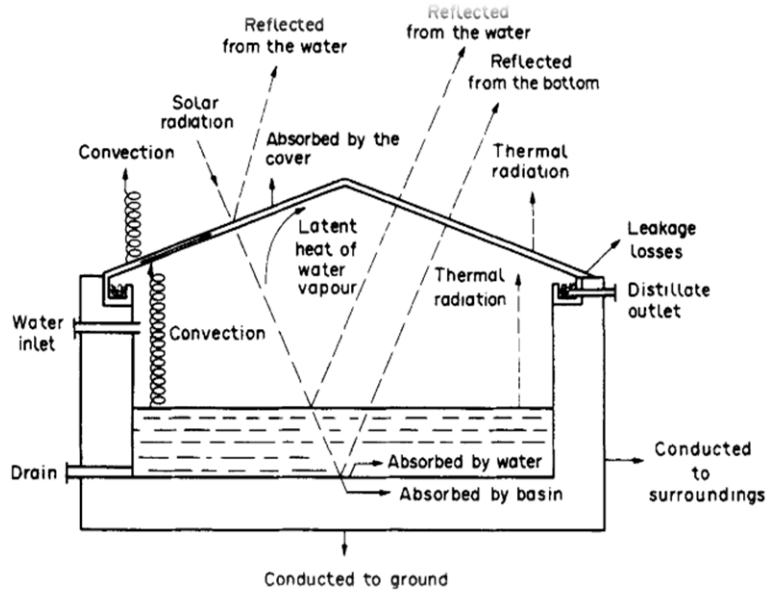
توجد علاقة بين الحمل الحراري وانتقال كتلة الهواء الرطب كما أشرنا سالفا وتكتب العلاقة بينهما كما يلي (Tsilingiris, 2010):

$$(13.1) \quad h_{eev} = h_{cev} \frac{h_f(T)}{C_{p_f}} \frac{M_a}{M_v} \frac{P_0}{(P_0 - P(T_e))(P_0 - P(T_v))}$$

1.1. العوامل المؤثرة في التقطير الشمسي:

1.1. 4.1. تأثير ازدواجية-أحادية ميلان الغطاء الزجاجي على معدل التقطير:

يبين الشكل.1.3. (Okek, 1990) طريقة توزيع الإشعاع الشمسي الوارد على المقطر، وكذا أهم الانتقالات الحرارية الداخلية والخارجية التي يمكن أن تحدث خلال عملية التقطير. الغطاء الزجاجي الذي يستقبل الإشعاع الشمسي الوارد له أكثر من دور، من بين هذه الأدوار كونه يحجز البخار داخل حيز مغلق، ويلعب دور المكثف هذه الميزة الذي يؤدي لرفع درجة حرارته مما يقلل من عملية التكثيف وبالتالي معدل التقطير ينخفض بصورة ملحوظة. حتى مع ارتفاع درجة حرارة المياه في الحوض لابد من وجود فرق كبير في درجتي حرارة بين الماء و سطح التكثيف هذا الفرق يولد انتقال للبخار وعليه إنتاج الماء المقطر. إن زيادة التوصيلية الحرارية للهواء المحصور بين الزجاج والماء سيؤدي حتما لتحسين أداء التقطير، لهذا من الناحية الاقتصادية وزيادة الكمية، يستحسن مضاعفة مساحة الغطاء الزجاجي بحيث احد أوجهه يتجه نحو الجنوب لغرض تكثيف واستقبال الإشعاع والوجه الثاني معد للتكثيف. بالنسبة لزاوية ميل الغطاء الزجاجي، فإن (Cooper, 1969) درس معدل إنتاج الماء التقطير بدلالة تغيرات قيم مختلفة للزاويا حيث أثبت أن معدل التبخير يتناقص مع تغير الزاوية في المجال 0-45°، ويرتفع عند الزاوية 60°، وينخفض مرة أخرى بعد القيمة 75°. معامل الحمل الحراري بين الزجاج والماء تختلف كتابة صيغة على حسب زاوية الغطاء الزجاجي كما هو مبين في الجدول.1.1.



الشكل 1.3. رسم بياني لمقطر شمسي تقليدي مزدوج ميل الغطاء الزجاجي.

جدول 1.1: صيغ معامل الحمل في حالة تغيرات زاوية الميل للغطاء الزجاجي (Cengel, 2006)

$30 < \theta$	$30 \geq \theta$	i
نستبدل g بالقيمة $g \cos(i)$ من أجل $Ra < 10^9$	يكتب دون تغير g	h_c

1.4.2. تأثير درجة حرارة المحيط:

درجة حرارة الوسط المنخفضة تعمل على خفض درجة حرارة الغطاء الزجاجي، وعليه الفارق $(T_e - T_v)$ في درجة الحرارة بين الماء والزجاج يرتفع، وبالتالي يحصل ارتفاع في الإنتاجية. عدة دراسات وبحوث أجريت لدراسة تأثير درجة حرارة الوسط على إنتاجية المقطر الشمسي، كالنموذج النظري المقترح من طرف (Malik, 1982) النتائج المتحصل عليها تثبت الزيادة الضئيلة بمقدار 3% من فعالية المقطرات الشمسية من أجل زيادة في درجة حرارة الوسط بمقدار 5°C (Nafey, 2000). هذه النتيجة تتوافق مع الأعمال المنجزة من طرف (Al-Hinai, 2002) والذي أكد بأن ارتفاع درجة حرارة الوسط بمقدار 10°C يؤدي لتحسين مردود الجهاز بحوالي 8.3%.

1. 4. 3. تأثير الإشعاع الشمسي:

يلعب الإشعاع الشمسي دورا أساسيا في عملية التقطير. وعليه عدة بحوث أنجزت لدراسة أثر هذا المعامل في التقطير الشمسي، تلك النتائج المتحصل عليها من طرف (Safwat, 2000) و (Rahbar, 2012) تثبت دون شك الزيادة المعتبرة من الماء المقطر الناتج بزيادة شدة الإشعاع الشمسي. بالإضافة للتجارب المنجزة في منطقة بوسماعيل-الجزائر، لإثبات أثر العوامل المناخية على المقطر الشمسي مزدوج الميل، نتائجه أدلت على الزيادة في الإنتاج بزيادة الإشعاع الشمسي.

1. 4. 4. تأثير سرعة الرياح:

هذا ما قام بإثباته (Cooper, 1969)، بحيث مردود التقطير يتزايد بمعدل 11.5% مع متوسط سرعة الرياح بين 0-2.15m/s، بينما يزداد بنسبة 1.5% من أجل قيم لسرعة الرياح في المجال من 2.15m/s إلى غاية 8.8m/s. وبالتالي على العموم السرعة الزائدة لرياح لها تأثير طفيف على معدل التقطير.

التيارات الهوائية الماسحة للغطاء الزجاجي من فوق تؤدي لانخفاض درجة حرارة الزجاج، مما يتسبب في تسريع عملية التكثيف، هذا يعني أن مردود التقطير يتزايد في حال كون سمك الماء في الحوض كبير نوعا ما. بينما، لا يظهر هذا التأثير على الناتج اليومي في حالة السمك الصغير للماء. سرعة الرياح فوق قيمة معينة (حوالي 5m/s) ليس لها تأثير كبير على المردود اليومي. في هذه الحالة، سرعة الرياح المتزايدة تؤدي إلى زيادة في الحمل الحراري بين الغطاء الزجاجي والهواء المحيط، لهذا السبب يحدث انخفاض محسوس لدرجة حرارة الزجاج، بالتالي ارتفاع في فارق درجة حرارة بين الماء والغطاء الزجاجي وعليه زيادة معتبرة في الناتج اليومي من الماء المقطر.

1. 4. 5. تأثير السعة الحرارية للماء في الحوض:

الدراسة التي قدمها (Cooper, 1969) على تأثير تغيرات سمك الماء المالح في الحوض، حيث وضح مدى التأثير البارز لاسيما في وجود العازل تحت الحوض وفي حال غيابه، وعند السمك الصغير للماء لا يظهر أي تأثير. وجدت عدة دراسات سعت لإثبات تأثير سمك طبقة الماء في الحوض على الإنتاج اليومي من الماء المقطر. النتائج المصرح عليها تؤكد تناقص مردود المقطر كلما زاد سمك الماء في الحوض. (Khalifa, 2009a)؛ (Phadatare, 2007)؛ (Tiwari, 2007)؛ (Tripathi and Tiwari, 2005) سعوا لدراسة تغيرات سمك طبقة الماء في المقطرات الشمسية على معامل انتقال الحراري والكتلي على أنماط من المقطرات الفعال منها وغير الفعالة.

1. 4. 6. تأثير زاوية ميل الغطاء الزجاجي:

عموما إنتاجية المقطرات الشمسية تعتمد على زاوية ميل الغطاء الزجاجي بشكل كبير، هذه الزاوية بدورها تعتمد على الوجهة الجغرافية للمقطر الشمسي، بالإضافة لخط العرض منطقة تواجده. على أساس هذه الاعتبارات سيستفيد المقطر عبر أيام السنة من كمية معتبرة من الإشعاع الشمسي. التجارب المنجزة من قبل (Tiwari, 2005)، بخصوص دراسة تأثير زاوية إمالة الغطاء الزجاجي على أداء التقطير الشمسي. حيث تنبأ بزيادة معتبرة في الناتج تقارب 63% من المردود اليومي للمقطر بإمالة الغطاء الزجاجي لوحده.

(Haini, 2002) أنجز دراسة نظرية لاستقصاء تأثير زاوية الميل على نواتج التقطير. تبرز نتائج المحاكاة العددية بأن الإنتاجية تتزايد في فصل الصيف مع تخفيض في زاوية ميل الغطاء الزجاجي، لكن تنعكس النتيجة في فصل الشتاء.

1. 5. بعض الأنماط الأخرى من المقطرات الشمسية:

توجد عدة أنواع من المقطرات الشمسية قام الباحثون بدراستها وتحسين أدائها نسرد منها على سبيل الذكر لا الحصر؛ المقطرات شمسية أحادية زاوية ميل الغطاء الزجاجي، مقطرات متعددة الفعل،

مقطرات شمسية بفعل النسيج الفتيل الماص، وتصميمات هجينة. تلك المقطرات المميزة بالنسيج المفتول الماص، يغمس جزء منها داخل الخزان من أجل الاستفادة من عملية انتقال الماء بواسطة الخاصة الشعيرية. لكن (Janarthanan, 2006) اعتبر تصميمًا جديدًا لمقطر شمسي بالفيلم الشعيري. تم من خلال هذا العمل تحديد تأثير دمج كلا من تدفق الماء المالح عبر النسيج وتدفق المياه عبر الغطاء الزجاجي وذلك لاعتبارات التآلية الخاصة الشعيرية الجيدة، وكذا العوامل المناخية، وقوة الامتصاص الإشعاعي. تم تطوير هذه النظرية عن طريق التجريب في الهند بتاريخ مارس 2004. أما (Fath and Elsherbiny, 1993) أنجز تحليلًا لتأثير فعالية إدماج مكثف إضافي للمقطر الشمسي أحادي الميل، وهو عبارة عن توصيل مباشر لخلية تكثيف المضللة، يتم انتقال البخار إليها عن طريق فتحة أعلى الخلية. التجارب تمت بمقارنتها مع المقطر أحادي الميل حيث أكد زيادة بحوالي 70% من الناتج اليومي. علاوة على ذلك (Boukar and Harmim, 2001) أثبتوا تجريبًا مدى فعالية المقطر الشمسي العمودي بخاصية سريان ماء التبخير على سطح قماش إسفنجي. وأشاروا إلى أن معدل الإنتاج يتضاعف بصورة تلقائية مع الظروف المناخية ودرجة حرارة لمنطقة صحراوية، بالإضافة لدرجة حرارة الغطاء الزجاجي، كما أظهرت الدراسة على مدى 4 أشهر بأن إنتاجية مثل هذا المقطر العمودي تتفاوت من 0.5 إلى 2.3kg/m² من مساحة القطعة الأسفنجية.

(Chaibi, 2000) أنجز دراسة عديدة على البيت الزجاجي معد للزراعة مضافًا إليه مقطر شمسي مائل في سقفه جهة الإشعاع الشمسي، حيث المقطر يتألف من مواد شفافة للإشعاعات الواردة. من خلال النتائج المصرح إليها فعليه هذا النموذج المقترح يصلح استخدامه في المناطق ذات المناخ الجاف من أجل تكييف الظروف المناخية المساعدة لنمو النباتات في المناطق التي تفتقر للرطوبة، وإنتاج الماء المقطر لاستخدامه في عملية السقي. تقدر السعة الإنتاجية المتحصل عليها من هذا النموذج حوالي (1-1.6) kg/m²/J وبالتالي، يعد هذا النموذج المقترح من الأنظمة المكثفة ذاتيًا لإنتاج المياه العذبة لاستغلالها في ري المحاصيل الزراعية.

(Tanaka, 2000) أنجز دراسة تطبيقية لتصميم التركيبي بين خلية مستطيلة للتقطير ذات بعد بيني بين صفيحتين 5mm، كما يحتوي على قطعة من النسيج مثبتة على اللوح الساخن للخلية مع مقطر شمسي أحادي الميل. أخلصت نتائج النظرية على الزيادة التي فاقت التوقعات وهذا كلما زادت عدد الخلايا. نظريا يصل الإنتاج المقطر المقترح أكثر من 15kg/m²/d من أجل 10 خلايا ذات بعد بيني 5mm على اعتبار مقدار الإشعاع الشمسي يصل 22.4MJ/m²/d

فكرة هذا التصميم لـ (El-Bahi, 1999) تأتي من ازدياد معدل البخار المحصور داخل المقطر الشمسي مما يولد ضغطا زائدا. ولتقليل من أثر هذه الظاهرة يفتح شق صغير لتمرير البخار لغرفة تكثيف ثانية، معزز بمكثف إضافي وعاكس للإشعاع مما يعطي له ميزة تحسين الأداء للجهاز. يصل معدل الإنتاج اليومي لهذا التصميم حوالي 7L/m²/d حيث تنخفض فعاليته إلى غاية 70% حينما يعمل بإضافة المكثف، لكن ترتفع إلى غاية 75% حالما نتخلى عن المكثف.

الهدف الرئيسي من العمل الذي أنجزه (Zeroual, 2011) هو تعزيز المردود اليومي للمقطر الشمسي البسيط ذي ميلين للغطاء الزجاجي من جلال تحسين أداء المكثف. وقد تحقق ذلك عن طريق تبريد أحد سطوحه المكثفة. أجريت على إثر ذلك سلسلتين من التجارب، في المجموعة الأولى تم تبريد الغطاء الشمالي بالماء المناسب على كامل سطحه الخارجي، لهذا تعززت الإنتاجية بنسبة 11.8%. السلسلة الثانية تمثلت في خفض درجة حرارة الزجاج الشمالي وأكد ذلك من خلال وضع ظل متقطع على فترات (-12h00 14h00). تعود نسبة التحسين بهذا الإجراء حوالي 2.94%.

(Bechki, 2010) أنجز عملا تجريبيا على المقطر الشمسي البسيط مزدوج ميل الغطاء الزجاجي بجنوب الجزائر. على أساس تظليل جزئي لفترات متقطعة لجانب من جوانب الغطاء الزجاجي لتخفيض من درجة حرارته وتحسين أداء التكثيف عليه. أجريت سلسلة من التجارب أولها تمثلت في تأثير الظروف المناخية على التقطير حيث يصل الناتج اليومي من الماء المقطر إلى 6.01L/m²/d، تم تحسين هذه القيمة في السلسلة الثانية وذلك بتعزيز قاعدة

المقطر وجوانبه من مادة 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 وعليه هذا الإجراء أعطى تحسين بمقدار 12% من الناتج اليومي.

النموذج المقترح من طرف (Bouchekima, 2001) هو تطوير وامتداد لأعمال سابقة منجزة من طرف الباحث (Ouahes, 1987). تم صياغة معادلات الانتقال الحراري والكتلي داخل خلية التقطير للمقطر الشمسي بالفيلم الشعيري، كما أجريت عليه تجارب تحقيقه لإثبات الزعم النظري. أثبتت النتائج التجريبية المتحصل عليها تفوق مثل هذا النموذج على النموذج التقليدي بالحوض الأفقي. كما وجد من جهة أخرى بأن الشاش المستعمل في هذه التجارب يصلح لهذا الغرض والمتمثل في تجانس الفيلم الشعيري الرقيق للماء عبر كامل الصفحة.

الأعمال التي أنجزها (Marif, 2008) تجريبيا على المقطر الشمسي بالفيلم الشعيري للماء، على مستوى جامعة قاصدي مرباح ورقلة، مخبر تطوير الطاقات الجديدة والمتجددة في المناطق الجافة والصحراوية. توضح جليا التوافق النظري مع القياسات التجريبية فيما يخص مقطر بطابق واحد والذي برهن على هذا التوافق الباحث (Zerrouki, 2014)، وتحقيق مبدأ الاستفادة من الطاقة الضائعة من كل طابق لإعادة تدويرها في الطابق الموالي. يصل معدل إنتاجية الجهاز بعدة طوابق إلى حوالي $2.10\text{kg}/\text{m}^2$.

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 $5.5\text{kg}/\text{m}^2/\text{d}$ ، إلى غاية $5.9\text{kg}/\text{m}^2/\text{d}$ في حال مقطر يحتوي على مكثف. ترتبط فعالية هذا الجهاز على تغيرات شدة الإشعاع الشمسي، حيث تبلغ 57%.

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

1.6. الخلاصة:

في هذا الفصل قمنا بسرد مختلف النماذج والتصميم التي لها رابط صلة بالفكرة المجسدة من طرفنا، ومن خلال النتائج الايجابية المتحصل عليها تجريبيا ونظريا والتي تفسر مدى فعالية وكفاءة عملية ربط وإقحام مكثفات إضافية(غير ناشطة) لمضاعفة نواتج التقطير لمقطرات شمسية تقليدية ذات مردود ضعيف. في **الجدول.1. 2.** يتم سرد ملخص عن تلك النماذج المذكورة سالفًا وبيان مجمل العوامل والظروف المساهمة في نجاح فكرة التصميم.

جدول.1. 2: عرض مختلف نماذج من المقطرات الشمسية مع إبراز الفعالية الطاقوية لكل نموذج.

الرقم المرجعي	نوع الإجراء	مجال شدة الإشعاع الشمسي (W/m ²)	المردود اليومي من التقطير	الفعالية الكلية %	الرقم
Janarthanan, 2006	نظري / تجريبي	1000 ≤	-	-	1
Fath, 1993	نظري / تجريبي	700 ≤	5kg ≤	70	2
Boukar, 2001	تجريبي	600~1000	0.5~2.3 kg/m ² /j	-	3
Chaibi, 2000	تجريبي	600~1000	1~1.6kg/m ² /j	-	4
Tanaka, 2000	نظري / تجريبي	200~1000	15.4kg/m ² /j	162	5
El-Bahi, 1999	تجريبي	800~1000	7L/m ² /j	70	6
Bechki, 2010	تجريبي	800 ≤	6.01kg/m ² /j	33.7	7
Bouhekima, 2001	تجريبي	500~600	0.5~0.8 kg/m ² /j	-	8
Ahmed, 1988	تجريبي	800 ≤	5.5~5.9 kg/m ² /j	60	9
Hassan, 2002	نظري	800~1000	7.437 kg/m ² /j	55	10

الفصل الثاني الإشعاع الشمسي

2. مقدمة:

الطاقة الشمسية هي عبارة عن طاقة كهرومغناطيسية ناتجة عن الأشعة المنبعثة من كوكب الشمس. بالرغم من المسافة الشاسعة بين الأرض والشمس والتي تقدر بحوالي 150 مليون كيلومتر غير أن القدرة الإشعاعية تصل إلى 1000W/m^2 تكون على شكل ضوء مرئي الذي يصل بعد 8 دقائق وحزمة ما تحت الحمراء. هذه الإضاءة هي مصدر العديد من منابع الطاقة الحفزية المتحجرة منذ عصور جيولوجية مضت مثل الكربون، البترول والغاز الطبيعي وبالإضافة للطاقات الطبيعية المتجددة المباشرة وغير المباشرة مثل طاقة الرياح وكذا الطاقة الناتجة بفعل الهيدروليكا.

نصف الكرة الأرضية يستقبل في كل لحظة طاقة تعادل 178.10^{15}W (Perrin, 1982). على شكل إشعاعات شمسية ذات طول موجة تقريبا محصورا بين $0.25\ \mu\text{m}$ - $5\ \mu\text{m}$ ، بينما 40% من هذه الطاقة الواردة تنتشر نحو الفضاء الخارجي بواسطة الغيوم، وغازات الغلاف الجوي.

2. الإشعاع الشمسي:

2.1. الإحداثيات الأرضية:

كل نقطة من سطح الأرض معلمة بإحداثيات هندسية خط الطول خط العرض والارتفاع. (Bernard, 1980 et Perrin, 1982)

1. خط الطول L : هي الزاوية التي يصنعها مستوى الزوال المار عبر المنطقة مع مستوى الزوال الافتراضي المار بخط غرينتش كمبدأ إحداثيات 0° .
2. خط العرض ϕ : الزاوية المشكلة بين قطر الواصل لمركز الأرض مع مستوى خط الاستواء.
3. ارتفاع المنطقة h : هي المسافة بين نقطة من الأرض مع مستوى المتوسطي لسطح البحر عادة يحسب بوحددة المتر.

2.2. الإحداثيات الفلكية للشمس:

2.2.1. الانحراف الشمسي:

الأرض تدور حول الشمس عبر مسار إهليجي موجود ضمن مستوى يدعى " مستوى الإهليجي". يمثل الانحراف الشمسي، الزاوية التي يصنعها الناظم لهذا المستوى مع محور الدوران بالنسبة للأرض. يتغير على مدار السنة من خلال العلاقة التالية:

$$(1.2) \delta = 23.45^\circ \cos(30 N_m - 202 + N_{jm})$$

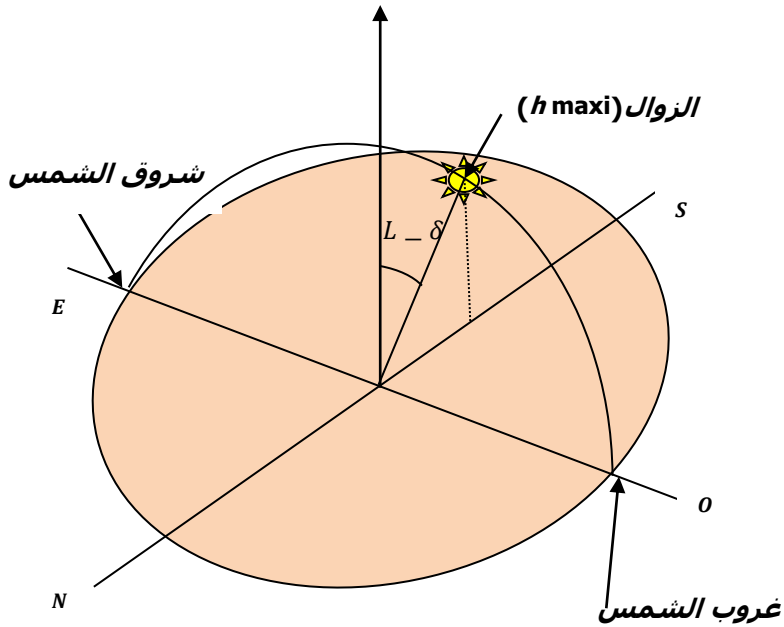
يأخذ القيمة العظمى ($+23.45^\circ$) في 21 جوان، وله قيمة دنيا (-23.45°) عند 21 ديسمبر.

حيث N_m يمثل عدد شهور السنة
 N_{jm} يمثل رقم اليوم في الشهر.

من أجل إيجاد أفضل تقريب للانحراف الشمسي يستحسن استخدام نشر تايلور، حتى الدرجة التوافقية الثالثة، الدقة المتاحة هي من الدرجة الثانية حسب (Communay, 2002):

$$(2.2) \delta = \begin{bmatrix} 0.3328 - 22.984 \cos(0.984 N_m) - 0.3499 \cos(1.968 N_m) \\ -0.1398 \cos(2.952 N_m) + 3.78772 \sin(0.984 N_m) \\ -0.03205 \sin(1.968 N_m) - 0.07187 \sin(2.952 N_m) \end{bmatrix}$$

المسنوي العمودي



الشكل 2.1. الحركة الظاهرية للشمس مع إبراز خط الطول

2.2.2. الزاوية الزمنية (ω):

يمكن تحديدها من خلال دوران الأرض حول محورها وتتعلق مباشرة بالزمن الحقيقي للشمس بالعلاقة التالية:

$$(3.2) \omega = \left(\frac{\pi}{12}\right) (TSV - 12)$$

حيث $(min) = 15(TSV - 12)$

2.2.3. الزمن الشمسي المتوسط (TSM) والحقيقي (TSV):

من أجل الانتقال من الزمن المحلي إلى الزمن المتوسط يفترض استعمال المعادلات التالية حسب (Duffie et Beckman, 2013)

$$(4.2) \quad TSM = \begin{cases} TU + \frac{L}{15} ; (*) \\ TU - \frac{L}{15} ; (**) \end{cases}$$

حيث TU الزمن المحلي لخط الزوال المار عبر مخبر غرينتش (*Greenwich*). (*) بالنسبة لخطوط الطول جهة الشرق، (**) خطوط الطول جهة الغربية لخط غرينتش.

(*TSV*) عبارة عن مجموع الزمن المتوسط مع معادلة التصحيح الزمني Et نعرفه كما يلي:

$$(5.2) \quad TSV = TSM + Et$$

TSV يحسب بالدقيقة و Et المعادلة الزمنية (تقويم الزمن خلال السنين الكبيسة).

2.2.4. المعادلة الزمنية (Et):

نفترض Et دورية خلال السنة يمكن حساب الحدود الثلاثة الأولى للدالة التوافقية حسب نشر سلسلة فوري (Duffie et Beckman, 2013) بالشكل التالي:

$$(6.2) \quad Et(\text{degré}) = \left[\begin{array}{l} 229.1 (0.000075 + 0.001868 \cos(X) - \\ 0.032 \sin(X) - 0.014615 \cos(2X) - 0.04089 \sin(2X)) \end{array} \right]$$

على اعتبار

$$X = (N_j - 1) \left(\frac{360}{265} \right)$$

في غالب الأحيان يمكن استعمال صيغة تقريبية وبسيطة كما يلي:

$$(7.2) \quad Et(\text{min}) = 9.9 \sin \left[2 \left(N_j \left(\frac{360}{365} \right) + 100 \right) - 7.7 \left(N_j \left(\frac{360}{365} \right) - 2 \right) \right]$$

2.3.2. الارتفاع الشمسي (h):

الارتفاع h للنقطة هي الزاوية $\hat{A}A$ ذات القطر المرئي للملاحظ بالنسبة لمستوى الأفقي هذا الارتفاع يأخذ القيمة من 0° - 90° وذلك بالنسبة للمستوى الأفقي كما أنه موجب القيمة فوق هذا المستوى وسالب القيمة تحته.

2.4. حساب الإحداثية السلمية للإشعاع:

من خلال الحسابات المذكورة في الملحق. A ينتج لدينا الإحداثية السلمية للإشعاع الوارد على سطح التقاط كما يلي:
(8.2) $\sin(h) = \sin(\delta) \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\omega)$

2.5. الإشعاع الشمسي الوارد للأرض:

الغلاف الجوي لا يسمح بمرور جميع الأشعة الواردة من الشمس لكن معظمها ينعكس بفعل عدة عوامل. نذكر من بينها الذي تخترق الغلاف الجوي:
-الأشعة المباشرة: هي الأشعة التي يمكنها اختراق الغلاف الجوي دون تعرضها لأي تغييرات.
-الأشعة المنتشرة: هي الأشعة التي تنعكس بفعل جزيئات العائمة في الجو منها الصلبة أو السائلة. ليس لها منحى واتجاه معين.
من هذه الإشعاعات تنتج لدينا الأشعة الكلية التي تمثل مجموع الأشعة المباشرة والمنتشرة معا.

2.5.1. ثابت الشمسي على مستوى الغلاف الجوي:

يمثل ثابت الشمسي قيمة تدفق الطاقة الشمسية التي تتلقاها وحدة متر مربع من مساحة على مستوى الغلاف الجوي. في سنة 1980 أخذ هذا الثابت قيمة $I_0 = 1367 \text{ Wm}^{-2}$ (Bernard, 1980)، حيث أنه لا يتغير على طول أيام السنة وذلك لأن المسافة الموجودة بين الشمس والأرض تقريبا ثابتة. المقدار التصحيحي للثابت يعطى بالشكل التالي:

$$(9.2) I_{T-S} = 1 + 0.034 \cos\left((N_j - 2)\left(\frac{360}{365}\right)\right)$$

يمكن الآن استنتاج القيمة التصحيحية لثابت الشمس بالشكل التالي:

$$(10.2) \quad I_c = I_0 I_{T-s}$$

2. 6. الإشعاع الوارد على سطح مائل:

2. 6. 1. الإشعاع الشمسي المباشر:

عبارة عن مسقط المركبة النظامية على السطح المائل حسب (Communay, 2002):

$$(11.2) \quad I_N = \rho I_0 I_{T-s} \exp\left(\frac{-1}{6 \sin(h+2)}\right)$$

يكون لدينا:

$$(12.2) \quad I_D = I_N \cos(i)$$

حيث: I_N يمثل المركبة النظامية للإشعاع المباشر و i هي زاوية الورود للإشعاع و ρ سماحية الرؤية (*L'albédo*).

2. 6. 1. 1. صيغة *Kasten* لحساب مقدار الإشعاع الشمسي الكلي الوارد:

يمكننا بهذه الصيغة حساب قيمة الإشعاع المباشر والمنتشر وهي أكثر ملائمة من الصيغة السابقة وذلك بإدخال كلا من معامل نقاوة الجو T_L والمسار المرئي للغلاف الجوي m_h ، الذي يحسب بدلالة الارتفاع الشمسي h وارتفاع عن مستوى سطح الأرض للموقع Z بالكيلومتر عن طريق المعادلة التالية (Communay, 2002):

$$(13.2) \quad m_h = \frac{1}{\sin(h)} (1 - 0.1 Z)$$

الصيغة السابقة صالحة شريطة أن يكون معامل الاضطراب للغلاف الجوي يأخذ الصيغة التالية:

$$(14.2) \quad T_L = 2.5 + 16 \beta_A + 0.5 \ln(\omega)$$

يمثل كلا من β_A معامل أنغيشتروم (*Angström*) و ω ارتفاع الماء المكثف يأخذان القيم التالية حسب طبيعة الحالة الجوية كما هو مبين في الجدول التالي:

جدول 2.1. قيم معامل الاضطراب ومعامل ارتفاع الماء المكثف.

سماة صافية	سماة متوسطة	سماة مضطربة	
0.05	0.1	0.2	β_A
1 cm	2 cm	5 cm	ω

معامل الاضطراب الجوي لانك (*Linke*)، يعرف كما يلي:

$$(15.2) \quad T_L = T_0 + T_1 + T_2$$

كون T_0 يمثل الاضطراب الخاص بامتصاص الغازات. كابدرو (*CAPDEROU*) اقترح هذه الصيغة على الشكل:

$$(16.2) \quad T_0 = \left[\begin{array}{l} 2.4 - 0.9 \sin(i) + 0.1 (2 + \sin(i)) A_{he} \\ -0.2 Z - (1.22 + 0.14 A_{he}) (1 - \sin(h)) \end{array} \right]$$

حيث

$$(17.2) \quad A_{he} = \sin\left(\frac{360}{365}\right) (N_j - 121)$$

T_1 : هو عبارة عن اضطراب الموافق لامتناس للغازات الغلاف الجوي، الانتشار الجزيئي. رايلي (*Rayleigh*) أعط الصيغة التقريبية التالية:

حيث $(\bar{I}_0^*)_{ext} = 1353(1 + 0.033 \cos(0.984 N_j)) W m^{-2}$ يمثل ثابت الشمسي المتوسط السنوي بالنسبة للإشعاع الشمسي المباشر على حدود طبقة الغلاف الجوي.

شدة الإشعاع الكلية الواردة على سطح أفقي من الأرض حيث $i = 0^\circ$ يمكن حسابه عن طريق العلاقة التالية:

$$(22.2) \quad G_0^* = [1270 - 56 T_L](\sin(h)) \frac{T_L+36}{33}$$

2.6.1.2. الإشعاع الشمسي المنتشر بالنسبة لمستوي أفقي $i = 0^\circ$:

الصيغ الشبه التجريبية التالية أنشئت من خلال القياسات للإشعاع المنتشر بواسطة جزيئات غازات العائمة في الغلاف الجوي بالإضافة إلى جزيئات الغبار. بالنسبة للمناطق المعتدلة المناخ وذات علو منخفض عن مستوى البحر يمكن استعمال العلاقة التالية:

$$(23.2) \quad D_0^* = C [\sin(h)]^{0.4} W m^{-2}$$

يختلف العدد C باختلاف حالة الجو حسب الترتيب التالي $C = 187$ الجو عكر $C = 125$ الجو متوسط و $C = 87$ الجو صاف.

توجد صيغ أخرى شبه تجريبية تسمح بحساب شدة الإشعاع الشمسي المنتشر من الفضاء نحو الأرض حيث المعادلة التالية تأخذ بعين الاعتبار قيمة معامل الاضطراب الجوي T_L

$$(24.2) \quad D_0^* = \frac{(\bar{I}_0^*)_{ext}}{25} [\sin(h)]^{1/2} [T_L - 0.5 - [\sin(h)]^{1/2}]$$

2.7. حساب مقدار الأشعة الشمسية المنتشرة:

نفترض مستوي (P) مستقبلاً للإشعاع ينحني عن الأفق بزاوية i حيث زاوية γ توجيه المستوي (P) ليس لها اعتبار كبير بالإضافة لانتشار الإشعاع يكون موحد الاتجاه. المستوي (P) يستقبل من أجل ميل ثابت ($i = cte$) الشكل. 2.3.:

$\downarrow K$ جزء من الأشعة المنتشرة للغلاف الجوي نحو الأرض.

$\uparrow K$ جزء من الأشعة الشمسية المنتشرة من الأرض نحو الفضاء. هذه الأشعة تشبه الطاقة الكلية الواردة والتي تصل سطح الأرض حسب التعريف التالي: $K \uparrow a_1 G_0^*$ وهذا بإهمال فعل الارتدادات

المتكررة للأشعة. المستوى (P) ذو ميل i بالنسبة للمستوي (H) يستقبل كليتا إشعاع شمسي منتشر بالشكل التالي: $D_i^* = K \downarrow$ حيث $D_0^* + K \uparrow a_1 G_0^*$

$$K \uparrow = \frac{1 - \cos(i)}{2}; \quad K \downarrow = \frac{1 + \cos(i)}{2}; \quad K \downarrow + K \uparrow = 1$$

شدة الإشعاع الشمسي المنتشر المسلط على مستوي مائل بزاوية عن الأفق تعطى بالعلاقة التالية:

$$(25.2) \quad D_i^* = \frac{1 + \cos(i)}{2} D_0^* + \frac{1 - \cos(i)}{2} a_1 G_0^*$$

يمكن الآن حساب الطاقة الكلية التي تصل مستوي يميل عن سطح الأرض بزاوية معينة وهي عبارة عن مجموع الأشعة الشمسية المباشرة والمنتشرة من الفضاء نحو الأرض:

$$(26.2) \quad G_{i,\gamma}^* = S_{i,\gamma}^* + D_i^*$$

2. 8. الخلاصة:

في هذا الفصل قدمنا النموذج النظري الذي اعتمد في دراستنا على خلفية ذكر مجمل الإحداثيات والزوايا التي تدخل في حساب وتقدير الإشعاع الشمسي، وهو النموذج الأنسب والأقرب من حيث تقريب الصورة الواقعية من الواقع الرقمي. مع التذكير بأن هذا النموذج يعالج بالأخص الحالات التي يكون فيها الجو بدون سحب وهو الأمر الذي عليه حال منطقة الدراسة حيث يتوقع خلال أيام السنة أجواء صافية خالية من الأمطار. مع أخذ بعين الاعتبار حالات تعكر الجو بالتيارات الهوائية الموسمية.

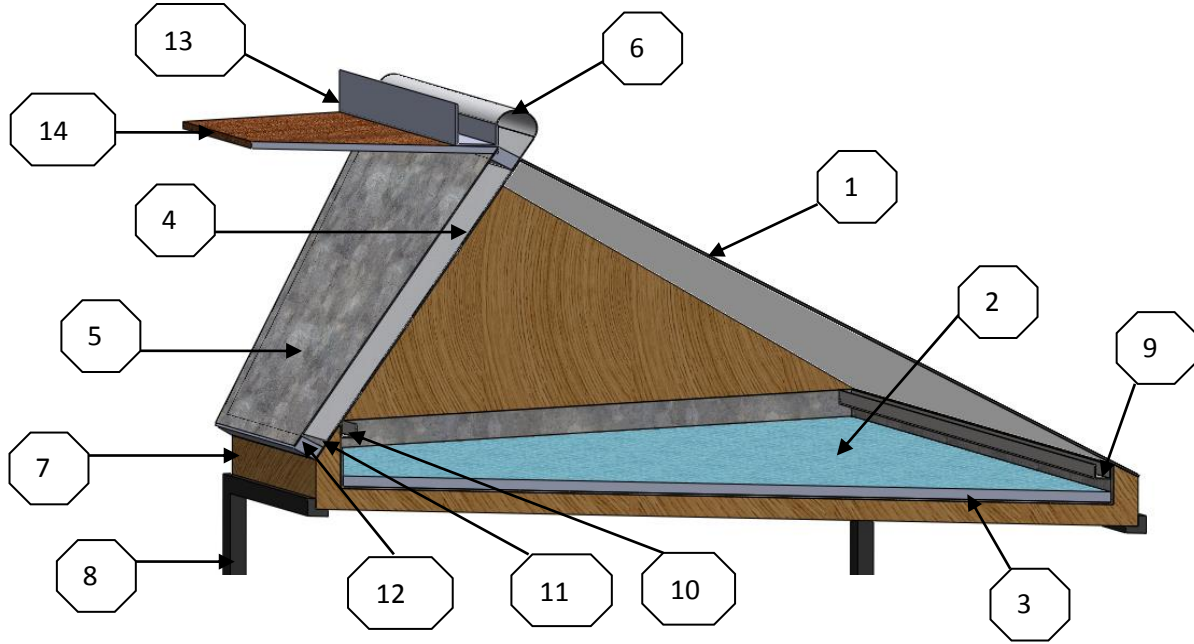
الفصل الثالث المحاكاة العددية

3.1. مقدمة:

التحويل الحراري للإشعاعي الشمسي يمكن استخدامه في عدة مجالات من بينها التقطير باستعمال الطاقة الشمسية، الذي تبقى فاعليته ضعيفة مقارنة بالأساليب الحديثة مثل الأسموز العكسي، والتقطير الغشائي... إلخ. لذا عدة دراسات نظرية وأخرى تجريبية تجرى لغرض تحسين مردود أجهزة التقطير الشمسية التقليدية.

في هذه الحالة الدراسة العددية التي أجريناها على المقطر الشمسي التقليدي ذو ميلين، بغرض تحسين أحد عناصره الأساسية ونخص بالذكر سطح التكثيف الموجه نحو الشمال الجغرافي والمائل بزاوية تقدر بحوالي 60° ، هذه الزاوية تحصر مساحة الظل الذي يرسم ميلان إلى أقل مقدار على الحوض التبخير كما سنبينه لاحقاً.

3.2. وصف الجهاز:



الشكل 3.1: مقطع عرضي لجهاز التقطير الشمسي المعدل مع مكوناته الأساسية.

يوصف الجهاز كما هو مبين في **الشكل 3.1**. على أنه يتكون من العناصر الأساسية التي تدخل في تكوينه وهو على النحو التالي:
1: الغطاء الزجاجي حيث يتميز بخاصية إمرار الأشعة الشمسية دون

الأشعة الحمراء، كما نعتبره مكثف جيد لبخار الماء؛ 2: طبقة الماء المالحة للتبخير في الحوض؛ 3: حوض التبخير وهو عبارة عن صفيحة معدنية مطلية باللون الأسود؛ 4: الصفيحة مكثف4-مبخر تلعب دورين في آن واحد؛ 5: مكثف5؛ 6: قطعة نسيج طبي بمثابة موزع تجانسي لمياه التغذية على كامل الصفيحة؛ 7: الإطار الخشبي المحاط بالجهاز؛ 8: سند الذي يرتكز عليه الجهاز؛ 9: قناة تجميع ماء التقطير الناتجة عن الغطاء الزجاجي؛ 10: قناة لجمع ماء التقطير الناتج عن الصفيحة مكثف4-مبخر؛ 11: قناة صرف المياه الشديدة الملوحة؛ 12: قناة تجميع نواتج التقطير من المكثف5؛ 13: خزان ثانوي لتغذية المقطر بالفيلم الشعيري؛ 14: مظلة شمسية لتظليل المكثف5. نذكر في الأخير بأن هذا الجهاز هو تركيب ودمج لجهازي تقطير ليعملا وفق لمبدأ الاستفادة من الحصيلة الطاقوية الضائعة من أحدهما لاستغلالها مرة أخرى.

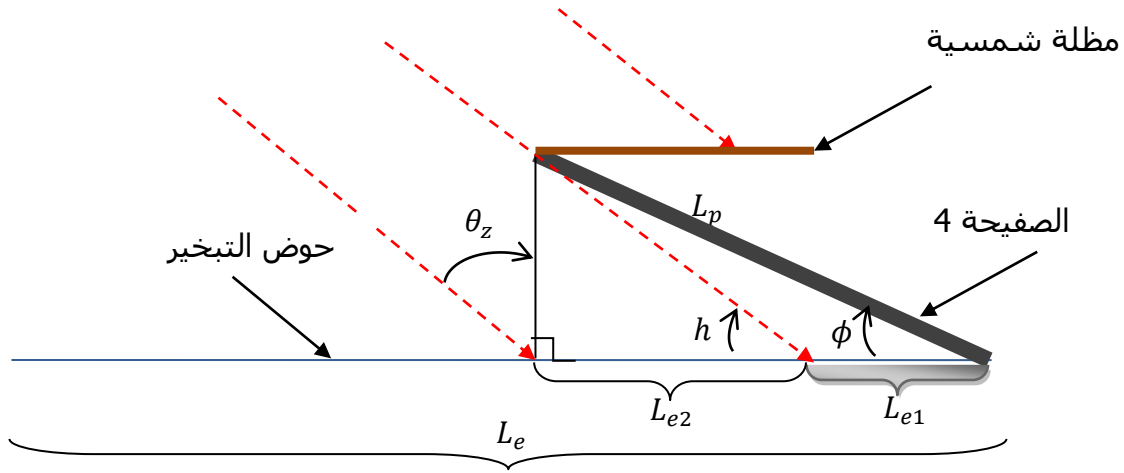
يتمثل مبدأ عمل هذا الجهاز فيما يلي؛ حيث الإشعاع الشمسي الوارد يلتقط على سطح الغطاء الزجاجي من ثم يتجزأ إلى ثلاثة أقسام غير متساوية. الجزء الذي ينعكس يمثل الكمية الأقل، بينما يمتص اللوح الزجاجي كمية بفعل العطالة الحرارية، في حين يمرر الغطاء الزجاجي الكمية الأكبر من الضوء. هذه الأشعة التي تصل الحوض يحدث لها مثلما حدث على مستوى الزجاج، غير أنه لا يوجد تمرير للضوء كون الحوض ماص للأشعة. يتلقى الماء المالح في الحوض حرارة نابعة عن الصفيحة المبخرة ليصل إلى حالة التبخر. بخار الماء المتصاعد يتكاثف على الأسطح الباردة ليتحول إلى ماء مقطر. بالإمكان الاستفادة من الحرارة الكامنة الناجمة من عملية التكثيف على مستوى المكثف4 لتسخين فيلم رقيق من الماء المالح المناسب بواسطة قطعة النسيج الطبي. بخار الماء الناتج يغادر قطعة النسيج نحو المكثف5.

سنبين في هذه الدراسة فعالية ومردود الجهاز الجديد من حيث الزيادة في كمية الناتج اليومي والسنوي من الماء المقطر ومقارنة هذه الكمية مع الأجهزة الشمسية التقليدية المعروفة. وعليه يرتكز مبدأ عمل الجهاز على مساحة سطح التقاط الإشعاع الشمسي في

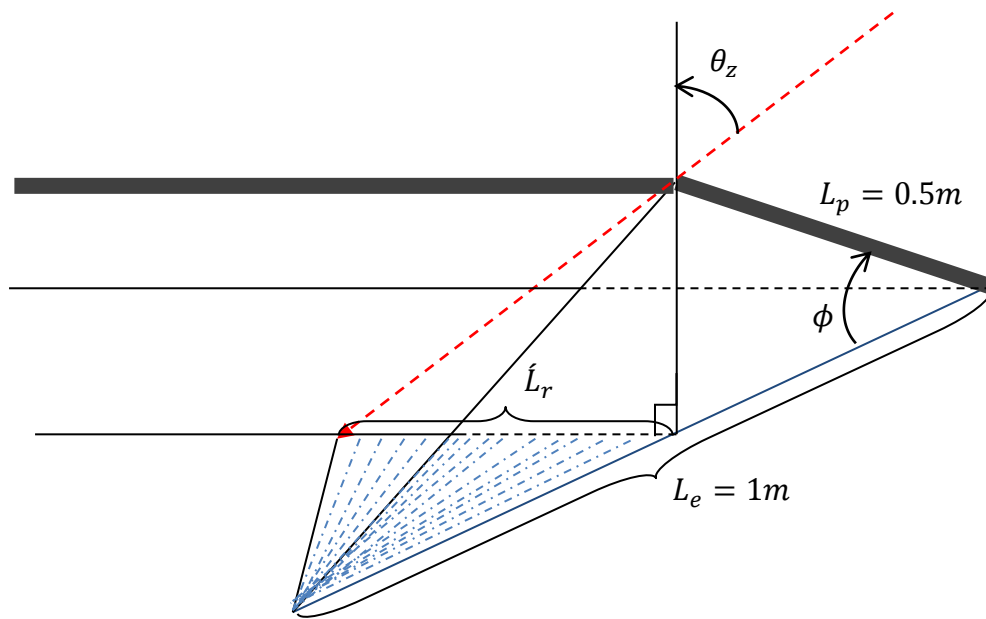
الحوض كلما كانت هذه المساحة كبيرة وغير مظلة كلما تحصلنا على أعلى كمية بخار معتبرة. للحصول على هذه المساحة يجب أخذ بالحسبان زاوية ميل الصفيحة 4.

3. 2. 1. حساب المساحة الفعلية للحوض:

يمثل الشكل 3. 2. أ والشكل 3. 2. ب أهم الزوايا والمساحات التي يرسمها ظل الصفيحة 4 على الحوض ومن تم يمكن استنتاج الصيغة المبسطة لمساحة الفعلية لالتقاط الإشعاع الشمسي.



الشكل 3. 2. أ. الزوايا والأبعاد المهمة التي يرسمها شعاع الشمس الوارد على سطح حوض التبخير.



الشكل 3. 2. ب إبراز الظل الذي يرسمه الجدران الجانبية.

مساحة المثلث DGE (أنظر الشكل. 3.3)

$$(1.3) S_{otr} = 0.5 (L_e - L_p \cos(\phi)) \frac{L_p \sin(\phi)}{\tan(\theta_z)}$$

مساحة المستطيل $ABCD$ (أنظر الشكل. 3.3)

$$(2.3) S_o = (L_p \cos(\phi) - \hat{L}_r \cotan(\phi)) L_r$$

وعليه يكتب \hat{L}_r من الشكل:

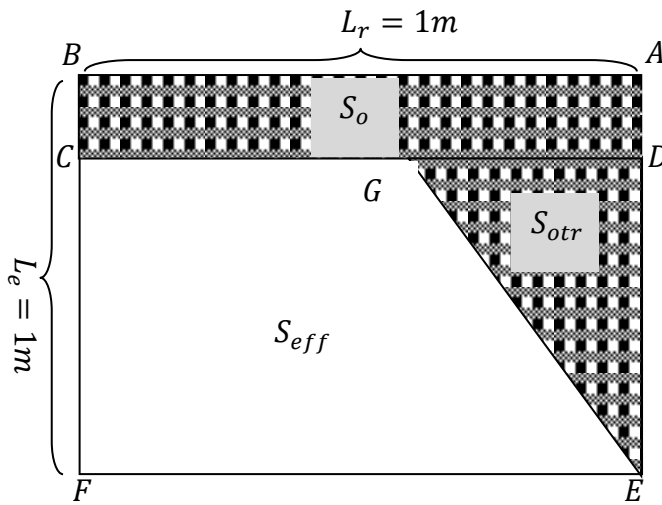
$$(3.3) \hat{L}_r = L_p \sin(\phi)$$

العبرة النهائية للمساحة الفعلية تكتب من الشكل:

$$(4.3) S_{eff} = S_b - |S_o + S_{otr}|$$

يمثل L_e ، L_r و L_p قياسات كلا من طول الحوض، عرضه وارتفاع الصفيحة المكثف-4-المبخر

على شرط كون $S_b \geq |S_o + S_{otr}|$ ، بحيث $S_{omb} = |S_o + S_{otr}|$



الشكل.3.3 مظهر المساحة الفعلية للالتقاط الإشعاع الشمسي الملقى على الحوض.

3.3. إنشاء المعادلات الطاقوية:

3.3.1. الإشكالية الفيزيائية:

تكمل الإشكالية الفيزيائية في هذه الدراسة على مدى استغلال للحرارة المتسربة من خلال الغطاء الزجاجي الموجه نحو الشمال الجغرافي. ولتخفيض من هذه التسريبات أجرينا استبدالاً

للغطاء الزجاجي بالمقطر الشمسي بالفيلم الشعيري. هذا الأخير له ميزات عديدة كونه يقوم بتبريد المكثف4 من جهة، في حين الكمية الطاقوية الضائعة من عملية التبريد يمكن استغلالها مرة أخرى لتبخير فيلم رقيق من الماء المالح لنحصل على مرة ثانية على ماء مقطر.

3.3.2. فرضيات وتسهيلات:

لمعالجة المسألة الفيزيائية يمكن وضع فرضيات تبسيطة التالية:

1. درجات الحرارة لمكونات الجهاز تؤخذ كدرجات نظامية وموحدة على جميع مساحة سطح التبادل الحراري.

2. نعتبر كتلة المائع لا تتغير مع درجة الحرارة $\frac{\partial M_i}{\partial T} = \frac{\partial(\rho_i V)}{\partial T} \approx ct^e$

3. التبادلات الحرارية والكتلية مباشرة تتم بين سطوح التبخير نحو سطوح التكثيف.

4. نعتبر الحواجز الجانبية جدراناً كاظمة (عازلة) للحرارة.

5. التسريبات الحرارية في الحوض تتم اتجاه أسفل الحوض.

6. المنطقة المسدودة داخل المقطر نعتبرها تمتلئ تماماً ببخار الماء المتصاعد من الحوض، والضغط يساوي إلى الضغط الجوي تقريباً.

7. التدفق الإشعاعي المنتشر منتظم في جميع الاتجاهات.

كما يمكن إهمال كلا من:

8. الحرارة المحسوسة المصحوبة للمياه التكثيف الخارج مع الماء المقطر.

9. الإشعاعات المنعكسة والمتكررة داخل المقطر.

10. تسريبات بخار الماء من الجهاز.

3.3.3. نظام المعادلات الطاقوية:

من خلال الفرضيات السابقة يمكن وضع معادلات التوازن الحراري لكل مستوى حراري بالشكل التالي:

3.3.3.1. على مستوى الغطاء الزجاجي (1):

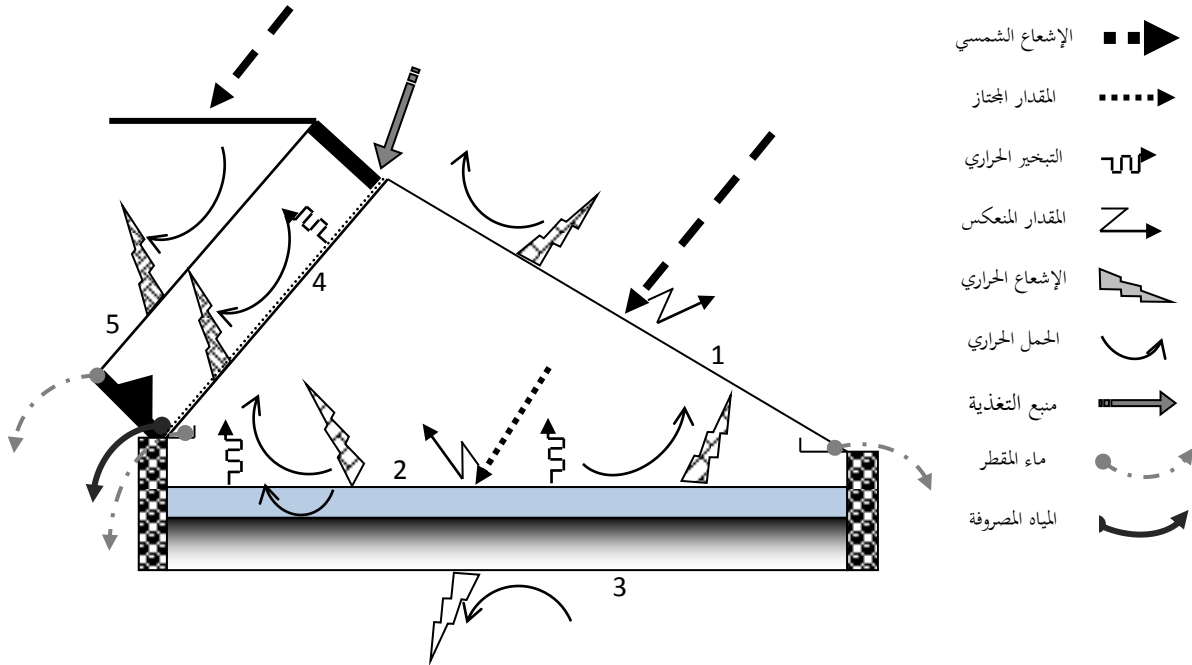
بالنظر للشكل 3.4. يتبين لنا التدفقات الحرارية التي يتبادلها الغطاء الزجاجي من الداخل والخارج للمقطر، حيث يتلقى ثلاثة

تدفقات صادرة من الحوض ويفقد بدوره تدفقين نحو الوسط الخارجي وتكتب المعادلة بالشكل التالي:

$$(5.3) \quad M_v C p_v \frac{dT_v}{dt} = \alpha_v G_v + [\dot{Q}_{eev} + \dot{Q}_{cev} + \dot{Q}_{rev}] - [\dot{Q}_{cva} + \dot{Q}_{rva}]$$

حيث يمثل كلا من:

- \dot{Q}_{eev} التدفق الحراري بالتبخير بين طبقة الماء والغطاء الزجاجي
- \dot{Q}_{cev} التدفق الحراري بالحمل بين طبقة الماء والغطاء الزجاجي
- \dot{Q}_{rev} التدفق الحراري بالإشعاع بين طبقة الماء والغطاء الزجاجي
- \dot{Q}_{cva} التدفق الحراري بالحمل بين الغطاء الزجاجي والوسط الخارجي
- \dot{Q}_{rva} التدفق الحراري بالإشعاع بين الغطاء الزجاجي والمحيط



الشكل 3.4. يبرز مختلف الانتقالات الحرارية الممكنة في المقطر المعدل.

3.3.2. على مستوى الماء المالح في الحوض (2):

تشكل طبقة الماء في الحوض وسط لانتقال الحرارة بالحمل بين سطح المبخر والسطح الحر للماء. عند حساب عدد **Nusselt** للماء حيث يفوق نمط الحمل على التوصيل. المعادلة المعبرة عن التوازن تكتب بالشكل التالي:

$$(6.3) \quad M_e C p_e \frac{dT_e}{dt} = \left[\begin{array}{l} \alpha_e \tau_v G_{eff} + \dot{Q}_{cbe} - [\dot{Q}_{eev} + \dot{Q}_{cev} + \dot{Q}_{rev}] \\ -[\dot{Q}_{cep} + \dot{Q}_{rep} + \dot{Q}_{eep}] \end{array} \right]$$

ويمثل كلا من:

\dot{Q}_{eep} التدفق الحراري بالتبخير بين طبقة الماء والصفحة المعدنية
 \dot{Q}_{cep} التدفق الحراري بالحمل بين طبقة الماء والصفحة المعدنية
 \dot{Q}_{rep} التدفق الحراري بالإشعاع بين طبقة الماء والصفحة المعدنية
 \dot{Q}_{cbe} التدفق الحراري بالحمل بين صفيحة المبخرة والماء المالح
 G_{eff} الإشعاع الفعلي الوارد على المساحة غير المضللة

3.3.3.3. على مستوى القاعدة السفلية للحوض (3):

نعتبر في هذه الحالة وجود طبقة عازلة أسفل الحوض متكونة من مادة مخصصة للعزل الحراري، وطبقة خشبية سميكة لهذه نعتبر كلا من المبخر والمادة العازلة والطبقة الخشبية عبارة عن جسم واحد يتبادل الحرارة مع الوسط الخارجي كما يلي:

$$(7.3) \quad M_b C p_b \frac{dT_b}{dt} = \alpha_b \tau_e \tau_v G_{eff} - \dot{Q}_{cbe} - [\dot{Q}_{cba} + \dot{Q}_{rba}]$$

حيث تكتب صيغة معامل الانتقال الحراري بالحمل المتضمن داخل عبارة التدفق الحراري \dot{Q}_c بين المبخر والماء بالعلاقة التالية:

$$h_{cbe} = \frac{Nu \lambda_e}{E_e} = \left(\frac{C}{E_e \lambda_e^{n-1}} \right) \left[\frac{\beta_e^T g \Delta T_{be} d_b^3 \rho_e^2 C p_e}{a} \right]^n$$

حيث $d_b^3 = \frac{(L_e L_r)}{2(L_e + L_r)}$ وكذا $\Delta T_{be} = (T_b - T_e)$ أما عن باقي

المعاملات فيزو-حرارية مذكورة في الملحق B.

3.3.3.4. على مستوى السطح مكثف-4-مبخر (4):

الوجه الداخلي لهذا السطح يطل على الحوض لأنه يميل عن الأفق بزاوية مقدرة ومحسوبة بشكل لا يسمح بتشكيل مساحة مضللة، وعليه فهو لا يتعرض للأشعة المباشرة، لكنه يتعرض بالمقابل للأشعة المنعكسة عن الحوض والتي تعمل في زيادة درجة حرارته.

$$(8.3) \quad M_p C p_p \frac{dT_p}{dt} = \left[\begin{array}{l} \alpha_p \mathfrak{R}_e \tau_v G_{eff} + \dot{q}_{e-in} - \dot{q}_{e-out} \\ +[\dot{Q}_{eep} + \dot{Q}_{rep} + \dot{Q}_{cep}] + [\dot{Q}_{cpcs} + \dot{Q}_{rpcs} + \dot{Q}_{epcs}] \end{array} \right]$$

يمثل كلا من \dot{Q}_{epcs} ، \dot{Q}_{epcs} و \dot{Q}_{epcs} التدفق الحراري بالتبخير، بالحمل وبالإشعاع بين صفيحتي المقطر الشعيري على التوالي.
 وبالإشعاع بين صفيحتي المقطر الشعيري على التوالي. بفعل الارتدادات المتكررة بالاحتباس الحراري. كما يمثل كلا من $(\dot{q}_{e-out}, \dot{q}_{e-in})$ تدفق ماء التغذية للمقطر بالفيلم الشعيري، والماء المنصرف منه، ويعرفان كما يلي:

$$\dot{q}_{e-out} = \dot{m}_{es} C_{p_e} S_p (T_p - T_a) \text{ و } \dot{q}_{e-in} = \dot{m}_e C_{p_e} S_p (T_a - T_p)$$

3.3.3.5. على مستوى السطح المكثف الثاني (5):

البخار المتصاعد من الصفيحة السابقة يتكاثف ليتحول في النهاية إلى ماء مقطر، الحرارة المفقودة عن طريق التكثيف تبعد نحو الوسط الخارجي وهو مقدار غير مهم، يمكن الاستفادة منه مرة أخرى.

$$(9.3) \quad M_{cs} C_{p_{cs}} \frac{dT_{cs}}{dt} = [\dot{Q}_{epcs} + \dot{Q}_{rpsc} + \dot{Q}_{cpes}] - [\dot{Q}_{ccsa} + \dot{Q}_{rcsa}]$$

\dot{Q}_{ccsa} التدفق الحراري بالحمل بين الصفيحة المكثفة والوسط الخارجي
 \dot{Q}_{rcsa} التدفق الحراري بالإشعاع بين الصفيحة المكثفة والمحيط

3.3.4. المصفوفة الرياضية لمعادلات التوازن الطاقوية للمقطر المعدل:

توضع المعادلات الطاقوية على أساس التشبيه بالقانون كيرشوف للعقد، والذي ينص بأن المقادير الداخلة لعقدة تساوي تلك الخارجة منها. على هذا الطرح يمكن وضع جميع المعادلات باعتبار سطوح التبادل الحراري مثل العقد.

$$(10.3) \quad \begin{cases} \frac{dT_v}{dt} = \left(\frac{1}{\rho_v E_v C p_v} \right) \left[\begin{aligned} & -\frac{S_b}{S_v} (h_{cev} + h_{rev} + h_{cva} + h_{rva}) T_v + (h_{cev} + h_{rev}) T_e \\ & + (0) T_b + \frac{S_p}{S_v} (0) T_p + \frac{S_p}{S_v} (0) T_{cs} \\ & + [F_{vsky} G_g + \dot{m}_{ev} h_{fv}(T) + (h_{cva} + h_{rva}) T_a] \end{aligned} \right] \\ \frac{dT_e}{dt} = \left(\frac{1}{\rho_e E_e C p_e} \right) \left[\begin{aligned} & \frac{S_v}{S_b} (h_{cev} + h_{rev}) T_v - (h_{cev} + h_{rev} + h_{cep} + h_{rep} + h_{cbe}) T_e \\ & + (h_{cbe}) T_b + \frac{S_p}{S_v} (h_{cep} + h_{rep}) T_p + \frac{S_p}{S_v} (0) T_{cs} \\ & + [F_{ev} G_{eff} + \dot{m}_{ev} h_{fv}(T) + \dot{m}_{ep} h_{fp}(T)] \end{aligned} \right] \\ \frac{dT_b}{dt} = \left(\frac{1}{\rho_b E_b C p_b} \right) \left[\begin{aligned} & \frac{S_v}{S_b} (0) T_v + (h_{cbe}) T_e - (h_{cbe} + h_{cba} + h_{rba}) T_b + \frac{S_p}{S_v} (0) T_p + \frac{S_p}{S_v} (0) T_{cs} \\ & + [F_{be} G_{eff} + (h_{cba} + h_{rba}) T_a] \end{aligned} \right] \\ \frac{dT_p}{dt} = \left(\frac{1}{\rho_p E_p C p_p} \right) \left[\begin{aligned} & \frac{S_v}{S_p} (0) T_v + \frac{S_b}{S_p} (h_{cep} + h_{rep}) T_e + \frac{S_b}{S_p} (0) T_b \\ & - (h_{cep} + h_{rep} + h_{cpcs} + h_{rpcs} + (\dot{m}_e - \dot{m}_{es}) C p_e) T_p \\ & + (h_{cpcs} + h_{rpcs}) T_{cs} \\ & + [F_{ep} G_{eff} + \dot{m}_{pcs} h_{fp}(T) + (\dot{m}_e - \dot{m}_{es}) C p_e T_a] \end{aligned} \right] \\ \frac{dT_{cs}}{dt} = \left(\frac{1}{\rho_{cs} E_{cs} C p_{cs}} \right) \left[\begin{aligned} & \frac{S_v}{S_p} (0) T_v + \frac{S_b}{S_p} (0) T_e + \frac{S_b}{S_p} (0) T_b + (h_{cpcs} + h_{rpcs}) T_p \\ & - (h_{ccsa} + h_{rcsa} + h_{cpcs} + h_{rpcs}) T_{cs} \\ & + [\dot{m}_{pcs} h_{fcs}(T) + (h_{ccsa} + h_{rcsa}) T_a] \end{aligned} \right] \end{cases}$$

3.4.1. العبارات التصحيحية المتعلقة بالمقتر الشمسي البسيط:

صيغة الحرارة الكامنة للتبخير الواردة في العبارات السابقة تكتب من الشكل حسب (Radhwan, 2004):

$$(11.3) \quad h_{fi}(T) = (2503.94 - 2.4515 T) \times 10^3$$

معامل الحراري الخارجي بالحمل حسب (Kabeel, 2012) يكتب من الشكل:

$$(12.3) \quad h_{cia} = 2.8 + 3.0 w_s$$

حيث: $w_s \leq 5.0 \text{ m/s}$

وجود الفضاء خارج المقطر يسمح بتبادل الإشعاع الحراري المتولد من السطح الساخن ويعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$(13.3) \quad h_{riciel} = \sigma \varepsilon_s (T_i^2 + T_{ciel}^2) (T_i + T_{ciel})$$

مع كون درجة حرارة القبة السماوية تأخذ الصيغة التالية، كونها متعلقة بدرجة حرارة الوسط الخارجي كما يلي:

$$(14.3) \quad T_{ciel} = T_a - 12$$

نأخذ بالحسبان عبارة درجة الحرارة الوسط الخارجي كما صرح عنها (Reicosky, 1989)

$$(15.3) \quad T_a = 0.5 (T_{max} - T_{min}) \cos\left(\pi \frac{14-TSV}{12}\right) + 0.5 (T_{max} + T_{min})$$

أما فيما يتعلق بالتبادل الحراري الإشعاعي داخل المقطر يتم بالصورة التي يعبر عنها (Velmurugan, 2008) ويكتب من الشكل:

$$(16.3) \quad \begin{cases} h_{rej} = \sigma \varepsilon_{ej} (T_e^2 + T_j^2)(T_e + T_j) \\ \varepsilon_{ej} = 1 / \left(\frac{1}{\varepsilon_j} + \frac{1}{\varepsilon_e} - 1 \right) \end{cases}$$

نعبر عن التوازن الكتلي بالصيغ التالية:

بالنسبة للمقطر الشمسي البسيط

$$(17.3) \quad \dot{m}_{ev} + \dot{m}_{ep} = (0.01623) \left[\left(\frac{h_{cev} (P(T_e) - P(T_v))}{h_{fv}(T)} \right) + \left(\frac{h_{cep} (P(T_e) - P(T_p))}{h_{fp}(T)} \right) \right]$$

ويمثل \dot{m}_{ev} ، \dot{m}_{ep} التدفق الكتلي الناتج من سطوح التكثيف؛ الغطاء الزجاجي والصفحة المعدنية.

من أجل زاوية ميل بين الغطاء الزجاجي والحوض في حدود 30° يمكن أخذ العبارة التصحيحية لـ Jakob (Cengel, 2006) باعتبار سطحين متقابلين يشكلان حيز مغلق بحيث السطح الساخن يكون دوماً للأسفل والزاوية الميل بالنسبة للأفق صغيرة بقدر كافي كما هو موضح في الشكل.B.3.:

$$(18.3) \quad \begin{cases} Nu = 0.195 Ra^{0.25}, & 10^4 < Ra < 4 \times 10^5 \\ Nu = 0.068 Ra^{0.33}, & 4 \times 10^5 < Ra < 10^7 \end{cases}$$

صيغة معامل الحمل الحراري الأكثر ملائمة في حال المقطرات الشمسية من النوع بالاحتباس الحراري، التي تكون فيها قيمة زاوية الميل أقل من 30° لا تظهر في الصيغة التالية.

$$(19.3) \quad h_{cev} = C \lambda_m \left(\frac{g \rho_m \beta_m^T}{\mu_m a_m} \right)^{1/3} \left[(T_e - T_v) + \frac{T_e [P(T_e) - P(T_v)] (M_a - M_e)}{M_a P_0 - P(T_e) (M_a - M_e)} \right]^{1/3}$$

بينما في حالة زاوية الميل للصفحة المعدنية مبخر-مكثف أقل من 90° وأكثر من 30° تكتب صيغة معامل الحمل وذلك باستبدال الحد المعبر عن الجاذبية الأرضية العمودية g بالحد الذي يعبر عن ميل الصفحة $g \cos(\phi)$ بالشكل التالي:

$$(20.3) \quad h_{cep} = C \lambda_m \left(\frac{g \cos(\phi) \rho_m \beta_m^T}{\mu_m a_m} \right)^{1/3} \left[(T_e - T_v) + \frac{T_e [P(T_e) - P(T_v)] (M_a - M_e)}{M_a P_0 - P(T_e) (M_a - M_e)} \right]^{1/3}$$

المعامل $C_e^j = 0.075 \frac{\lambda_m}{d_b} \left(\frac{g \rho_m \beta_m^T}{\mu_m a} \right)$ يتغير بدلالة زاوية الميل لأحد وجهي التكثيف للمقطر المعدل حيث يأخذ القيمة $C_e^v = 0.884$ عند

زاوية الميل أقل أو تساوي 30° كما هي مصرح عليها في المرجع (Tiwari, 2006)، بينما في حال الزوايا الأكثر من ذلك يصبح يساوي $C_e^p = 0.7065$ القيم الفيزيائية للمعاملات $(\rho_m, \beta_m^T, \lambda_m, \mu_m)$ مدونة في الملحق. B.

3. 4. 2. العبارات التصحيحية المتعلقة بالمقطر الشمسي بالفيلم الشعيري:

توجد اختلافات معتبرة في ما يخص المقطر الشمسي بالفيلم الشعيري، وعليه سنذكر المعاملات المتعلقة بالخلية في وضعيات لزوايا ميلها عن الأفق. حيث معامل الانتقال الحراري بالحمل داخل الخلية يكتب من الشكل:

$$(21.3) \quad h_{cpcs} = Nu \frac{\lambda_m}{d_c}$$

حيث يمثل d_c البعد البيني بين صفيحتين متقابلتين للمقطر الشمسي الشعيري. لكن [Nusselt](#) في هذه الحالة يكتب على النحو التالي:

$$(22.3) \quad Nu(\phi) = 1 + 1.44 X_1 X_2 + X_3$$

نعرف الحدود الثلاثة X_1 ، X_2 و X_3 في حال كون الخلية ذات طول أكبر نسبيا من سمك الخلية، وكذلك صحيحة من أجل معامل الشكل والزاوية والعدد اللابعدي [Rayleigh](#) بحدود القيم التالية على التوالي:

$$Ra < 10^5 \text{ و } 0^\circ < \phi < 70^\circ, H/d_c \geq 12$$

$$(23.3) \quad \begin{cases} X_1 = 1 - \frac{1780 (\sin(1.8 \phi))^{1.6}}{Gr Pr \cos(\phi)} \\ X_2 = \text{Max} \left[0; \left(1 - \frac{1780}{Gr Pr \cos(\phi)} \right) \right] \\ X_3 = \text{Max} \left[0; \left(\left(\frac{Gr Pr \cos(\phi)}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right) \right] \end{cases}$$

بينما عند الأطوال الصغيرة للخلية أي عند معامل الشكل $H/d_c < 12$ ، يمكن استخدام العلاقة الآتية، شريطة كون زاوية ميل الخلية أقل من الزاوية الحرجة ($\phi < \phi_{cr}$) كما هو مبين في الجدول اسفله.

جدول 3.5: قيم الزاوية الحرجة بدلالة معامل الشكل.

قيم الزاوية الحرجة ϕ_{cr}	قيم معامل الشكل H/d_c
25°	1
53°	3
60°	6
67°	12
70°	> 12

نلخص في الجدول B.4. (في الملحق B) جميع قيم العدد $Nusselt$ الخاص بالوضعية الحرجة للانتقال الحرارة بالحمل داخل خلية التقطير بالفيلم الشعيري كما هو مبين في الأشكال B. (1، 2، 3) (الجدول B.3، من الملحق B). وعليه يمكننا حساب نسبة البخار المنتقلة داخل الخلية المغلقة، باعتبار وجود خليط هواء-بخار، لهذا الصيغة المعبرة عن معامل التبخر من الشكل:

$$(24.3) \quad h_m = \frac{h_{cpcs}}{\rho_m c_{p_m}} \left(\frac{a}{D_{cs}} \right)^{\left(-\frac{2}{3}\right)}$$

نذكر أن الحد $\frac{a}{D_{cs}}$ يمثل عدد لويس Le ويكتب من الشكل: $Le =$

$$\frac{Sc}{Pr} = \frac{a}{D_{cs}}$$

من أجل مائع هواء-بخار يعطى معامل الانتشارية الجزيئية بالعلاقة التالية حسب (Sacadura, 1979)، شريطة مجال درجة حرارة تكون من 20°C و 90°C وحدة هذا المعامل من الرتبة (m²/s):

$$(25.3) \quad D_{cs} = 2.26 \times 10^{-5} \left(\frac{1}{P_V} \right) \left(\frac{T_m}{273.15} \right)^{1.81}$$

يمثل كلا من T_m درجة الحرارة المتوسطة لخلية التقطير، بينما P_V هو عبارة عن مجموع الضغط الجوي في معامل تصحيحي متعلق بدرجة T_m داخل الخلية.

خلية التقطير تتشبع ببخار الماء وبالتالي يتولد حركة هجرة لجزيئات البخار من المنطقة الساخنة نحو المنطقة الباردة لوجود اختلاف في كثافة البخار، العلاقة المعبرة عن ذلك مأخوذة حسب (Tsilingiris, 2010) (2008) بالشكل التالي:

$$(26.3) \quad \Delta\rho = (\rho_p - \rho_{cs}) = \frac{1}{R_v} \left(\frac{P_p}{T_p} - \frac{P_{cs}}{T_{cs}} \right)$$

حيث $R_v = \frac{R}{M_v}$ ويمثل كلا من R ثابت الغازات المثالية، و M_v الوزن الجزيئي لبخار الماء.

يعبر عن الكتلة المتجمعة من عملية التقطير بأنها ناتجة من وجود فرق في كثافة البخار مضروب في معامل مدى سرعة وحركة الجزيئات المائع من المنطقة الأكثر تركيز نحو الأقل منها تركيز. تكتب المعادلة بالنحو التالي:

$$(27.3) \quad \dot{m}_{epcs} = h_m (\rho_p - \rho_{cs}) = \frac{h_{cpcs}}{R_v \rho_m C p_m Le^{(2/3)}} \left(\frac{P_p}{T_p} - \frac{P_{cs}}{T_{cs}} \right)$$

3.4.3. حساب الفعالية الكلية للمقطر المعدل:

يتركب هذا القسم من سطحي تكثيف هما على التوالي الغطاء الزجاجي والصفحة المعدنية ويشتركان في حوض تبخير واحد، يشمل الناتج اليومي من الماء المقطر على مجموع ما ينتج من الغطاء الزجاجي وذاك الذي يسترجع من الصفحة المعدنية حسب العبارة التالية:

$$(28.3) \quad m_T^{DSS} = \int_{tl}^{tc} [(\dot{m}_{eev} + \dot{m}_{eep}) S_b h f_e(T_e)] dt$$

بينما نعبر عن الناتج اليومي للمقطر بالفيلم الشعيري كما يلي:

$$(29.3) \quad m_T^{DFC} = \int_{tl}^{tc} [\dot{m}_{epcs} S_p h f_p(T_p)] dt$$

وعليه في النهاية يمكننا جمع المردودين معا لنحصل على الناتج الكلي للمقطر المعدل، والذي يعبر عن اتحاد لثلاثة سطوح تكثيف تستغل نفس كمية الطاقة الواردة لحوض التبخير.

$$(30.3) \quad m_T = m_T^{DSS} + m_T^{DFC}$$

نعبر عن الفعالية الكلية للجهاز بالعلاقة التالية:

$$(31.3) \quad \eta = \frac{m_T}{\int_{tl}^{tc} [S_{eff} G_{eff}] dt} \times 100$$

يمثل كلا من η_v ، η_p و η_{cs} عن الفعالية الخاصة بالغطاء الزجاجي، الصفحة المعدنية وصفحة التكثيف للمقطر بالفيلم الشعيري على التوالي.

أجريت الدراسة العددية على مثل هذا النموذج تحت الظروف المناخية والجغرافية لمدينة ورقلة. متوسط كثافة الإشعاع الشمسي الذي يقع على سطح أفقي في شهر يوليو حوالي 10^3W/m^2 . بالمقابل تم استخدام نموذج *Modèle de Capderou* (Capderou, 1987)، لحساب معدل الإشعاع الوارد المباشر والمنتشر. كما يتم تطبيق صيغ (*La Formule de Kasten*) للتعبير عن مجموع الكلي للإشعاع الملقى على المقطر الشمسي. لحظة وصول الإشعاع الشمسي للغطاء الزجاجي تمتص ويعكس جزء صغير منه والجزء الأكبر يعبر ليقع على سطح حوض التبخير، وجود الغطاء الزجاجي المميز بخاصية الاحتباس الإشعاعي الحراري المنعكس عن الحوض والذي يرتد نحو السطوح المقابلة وبالأخص الصفيحة المعدنية التي بدورها ترفع من درجة حرارتها.

$$(32.3) \quad G_{eff} = (\alpha_e \tau_v + \alpha_e \tau_e \tau_v) S_{eff} G_v$$

حيث $\alpha_{eff} = \alpha_e \tau_v + \alpha_e \tau_e \tau_v$ يمثل النسبة الفعلية التي الممتص من طرف الحوض، وعليه المقدار المنعكس عن الحوض نحو الصفيحة المعدنية بالشكل التالي:

$$(33.3) \quad G_{Ref} = (1 - \alpha_{eff}) \alpha_p S_p G_{eff}$$

تمت كتابة على نسخة من *Fortran Power station 4.0* برنامج لحل المعادلات غير الخطية المذكورة أعلاه باستخدام طريقة *Runge-Kutta* (Simos, 1993)، بافتراض درجات الحرارة الابتدائية لانطلاق البرنامج العددي مساوية لدرجة حرارة الوسط T_a ، ويوضح الشكل 3.9. رسم بياني لخوارزمية المسألة.

3.5. مبدأ طريقة *Runge-kutta*:

لتكن مسألة كوشي التالية:

$$(34.3) \quad \begin{cases} \frac{dT}{dt} = f(T(t), t) \\ T(t_0) = T_0 \end{cases} \quad t \in [a, b]$$

لحل مثل هذه المسألة نطبق طريقة *Runge-Kutta* المبينة في المخطط التالي لعدة مستويات طاوية z كما يلي:

$$(35.3) \quad \begin{cases} K_1 = f(t_0, T_0) \\ K_2 = f(T_0 + h a_{21} K_1, t_0 + c_2 h) \\ \vdots \\ K_z = f(T_0 + h \sum_{i=1}^{z-1} a_{zi} K_i, t_0 + c_z h) \\ T = T_0 + h \sum_{i=1}^z b_i K_i \end{cases}$$

المعاملات a_{zi} ، b_i و c_z هي عبارة عن ثوابت وعناصر المخطط الموضحة في مصفوفة **Butcher** أدناه.

$$\begin{array}{c|cccccc} c_1 & & & & & & \\ c_2 & a_{21} & & & & & \\ c_3 & a_{31} & a_{32} & & & & \\ \vdots & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \\ \vdots & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \\ \vdots & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \\ c_z & c_{z1} & a_{z2} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{zz-1} \\ \hline & b_1 & b_2 & b_3 & \cdot & \cdot & b_z \end{array}$$

3. 5. 1. تطبيق طريقة **Runge-kutta** على جملة معادلات تفاضلية:

يمكن تطبيق هذه الطريقة على المقطر الشمسي المعدل بالكيفية التالية، ليكن نظام المعادلات المحاكية للتوازنات الطاقوية في المقطر المعدل:

$$(36.3) \quad \begin{cases} \frac{dT}{dt} = f_i(T(t), t) \\ T(t_{Ls}) = T_a \end{cases} \quad t \in [t_{Ls}, t_{Cs}]$$

حيث:

T تعبر عن مركبات مستويات الحرارة للمقطر (T_p ، T_b ، T_e ، T_v) و T_{Cs} .

f_i دالة لمتغيرين هما درجات الحرارة لعناصر المقطر T و الزمن t حيث $i = 1, 2, 3, 4, 5$

خوارزمية **Runge-kutta** من الرتبة 4 تكتب من النظام التالي:

$$(37.3) \left\{ \begin{array}{l} K_1^i = h f_i(t_n, T(t_n)) \\ K_2^i = h f_i\left(t_n + \frac{h}{2}, T(t_n) + \frac{K_1^i}{2}\right) \\ K_3^i = h f_i\left(t_n + \frac{h}{2}, T(t_n) + \frac{K_2^i}{2}\right) \\ K_4^i = h f_i\left(t_n + h, T(t_n) + \frac{K_3^i}{2}\right) \\ T_v(t_n + 1) = T_v(t_n) + \frac{1}{6}(K_1^1 + 2 K_2^1 + 2 K_3^1 + K_4^1) \\ T_e(t_n + 1) = T_e(t_n) + \frac{1}{6}(K_1^2 + 2 K_2^2 + 2 K_3^2 + K_4^2) \\ T_b(t_n + 1) = T_b(t_n) + \frac{1}{6}(K_1^3 + 2 K_2^3 + 2 K_3^3 + K_4^3) \\ T_p(t_n + 1) = T_p(t_n) + \frac{1}{6}(K_1^4 + 2 K_2^4 + 2 K_3^4 + K_4^4) \\ T_{cs}(t_n + 1) = T_{cs}(t_n) + \frac{1}{6}(K_1^5 + 2 K_2^5 + 2 K_3^5 + K_4^5) \end{array} \right.$$

3. 5. 2. طريقة Runge-kutta من أجل زمن غير اختياري:

من أجل حل مسألة واقعية يستحسن عموماً اختيار زمن الحساب ثابت وهذا يعطي دقة كبيرة في النتائج. لكن كيف نختار تقسيم مناسب من أجل نقلص الخطأ بقدر كافي؟. تحقيقاً لهذه الغاية يجب معرفة الخطأ المحلي Tol (الموصى عليه من طرف المستخدم). لهذا نلجأ مباشرة للطريقة الثانية لـ $Runge-kutta$ مع $\hat{T}(t_{n+1})$ كتقريب عددي، كما يمكن استعمال هذا الفرق كتقدير للخطأ المحلي.

الفكرة في حساب الزمن هو تثبيت من:

$$(38.3) \quad \|T(t_{n+1}) - \hat{T}(t_{n+1})\| = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^5 \left(\frac{T_i(t_{n+1}) - \hat{T}_i(t_{n+1})}{1 + \max(|T_i(t_{n+1})|, |\hat{T}_i(t_{n+1})|)} \right)^2}$$

$$\|T(t_{n+1}) - \hat{T}(t_{n+1})\| < Tol$$

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

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

الزمن h الأفضل، يرمز إليه h_{opt} .

$$(39.3) \quad Tol = C h_{opt}^4$$

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

$$(40.3) \quad h_{opt} = 0.9 h^4 \sqrt{\frac{Tol}{\|T(t_{n+1}) - \hat{T}(t_{n+1})\|}}$$

3. 5. 3. خوارزمية اختيار الزمن h :

نختار زمن ابتدئي h .

نحسب المقدارين (t_{n+1}) و $\hat{T}(t_{n+1})$ باستعمال طريقة المتداخلة لـ **Runge-kutta** حسب المصفوفة أعلاه، ومن تم نحسب الفرق $\|(t_{n+1}) - \hat{T}(t_{n+1})\|$.

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

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

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

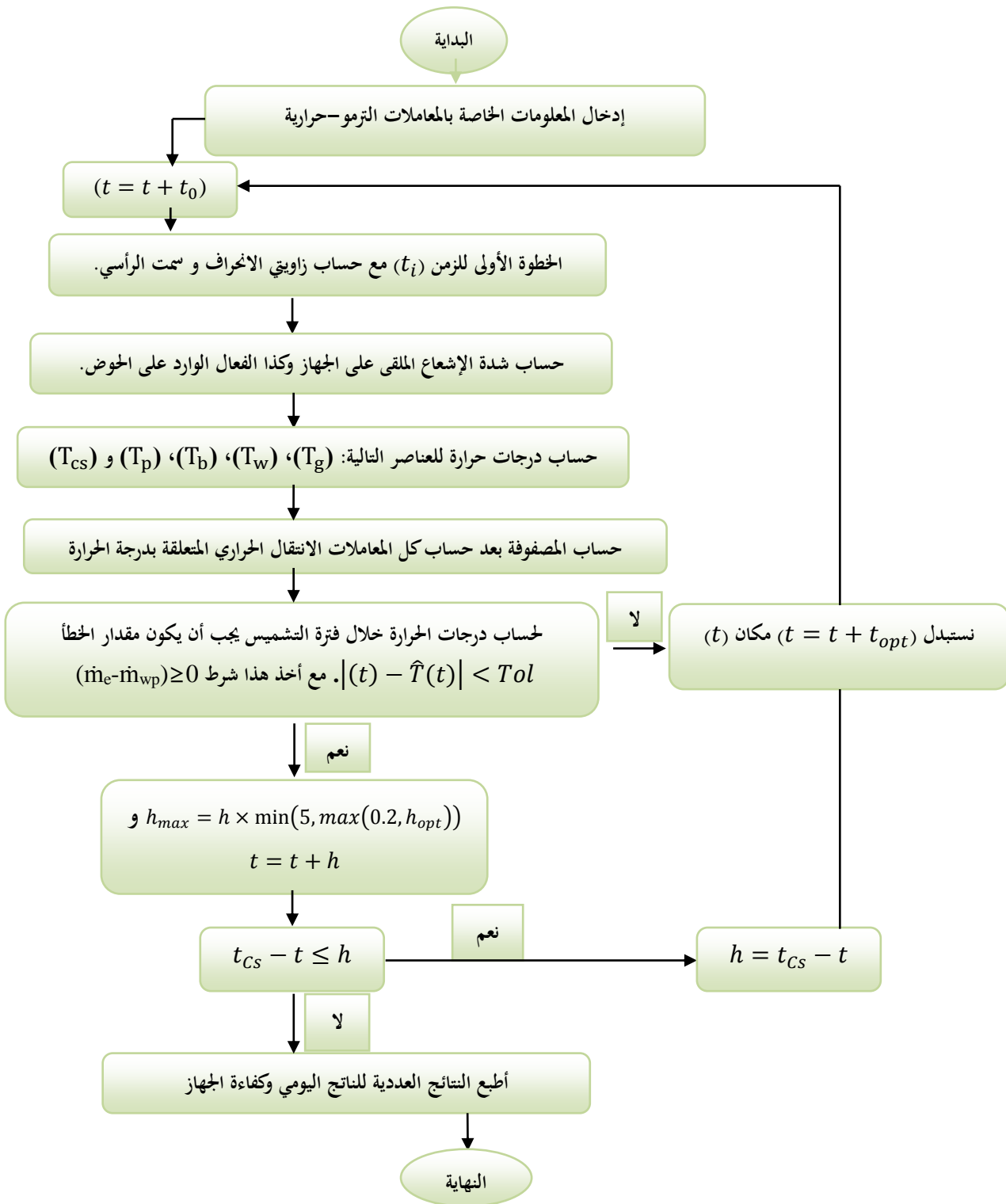
وإلا نهاية الشرط 3.

إذا لم يتحقق الشرط: نلغي الزمن ويعوض

بـ $h = \min(h_{opt}, h_{max})$ ونستأنف من جديد الخطوة 2.

نهاية الخوارزمية، نلخص مجمل خطوات البرمجة العددية لحساب الناتج وفعالية المقطر الشمسي المعدل في المخطط

التالي:



الشكل. 3. 5. مخطط الخوارزمية الأساسي للمقطر المعدل

3.6. الخلاصة:

في هذا الفصل العمل الذي أنجزته يتمثل في وضع معادلات رياضية لتقريب الوصف الهندسي من الصورة الرقمية. لتسهيل معالجة المسألة بالدقة المتناهية. بالإضافة لاختبار الطريقة الرياضية التي تساعدنا على حل جمل المعادلات التفاضلية من الدرجة الأولى. في النهاية أمكننا ذلك من إنشاء خوارزمية تلخص المعالجة الرقمية التي تمت عن طريق برنامج حاسوبي يدعى *Fortran Power stat1on 4.0*. تستغرق مدة المعالجة وإظهار النتائج بضع ثواني في أقل من 3 ثواني. ولا يحتاج البرنامج مساحة تخزين كبيرة في ذاكرة الحاسوب، مع التذكير بمميزات الحاسوب المستعمل في هذه الدراسة.

Evaluation : 4,4 Indice de performance Windows

Processeur : Intel® Core(TM) i3-2310M CPU @ 2.10 GHZ 2.010GHZ

Mémoire installée (RAM) : 2,00 Go

Type du système : Système d'exploitation 32 bits

Styler et fonction tactile : La fonctionnalité de saisie ou avec un styler n'est pas disponible sur cet écran

الفصل الرابع النتائج والمناقشات

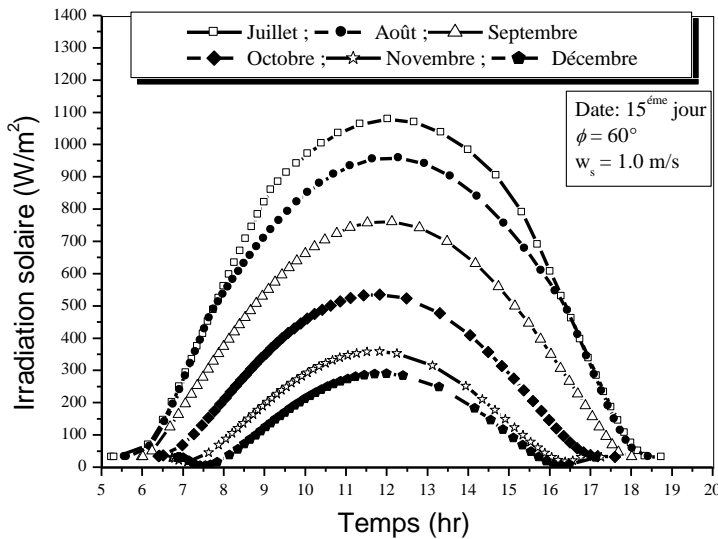
4. مقدمة:

في هذا الفصل نستعرض مجمل النتائج العددية التي تم الحصول عليها من خلال المحاكاة الرقمية على أساس المقطر الشمسي المعدل، وهو مقطر شمسي يتميز كونه مزدوج الغطاء الزجاجي المتجه نحو شمال والأخر نحو الجنوب، ونظرا لارتفاع درجة حرارة هذا الأخير بالمقارنة بالطرف الثاني، استوجب إيجاد حل لتخفيض درجته حتى يسمح بإعطاء مردود أفضل. ويكمل هذا الحل في استبدال هذا الطرف نهائيا بمقطر، يمتاز بخاصية الفيلم الشعيري للماء، وهو تركيب للصفحتين متوازيتين ومتقابلتين بمسافة معينة. بهذا الفعل قد قمنا بعملية تبريد للمكثف الشمالي، واستغللنا مرة أخرى ذلك البخار المتصاعد جراء التبريد لتكثيفه مرة ثانية، هذا يسمح لحصول على كمية من الماء المقطر من ثلاث سطوح ممكنة.

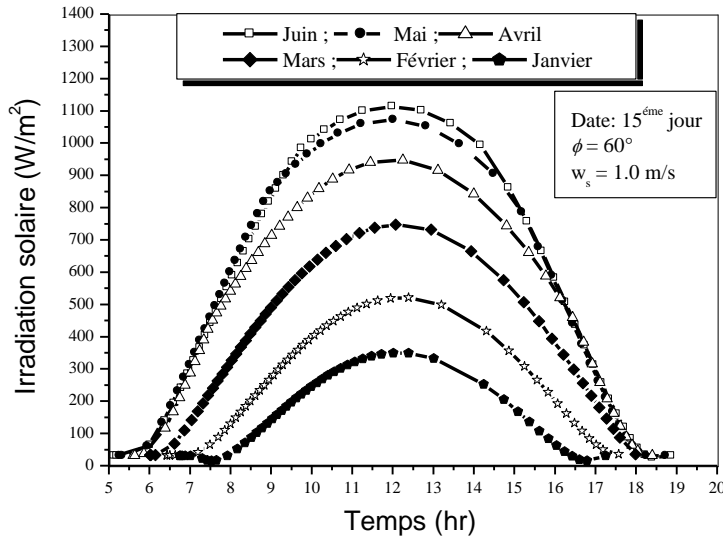
المحاكاة العددية تسمحنا بإيجاد الظروف والعوامل الأساسية للتشغيل المثالي للمقطر المعدل. نشرع في البداية بإعطاء النتائج العددية المتحصل عليها، في الوضعية التي يكون فيها كلا الطرفين في وضعية مائلة بزاوية اخترت بعناية لتناسب الطرح النظري، وذلك خلال يوم نموذجي لتمييزه بكامل الشروط الضرورية والتي تدخل في المعطيات المواتية للدراسة الجيدة (15/جويلية على سبيل المثال لا الحصر)، وهذا بوحدة البحث في الطاقات المتجددة بالوسط الصحراوي (URER'MS). أما في الأخير نقوم بدراسة إثباتيه على أساس النتائج المتحصل عليها عدديا ومقارنتها بالنتائج التجريبية المنجزة من طرف (بالحاج، 2008).

4.1. تغيرات شدة الإشعاع الشمسي خلال السنة بدلالة الزمن المحلي:

المنحنيات المرسومة في الشكل.4.1أ.- الشكل.4.1ب. تم إنشاؤها عن طريق نظام برمجي عددي لتقصي تغيرات شدة الإشعاع الشمسي خلال سنة واحدة، من خلال المعادلة (25.2) المذكورة في الفصل الثاني، يمكننا رسم جميع المنحنيات بدلالة الزمن المحلي للمنطقة. يتبين من خلال هذه المنحنيات أن الشهور التي تكون فيها شدة الإشعاع قوية تبلغ ذروتها أزيد من 10^3W/m^2 هذا المقدار له تأثير إيجابي على عملية التقطير.



الشكل.4.1أ. منحنى تغيرات شدة الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن المحلي لنصف الثاني من السنة

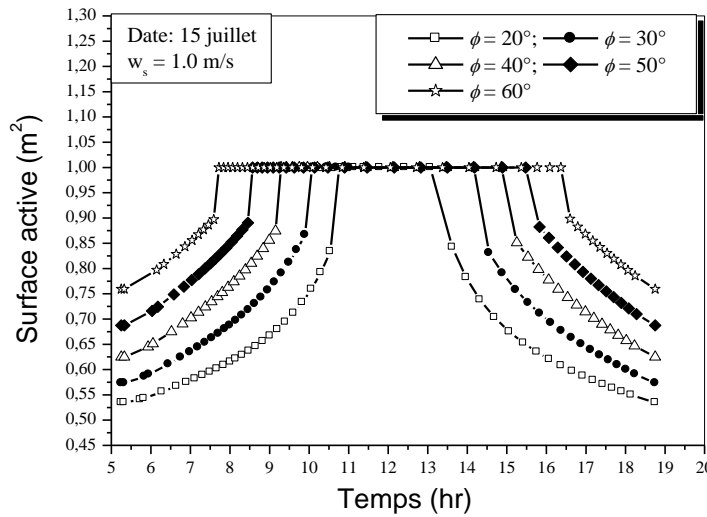


الشكل.4.1 ب. منحني تغيرات شدة الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن المحلي لنصف الأول من السنة

إذ يعتمد تسخين الماء المالح في الحوض إلى غاية مرحلة التبخر أساساً على هذا العامل. هذه النتائج العددية تتوافق بشكل كبير مع تلك المستمدة من القياسات التجريبية، لا يتعدى متوسط الإشعاع الشمسي بفصل الشتاء 550 W/m^2 عند 12h00-13h00، مقدار النقصان الإشعاعي بينها وفصل الصيف يقدر حوالي 81%، هذه النسبة تفسر بأن 19% من إجمالي الأشعة الشمسية الواردة في فصل الشتاء غير كافية لإحداث فرق معتبر في درجة الحرارة بالنسبة لمختلف عناصر نظام التقطير هذا من جهة ومن جهة أخرى عامل درجة حرارة الوسط التي تنخفض أحياناً تحت 15° مما يفضي لتخفيض درجة النظام بكامله حتى في فترات الليل، بالإضافة لمدة التشميس التي لا تتجاوز 10 ساعات في اليوم. وعليه لهذه الأسباب وغيرها يمكن إظهار الفعلية الحقيقية لأنظمة التقطير الشمسية عند الفصول التي يبلغ متوسط الإشعاع الشمسي ومدة التشميس أعلى قيم لها، وعلى ضوء هذه النتيجة اعتمدنا بالخصوص في نتائجنا الرقمية على فصل الصيف المميز بطول مدة التشميس فيه والتي تبلغ أحياناً 13 ساعة في النهار كما أن درجة حرارة النظام لا تنخفض بشكل سريع في فترة الليل مما يسمح لتواصل عملية التقطير إلى غاية ساعات متأخرة من الليل.

4. 2. تأثير زاوية الميل على المساحة النشيطة لحوض التبخير:

من خلال المعادلة (4.3) التي ذكرت في الفصل الثالث نستطيع رسم المنحنى الذي يعطي تغيرات مساحة اللاقطة للأشعة بدلالة تغيرات زاوية ميل الصفيحة مكثف-4-مبخر. وبالتالي الزاوية التي يشكلها ميل الصفيحة مكثف-4-مبخر لها أثر سلبي على فعالية سطح الالتقاط الإشعاعي الشمسي الوارد للحوض وهذا من خلال رسم ظل يحول دون وصول الإشعاعات التي تعمل على رفع درجة حرارة ماء التبخير في الحوض.



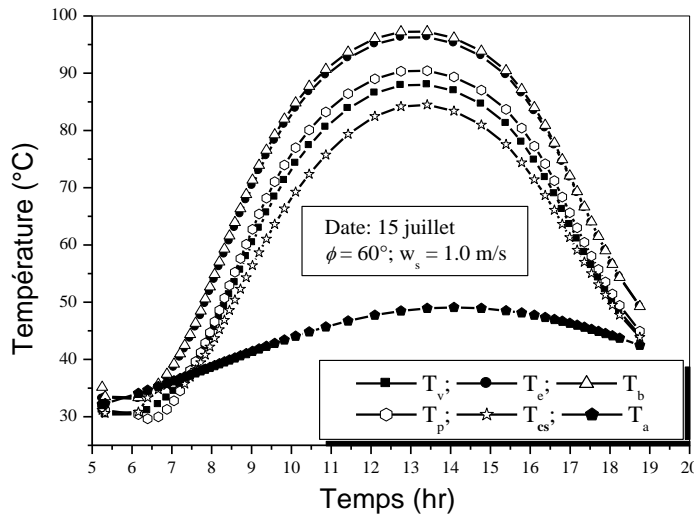
الشكل 4. 2. منحنى تغيرات مساحة الالتقاط الإشعاعي بدلالة زاوية ميل الصفيحة مكثف-1-مبخر.

نلاحظ من خلال الشكل 4. 2. بأن المنحنيات تثبت قيمتها العظمى عند القيمة 1m^2 من مساحة حوض التبخير عند زمن معين حسب كل فصل من فصول السنة فمثلا عند الزاوية $\phi = 20^\circ$ تأخذ المساحة الفعلية للحوض عند الزمن من 10h30 إلى غاية 13h15 القيمة 1m^2 بينما خارج هذا التوقيت يظهر أثر الظل جليا، مما يفضي ذلك لإنقاص معدل التبخير ومن تم تناقص لمعدل التكتيف. لكن يختلف التفسير قليلا عند الزاوية $\phi = 60^\circ$ حيث يمكننا الحصول على مساحة أكبر في زمن أطول يمتد إلى غاية 8 ساعات وهذا يمثل ما حوالي 67% من المدة الفعلية لعمل المقطر الشمسي. كمية الطاقة الإشعاعية

الملقاة على حوض التبخير تعتمد بشكل أساسي على رقعة الاصطدام للأمواج الكهرومغناطيسية حتى يتسبب هذا الفعل برفع درجة حرارة المبخر وبالتالي تسخين لحظي لطبقة الماء المالح في الحوض. تبنى معظم المقطرات الشمسية بأحواض شبه خالية من آثار الظل، سواء كان هذا من المقطر ذاته أو من العوامل المحيطة به.

4.3. تغيرات درجة حرارة المحيط ومختلف عناصر الجهاز بدلالة الزمن:

المعادلات المدونة في المصفوفة (10.3) تمكننا من الحصول على المنحنيات الممثلة في الشكل 4.3، وهي عبارة عن التغيرات المحتملة لدرجات حرارة كلا من المحيط الخارجي وللمستويات الحرارية للجهاز. أول ملاحظة من الشكل تبين مدى تطابق منحنى درجة حرارة الماء في الحوض مع درجة حرارة الصفيحة المبخرة، هذا التطابق يرجع لاعتبارات سمك طبقة الماء في الحوض (التي تقدر بـ 0.01m)، يتباعدان كلما زاد سمك هذه الطبقة.



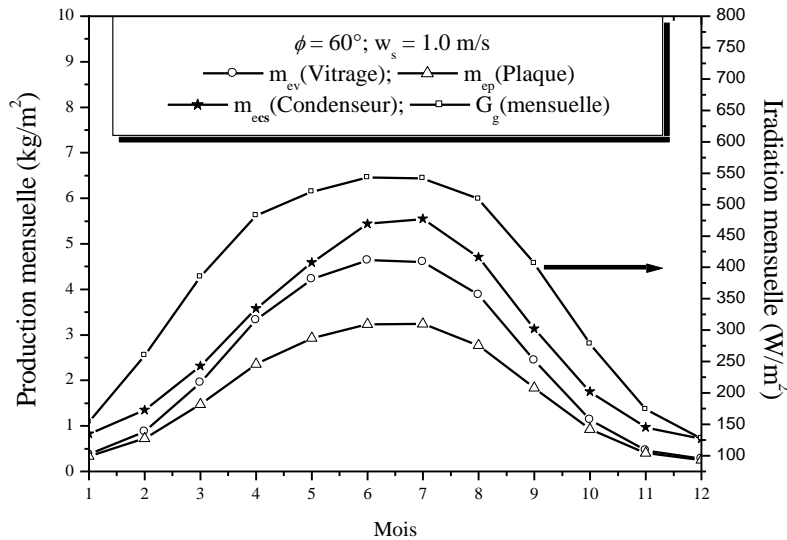
الشكل 4.3. منحنى تغيرات درجات حرارة عناصر الجهاز بدلالة الزمن المحلي

وجود فرق في درجة الحرارة بين ماء الحوض وسطحي التكثيف (الغطاء الزجاجي والصفيحة مكثف-4-مبخر) هو الذي يولد الحركة الطبيعية لصعود البخار أعلى الحوض. يبلغ هذا الفرق عند الغطاء الزجاجي والصفيحة مكثف-4-مبخر 6.12°C - 8.3°C على التوالي. في حين يبلغ

هذا الفرق بين صفيحتي المقطر بالفيلم الشعيري حوالي 6.27°C ، هذه القيمة أعلى من تلك التي بين الحوض والصفحة مكثف-4-مبخر فهذا يعني الحصول على نواتج التقطير بكمية أوفر عند المكثف-5. كما أننا نلاحظ بأن درجة حرارة الصفحة مكثف-4-مبخر أعلى بقليل من درجة حرارة الغطاء الزجاجي، فعليه ارتفاع حرارة الصفحة مكثف-4-مبخر يقلل من عملية التقطير لأن الفرق في درجة الحرارة بينها وبين الحوض ضئيل مقارنة بالفارق الناتج عن الغطاء الزجاجي الذي يقارب 9 درجات مئوية في حين نلتمس هذا الفرق عند الصفحة مكثف-4-مبخر بحوالي 6 درجات مئوية. قد يعود هذا التفاوت في درجات الحرارة، إلى أن هذا الجزء من المقطر غير معرض إلى التيارات الهوائية الخارجية، أو على الأرجح طبيعة المادة المستخدمة.

4.4. منحنى تغيرات نواتج التقطير مع تغير شدة الإشعاع الشمسي:

استناداً للمعادلتين (17.3) و (27.3) المسروودتين في الفصل الثالث بالإمكان تمثيل المنحنيات المبينة في الشكل 4.5 والتي تعبر عن وجود علاقة طردية بين ارتفاع شدة الإشعاع من جهة مع الزيادة في مردود التقطير من جهة أخرى.



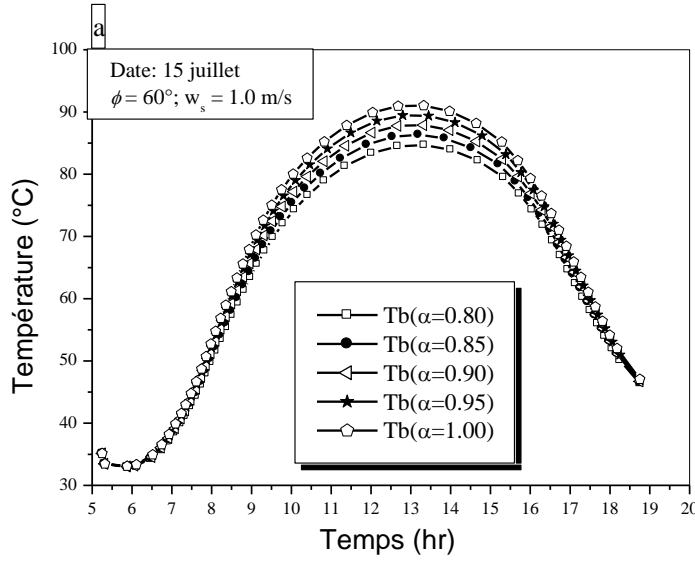
الشكل 4.4. منحنى تغيرات نواتج التقطير خلال أشهر السنة بدلالة تغيرات متوسط شدة الإشعاع الشمسي.

يصل متوسط الشهري للإشعاع الشمسي معدل يفوق $500\text{W}/\text{m}^2$ في فصل الصيف مع ارتفاع محسوس لدرجة حرارة المحيط تبلغ 49°C ، بينما لا يبلغ هذا المتوسط في فصل الشتاء سوى $200\text{W}/\text{m}^2$ مع تسجيل انخفاض في درجة حرارة الوسط لا تتعدى 25°C هذا التفاوت في درجة حرارة المحيط لا يعني على الإطلاق تأثيرها المباشر على عملية إنتاج الماء المقطر بل على العكس يحتفظ النظام على درجة حرارته التي تمكنه من مواصلة العمل حتى بعد فترات غياب قرص الشمس عن الأفق. من خلال الناتج الإجمالي اليومي تتوزع نسب نواتج التقطير الخاصة بالغطاء الزجاجي والمكثف-4- المبخر على النحو التالي 34% ، و 24% حيث تدخل النسبة 10% في التفاوت في مساحة سطح التكثيف بينهما، على اعتبار مساحة المكثف-4-المبخر هي نصف مساحة الغطاء الزجاجي، بينما تبلغ النسبة المتعلقة بالسطح المكثف 5 للمقطر بالفيلم الشعيري ما يقارب 42% . نفسر هذا التفاوت في النتائج بين سطوح التبادل الحراري لمدى تأثير الفرق المتولد في درجة الحرارة بين كل سطحين يتبادلان الحرارة، فمثلا الفرق الموجود في درجة الحرارة بين صفيحتي المقطر بالفيلم الشعيري أكبر قليلا من ذلك الموجود بين الحوض والغطاء الزجاجي. ولهذا نحصل على المردود الأوفر عند المقطر بالفيلم الشعيري.

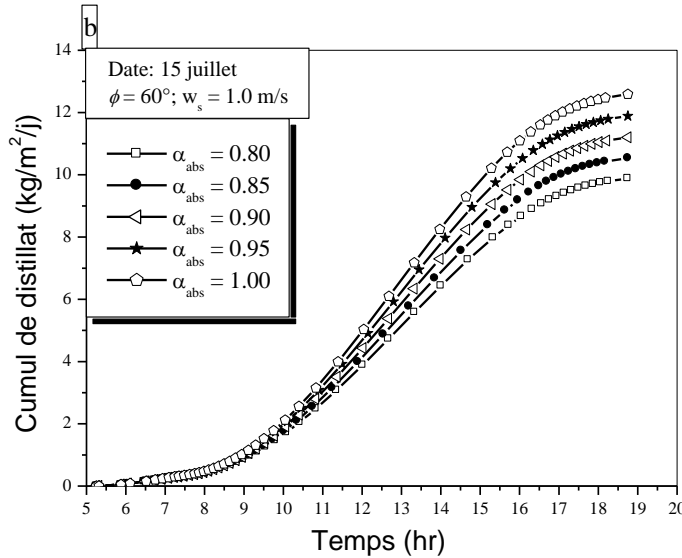
4. 5. بعض المعاملات التي لها تأثير في عملية التقطير:

4. 5. 1. تأثير معامل الامتصاص الإشعاعي على حوض التبخير:

يعرف معامل الامتصاص الإشعاعي على أنه مقدار نفاذية الإشعاع في المادة، وزيادة الامتصاص يعني زيادة في الطاقة الدخلية للجسم بالأحرى رفع درجة حرارته. من خلال المعادلتين (7.3) و (30.3)، يمكن رسم منحنى تغيرات درجة حرارة الحوض والناتج التجميعي اليومي بدلالة قيم معامل الامتصاص. السطح المطلبي باللون الأسود له القدرة على امتصاص مقدار كبير من الإشعاعات المنبعثة لهذا السبب يطلى الحوض المعد للتبخير باللون الأسود غير البراق لتسريع عملية التسخين.



الشكل.4. أ.5. منحنى تأثير درجة حرارة الحوض بتغيير معامل الامتصاص بدلالة الزمن المحلي.



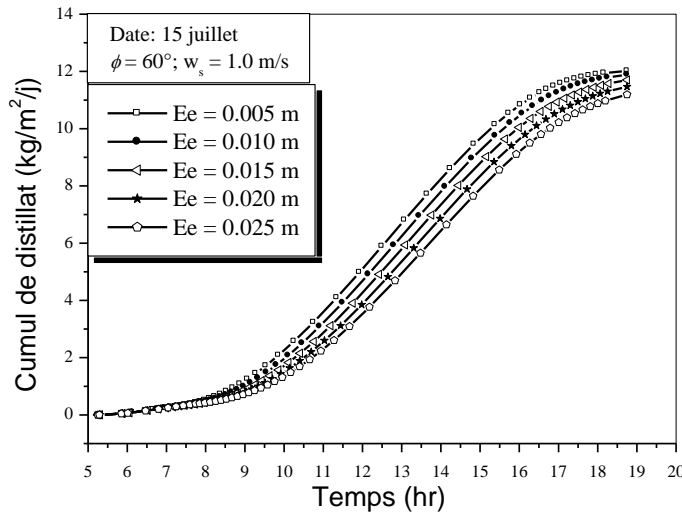
الشكل.4. ب.5. منحنى تأثير معامل امتصاص الحوض للإشعاع بدلالة الزمن المحلي.

عادة تضاف صبغة كيميائية لها معامل يدعى معامل الامتصاصية لهذا كلما كانت قيمة هذا المعامل كبيرة زادت نسبة الامتصاص للأشعة كما هو مبين في **الشكل.4. 6.** مقدار الزيادة في الناتج اليومي بالانتقال من قيمة صغرى لمعامل الامتصاص 0.85 (25%) الموافقة لـ $6.63 \text{ kg/m}^2/\text{z}$ نحو قيمة عليا 1.00 الموافقة لـ $8.30 \text{ kg/m}^2/\text{z}$. وتفسر هذه النتيجة على أن الإشعاعات الشمسية عبارة عن أمواج

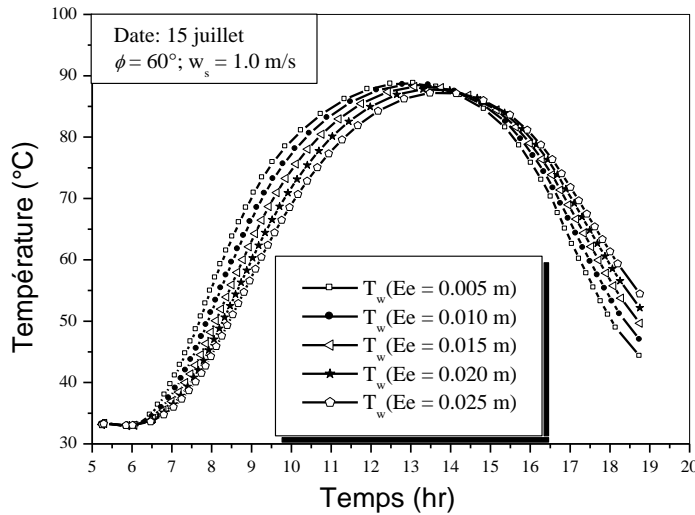
كهرومغناطيسية، وضوء الشمس ما هو في الحقيقة إلا تركيب لألوان الطيف المتميزة بأطوال موجات مختلفة ما عدى اللون الأسود. وبالتالي هذا الأخير الوحيد الذي يمتص جميع ألوان الطيف. فعليه كلما كانت معدل اللون الأسود كبير كان معدل امتصاصه للإشعاع أكبر. فعليه ينصح من خلال هذه النتائج على استعمال الألوان شديدة السواد للمساحات اللاقطة.

4. 5. 2. تأثير كمية الماء المالح بالحوض على عملية التبخير:

يعرف المحتوى الحراري (الانثالبي) الذي يعتمد على الوزن المولي للمادة تحت الشروط النظامية بأنه الحرارة التي يمتصها الجسم أو يفقدها خلال التغير في الطور. تعتمد عملية تبخير الماء في أساسا على عدة عوامل من بينها سمك طبقة الماء الراكدة في الحوض، كلما كانت هذه الطبقة صغيرة بقدر كافي حصلنا على كمية بخار معتبرة والعكس صحيح. وهذا ما يوضحه الشكل. 4. 6أ- الشكل. 4. 6ب. اللذان تم الحصول عليهما من خلال المعادلتين (6.3) و (17.3) المذكورتين في الفصل الثالث.



الشكل. 4. 6أ. منحنى تأثير سمك الماء في الحوض على الناتج الكلي بدلالة الزمن المحلي.



الشكل.4. 6ب. منحنى تأثير سمك الماء في الحوض على درجة حرارة الماء في الحوض بدلالة الزمن المحلي.

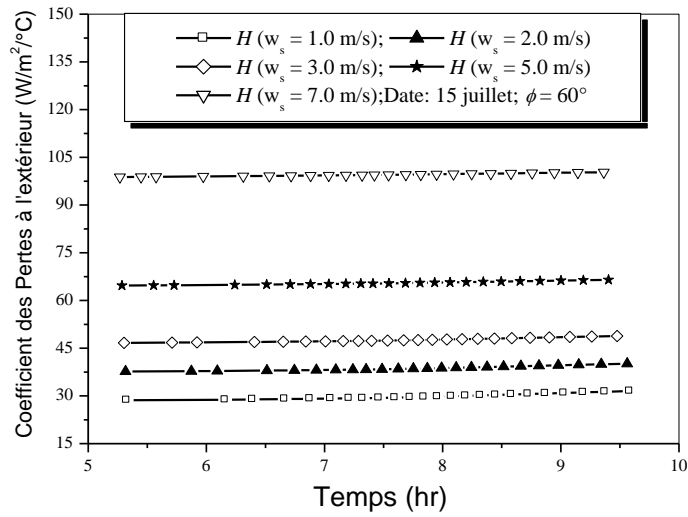
كما أننا نلاحظ في **الشكل.4. 6ب.** ازدياد في كمية الماء في الحوض تعطي الوقت الأطول لمدة التسخين، لكن بالمقابل تبقى محتفظة بكمية من الحرارة (حرارة كامنة) خلال فترات الليل وعليه زيادة في مدة التقطير حتى عند غياب الشمس. العديد من البحوث في هذا المجال أنجزت (Hinai. 2002)، (Tiwari. 2006) لتأكيد التأثير السلبي لزيادة كمية الماء في الحوض. ويتمثل هذا التأثير في زيادة مدة وكمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء إلى حالة التبخر، ونلتمس ذلك جليا في معادلات الطاقة التي تحتوي على المقدار الذي يعبر عن وجود علاقة عكسية بين حجم الماء المالح في الحوض وقياس درجة حرارة الماء. تقدر نسبة النقصان في المردود اليومي حوالي 7% كما هو مبين في **الشكل.4. 6أ.**

4. 5. 3. تأثير سرعة تيارات الهواء على أداء الجهاز:

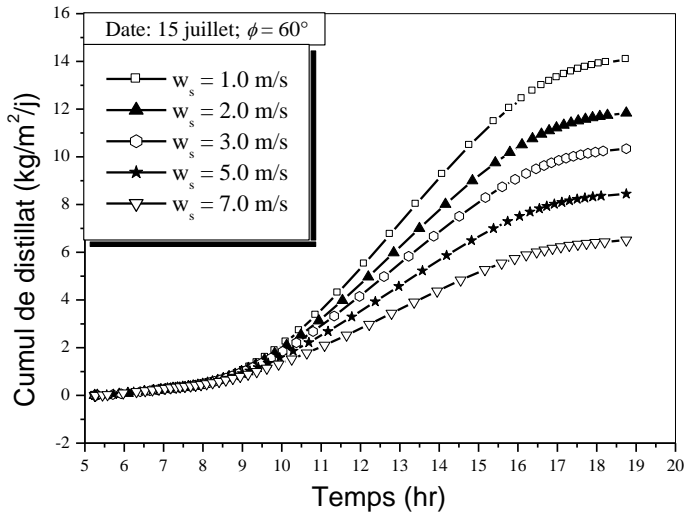
جمع المعاملات الواردة في المعادلات (12.3) و (13.3) التي تصف التسريبات بفعل الإشعاع والحمل الحراري نحو الوسط الخارجي والمذكورة في الفصل الثالث. **الشكل.4. 7أ.** يبين منحنى تغيرات معامل التسريب الحراري الكلي للمقطر بدلالة الزيادة في سرعة تيارات الهواء، يمكن ملاحظة بأن الزيادة في هذه السرعة تحدث زيادة في نسبة معدل التسريبات الحرارية الخارجية الصادرة من طرف

الغطاء الزجاجي، الصفيحة المكثف5 والقاعدة السفلية للحوض. هذه النسبة المرتفعة ليست في صالح عملية التقطير لأنها تعمل على تبريد الجهاز بالكامل مما يفضي لانخفاض في درجات الحرارة مكوناته، لهذا يتراجع مردود التقطير بشكل ملحوظ. تتعدى نسبة التسريبات الخارجية عند السرعة 7m/s القيمة 100W/m²/°C بينما لا يتعدى القيمة 40W/m²/°C عند القيم الصغرى لسرعة الرياح.

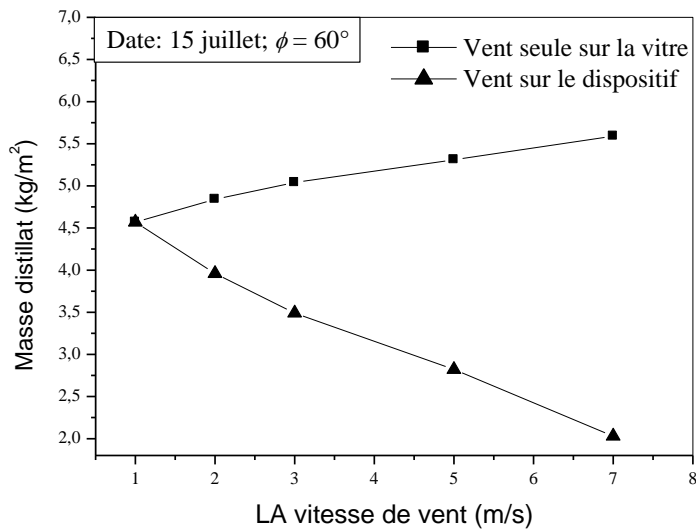
يتبين من الشكل.4. 7ب. بأن النتائج العددية المتحصل عليها في خصوص تأثير سرعة الرياح على النواتج التجميعة للماء المقطر، حيثما زادت هذه السرعة ينقص بمقابلها معدل التقطير. لذا نسبة نقصان المردود تصل إلى حدود 53%. في هذا الخصوص تأثير سرعة الرياح على نظام التقطير بكامله تأثير سلبي، بالإضافة للأثر الايجابي كما يشير إليه الشكل.4. 7ج. والمتمثل في تبريد سطح التكثيف للغطاء الزجاجي مثلاً ومقارنته مع تبريد كامل للجهاز يلاحظ أن معدل التقطير يتناقص بالنسبة للجهاز بينما يتزايد بالنسبة للغطاء الزجاجي هذا ما يفسر تسريع عملية التبادل الحراري بالحمل النابعة من الزجاج نحو الخارج. وتبرز السلبية في انخفاض المحسوس لدرجة حرارة النظام مما يفضي ذلك على زيادة في التسريبات الحرارية للوسط الخارجي مثل هذه النتيجة ذكرت من طرف كلا من (Cooper, 1969) و(Sebaili, 2000)، حيث اشر من أجل سرعة رياح في المجال من 0 إلى 2.15m/s توجد زيادة في المردود بحدود 11.5%، لكن يحدث العكس عند القيم من 2.15 إلى غاية 8.81m/s زيادة في حدود 1.5% فقط. ولهذا الغرض عادة تبنى أو توضع المقطرات الشمسية قريبة جداً من سطح الأرض أين نعتبر هناك سرعة الرياح تقارب الصفر(الطبقة الحدية).



الشكل 4.17. منحنى تأثير سرعة الرياح على معامل التسريب الحراري الكلي للنظام.



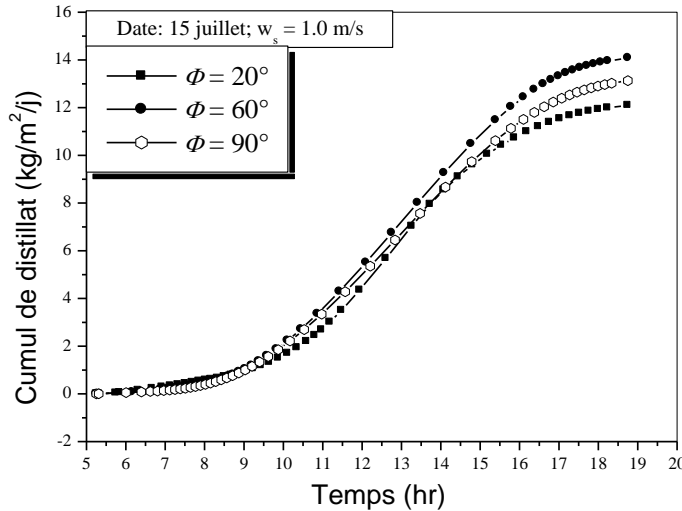
الشكل 4.7ب. منحنى تأثير سرعة الرياح على نواتج التقطير بدلالة الزمن المحلي.



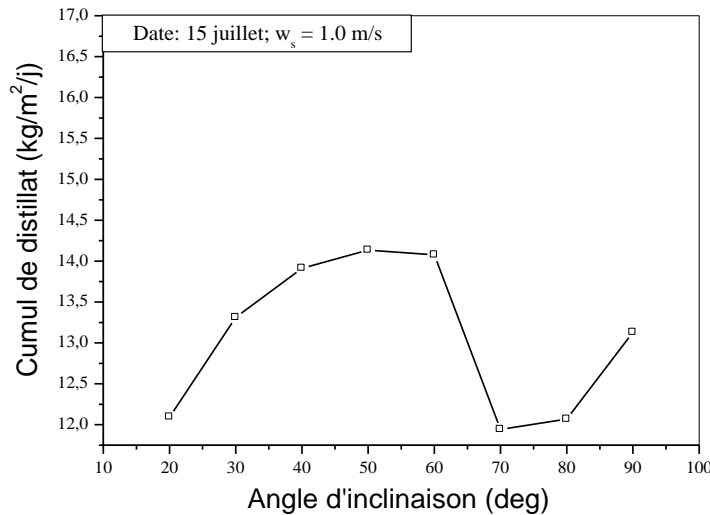
الشكل 4.7ج. منحنى تأثير تغيرات معدل الإنتاج بدلالة تزايد سرعة الرياح.

4.6. تأثير زاوية الميل على الإنتاجية والمساحة الفعلية للحوض:

زاوية ميل مكثف-4-مبخر لها تأثير سلبي على مردود التقطير للنظام كله، ويرجع هذا لتشكل ظلال على حوض التبخير، ومن ثم إنقاص لفعالية مساحة الالتقاط الإشعاعي.



الشكل.4.8.أ. منحنى تأثير زاوية ميل المكثف-1-مبخر على مساحة الحوض.



الشكل.4.8.ب. منحنى تأثير زاوية ميل المكثف على مساحة الحوض الفعلية، وإنتاجية الصفيحة مكثف-1-مبخر.

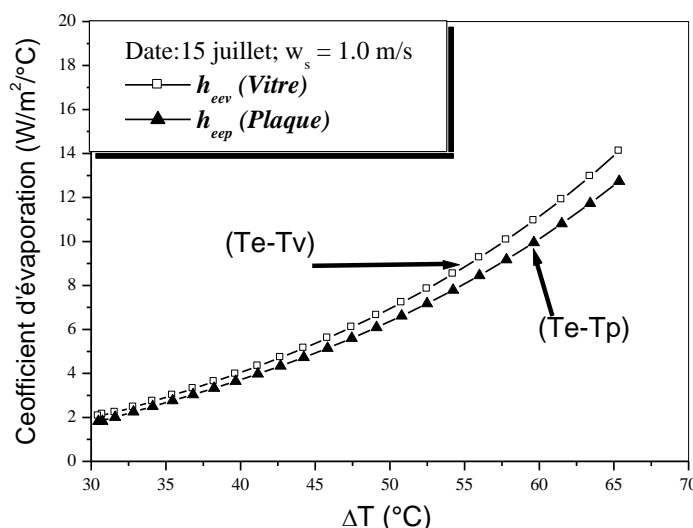
من خلال الشكل.4.9. يتبين لنا بأن الزاوية الأمثل تكون في حدود 50°-60° حيث ينحصر ظل الزوال لتظهر المساحة الكلية للحوض مما يتيح أعلى قيمة لالتقاط الإشعاع الشمسي هذه النتيجة

أكدها (Cooper, 1969) حيث قارن بين قيم زوايا الميل للغطاء الزجاجي من 0 إلى غاية 45° وجد نوع من استقرار في النتائج لكن عند حدود القيمة 60° يبلغ أعلى معدلاته ثم يبدأ في الانخفاض بداية من الزاوية 70°. الزوايا التي هي أقل من 90° تطبق عليها نفس عبارات الحمل الحراري في المعادلة (20.3) المذكورة في الفصل الثالث. بينما عند الزاوية 90° تماماً نستعمل عبارة تصحيحية أخرى - ذكرت في جدول B.3 من الملحق B- لمعامل الحمل الحراري. لهذا يلاحظ ارتفاع المردود التقطير مرة ثانية.

4.7. منحني تغيرات معاملات الحرارية (بالتبخير، بالحمل الحراري وبالإشعاع):

4.7.1. منحني تغير معامل التبخير بدلالة الفرق في درجة الحرارة:

بين الشكل 4.9. منحني تغيرات معامل التبخير بدلالة الفرق في درجة الحرارة بين حوض التبخير والغطاء الزجاجي مقدار الاستحسان لقيمة معامل التبخير لأفضل زاوية ميل يكون على النحو 9% حيث يتجلى بوضوح تأثير زاوية ميل عند أخذ القيمة 60° للصفحة مكثف 4-مبخر.

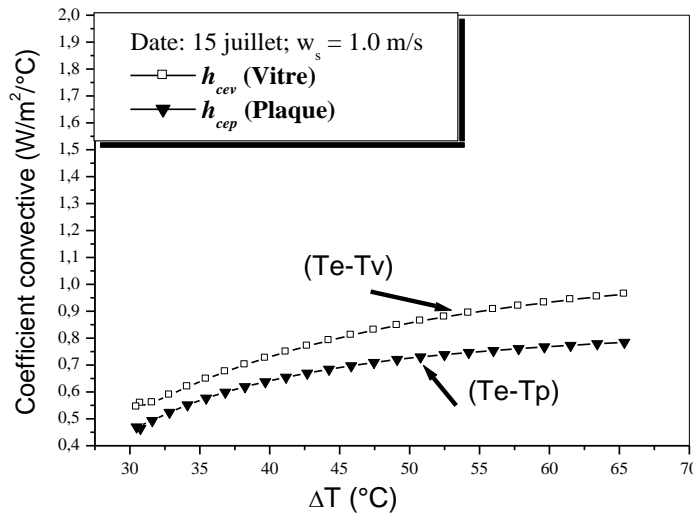


الشكل 4.9. منحني تغيرات معامل التبخير بدلالة الفرق في درجة الحرارة.

يعود عدم تطابق المنحنيين لعبارة المعامل المذكورة في الفصل الثالث المعادلة (20.3) حيث يختفي أثر مسقط شعاع الجاذبية الأرضية في المحور العمودي شريطة أن تكون الزاوية $\geq 30^\circ$ وهذا ما أكدته معظم المقالات المنشورة مثل (Tiwari, 2005) و (Madhlopa, 2000).

4.7.2. منحني تغير معامل الحمل الحراري مع الفرق في درجة الحرارة:

أنماط التبادل الحراري داخل المقطرات الشمسية عادة تكون مرتبطة بعضها بعضا، فمثلا يمكن صياغة معامل الحمل الحراري عن طريق حساب معامل التبخير أو العكس صحيح. والملاحظ في الشكل 4.10. بأنه يتماشى تماما مع المنحني في الشكل 4.9.

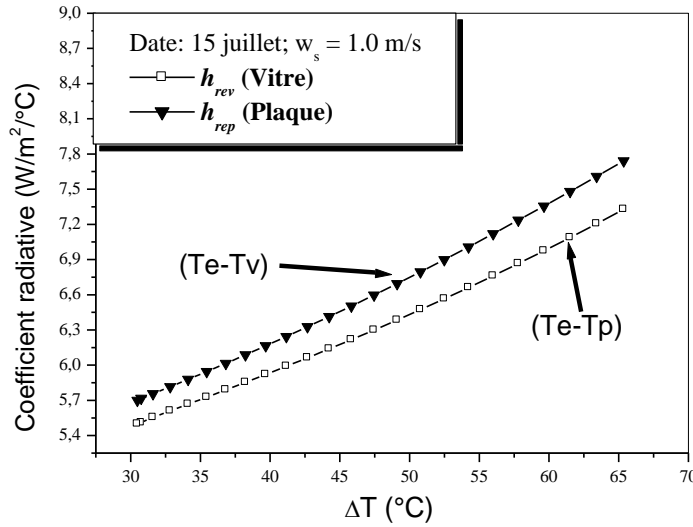


الشكل 4.10. منحني تغيرات معامل الحمل الحراري الداخلي بدلالة الفرق في درجة الحرارة.

هذه العلاقة التي تربطهما مكتوبة في الفصل الثالث بوضوح وهي تفسر من جهة أخرى بأن حركة المائع (جزيئات البخار) تتعلق بحركة تيارات الهواء التي تشكل بدورها حلقات دائرية من المستوى الساخن نحو السطح البارد فنحصل بهذا المزيج على هواء رطب له خصائصه الفيزيائية كما سلف الذكر.

4.7.3. معامل التبادل الإشعاعي الداخلي بدلالة الفرق في درجة الحرارة:

الجسم الأكثر سخونة من غيره هو الذي يشع نحو الأجسام الباردة نسبيا. نظرا لارتفاع درجة حرارة حوض التبخير خلال فترة التشميس، يحدث عن هذا إصدار أشعة تحت الحمراء، تنتقل بواسطة الإشعاع نحو سطوح التكثيف، غير أنه توجد ثلاثة سطوح متقابلة ومن تم يستحسن استخدام معامل الشكل الذي يصف نمط التبادل الإشعاعي بين أكثر من سطحين.



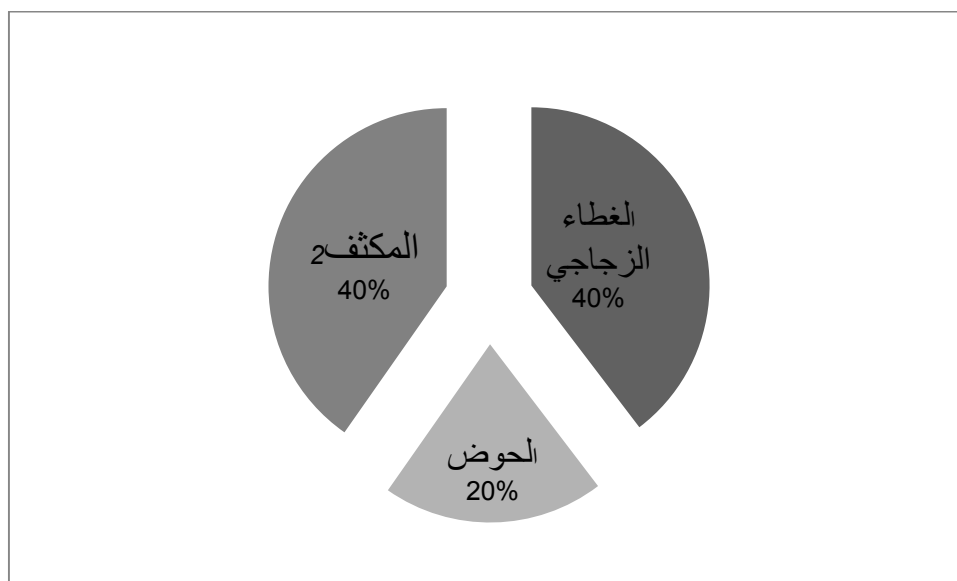
الشكل.4.11. منحني تغيرات معامل الإشعاع الداخلي بدلالة فرق في درجة الحرارة.

من الشكل.4.11. يمكن ملاحظة المقدار الإشعاعي من كلا المكثفين يتعدى $7W/m^2/°C$ مقارنة بمنحني الحمل الحراري. لهذا السبب هذا المقدار له أثر ملحوظ في عملية التقطير، ولا ينبغي أن ترتفع قيمه لحدود قصوى، مما يؤثر سلبا على كفاءة الجهاز.

4.8. التسريبات الحرارية الخارجية:

من المعلوم بأن أجهزة التقطير تعمل بالطاقة الشمسية التي تؤدي لرفع درجة حرارة النظام، هذا الارتفاع يولد بدوره عملية تبديد للحرارة للوسط المحيط عن طريق الإشعاع والحمل الحراري. في هذا الصدد يبين الشكل.4.12. نسبة التوزيع للمستويات التي لها اتصال

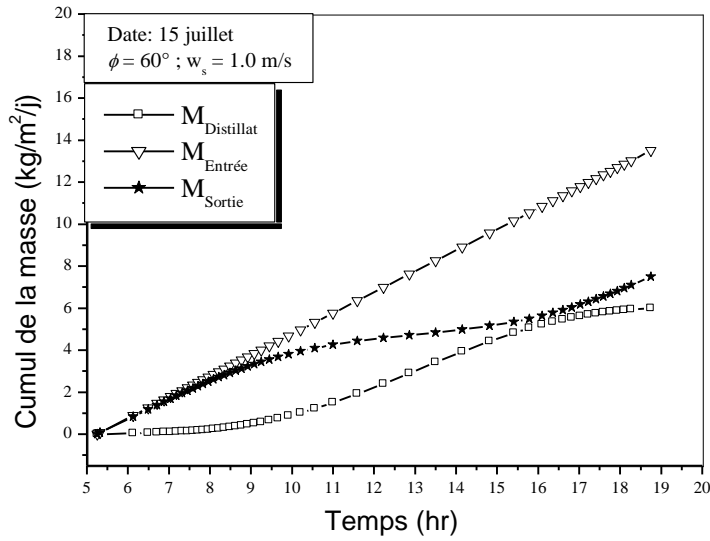
مباشر بالوسط الخارجي للجهاز، حيث يأخذ كلا من الغطاء الزجاجي والمكثف 5% الإضافي النسب الأوفر به 40% وهذا يفسر على أن قاعدة الحوض كلما كانت غليظة وسميكة ومتراسة بطبقات من مواد عازلة تقلل من التسريب كانت فعالية الجهاز أفضل، بخلاف سطوح التكتيف التي نسعى بتحسينها من أجل رفع معامل التسريب لغرض تسريع عملية التقطير.



الشكل.4.12. التوزيع المئوي لنسبة التسريبات الحرارة على مستوى المقطر الشمسي.

4.9. تغيرات معدل كمية الماء (المتدفقة، المقطرة والمصرفة) خلال مدة التشميس:

من خلال المنحنى الممثل في الشكل.4.13. يتبين بأن معدل تدفق ماء التغذية لخلية المقطر بالفيلم الشعيري تبقى على طول الاختبار ثابتة لنسجل في نهاية اليوم الكمية التي استخدمت لعملية التقطير والتي تبلغ حوالي 13.499kg من إجمالي

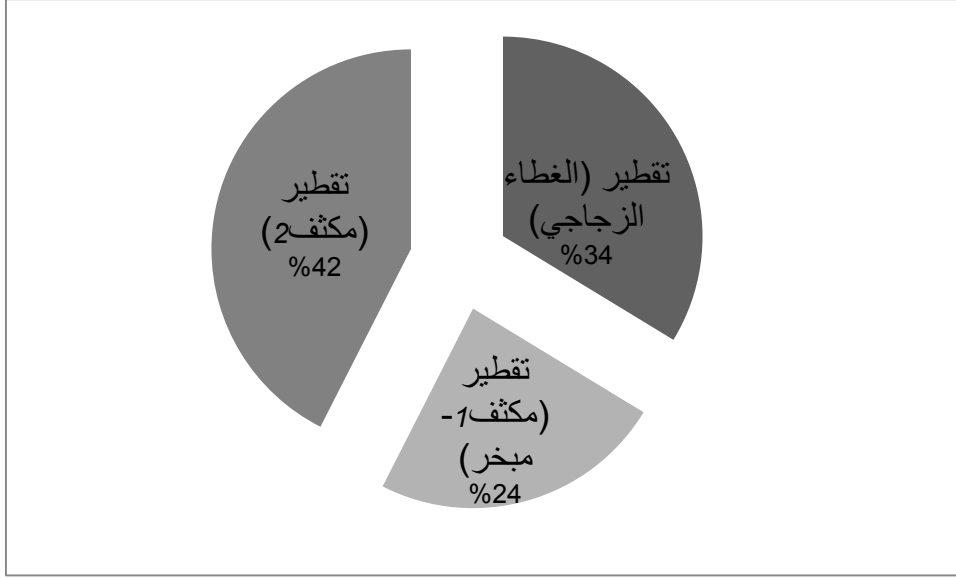


الشكل 4.13. منحنى تغيرات كلا من تدفق مياه المصرفة، المقطرة ومياه التزويد بدلالة الزمن المحلي.

ما تم تقطيره والذي يقدر بـ 56%، وما صرف كمياه شديدة الملوحة تقدر حوالي 44%.

4.10. النسب المئوية المساهمة في الناتج الكلي للتقطير:

يظهر الشكل 4.14. النسب المئوية للناتج اليومي الإجمالي من الماء المقطر حيث نلتمس 42% الناتجة من طرف المقطر بالفيلم الشعيري وهذا لعدة عوامل ساعدت للحصول على هذه الكمية. بينما لا نحصل على سوى 24% من هذه الكمية بالنسبة للصفحة المكثف-4-مبخر.



الشكل 4.14. منحني توزيع النسب المئوية المساهمة في عملية التقطير لكل من الغطاء الزجاجي، الصفيحة المعدنية والصفيحة المكثفة.

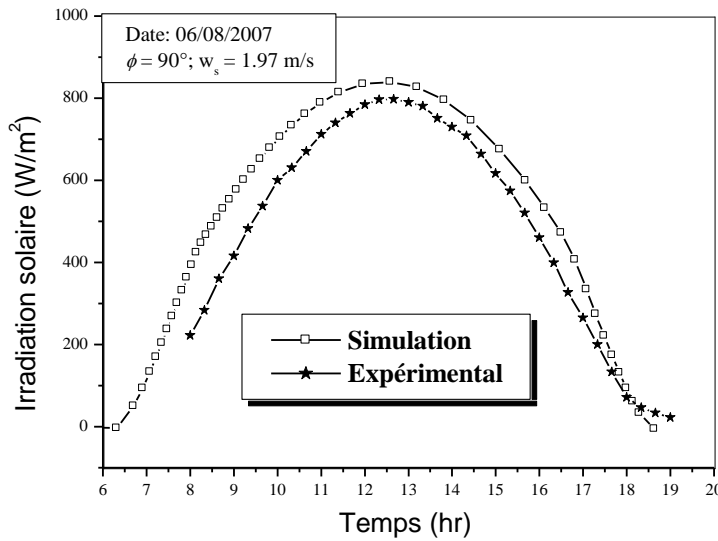
وهذا لسبب ارتفاع درجة حرارتها الناجمة من إطلال أحد وجهيها على حوض التبخير الذي يتعرض لعدة كميات طاقوية متبادلة بينه وبين الحوض، والسبب الثاني لوجود خلية مستطيلة محكمة الغلق تعدى بمثابة طبقة عازلة. مما يتسبب كل ذلك على انخفاض معدل التكثيف على مستوى هذه الصفيحة.

4. 11. دراسة إثباتيه للنموذج المنجز بالوضع العمودية للسفيحة المعدنية بالمحاكاة العددية:

في هذا الحالة سنقوم بدراسة، بغرض استعمال برمجة عددية لإثبات والتحقيق من النتائج التجريبية التي تحصلنا عليها خلال فترة إعداد مذكرة الماجستير على مستوى مخبر (LENERZA) بجامعة قاصدي مرباح بورقلة بتاريخ: 2007/08/06. في البداية نتحقق من الظروف المناخية لمنطقة ورقلة جنوب الشرقي للجزائر النموذج المعين للدراسة يمكن مشاهدته في الملحق B (الشكل.4.B.).

4. 11. 1. مقارنة بين شدتي الإشعاع الشمسي المقاس والمحاكاة:

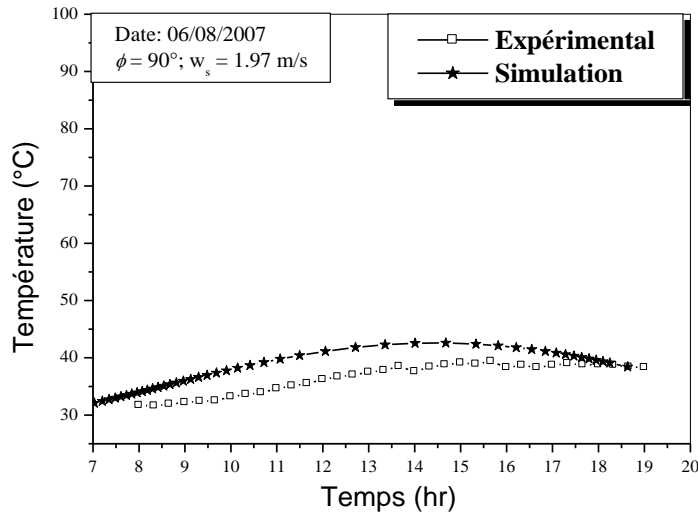
من خلال الشكل.4. 15. والشكل.4. 16. يمكن ملاحظة أنه يوجد شبه تطابق بين المنحنيات بالنسبة لشدة الإشعاع وكذا لدرجة حرارة الوسط بالنسبة للقيم المقاسه تجريبيا والمتحصل عليها عن طريق المحاكاة العددية وبواسطة المعادلة (25.2) من الفصل الثاني والمعادلة (15.3) من الفصل الثالث، وهذا يستدعي القول بأن الحساب الرقمي مضبوط بشكل مقبول. نسب التقارب بين النظري والتطبيقي يكون على النحو المتوالي 19.42% و9%.



الشكل.4. 15. مقارنة بين منحنى الإشعاع الشمسي النظري والتجريبي بدلالة الزمن المحلي.

4. 11. 2. مقارنة بين درجتي حرارة المحيط الخارجي نظريا وتطبيقيا:

فعليه من هذه النتائج يمكننا الإشارة إلى أن الفرضيات والتسهيلات التي أخذت في الحسبان كانت صحيحة بقدر مقبول، مع التنويه على أن القياسات التجريبية للإشعاع الشمسي كانت تؤخذ بالحسبان فقط قياس الإشعاع المباشر (Rayonnement direct).

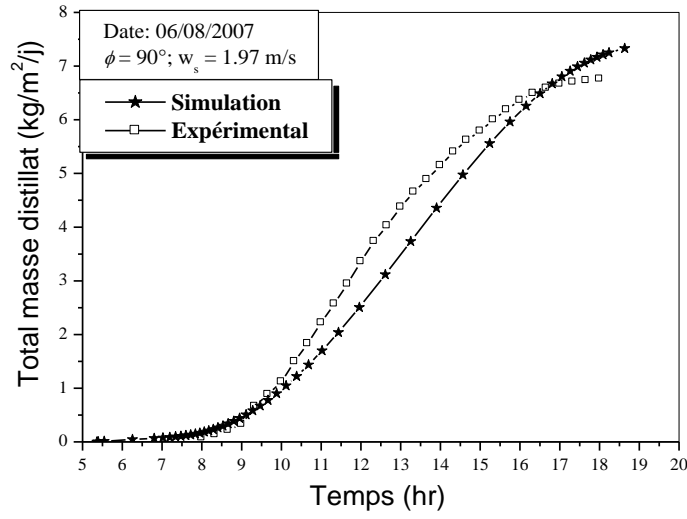


الشكل 4. 16. مقارنة بين القيم العددية والتجريبية لدرجة حرارة الوسط بدلالة الزمن المحلي.

وعلى هذه الاعتبارات توافق المنحنيين المقاس والرقمي بتلك الصورة. كما هو جدير بالتنبيه على أن نموذج (CAPEDROU) لحساب الإشعاع الشمسي يقرب الصورة الرقمية للقياسات الملموسة في الواقع.

4. 11. 3. مقارنة بين نواتج التقطير من الناحية التجريبية والمحاكاة العددية:

يبرز الشكل 4. 17. مدى تطابق بين منحنى النتائج التجريبية مع منحنى القيم المحاكاة العددية مع أخذ بالاعتبار المعطيات المناخية للمنطقة وذلك بحساب متوسط سرعة الرياح التي تؤثر على عملية التقطير والتي تبلغ حوالي 1.97m/s، وعليه تبلغ نسبة التفاوت بين العملية التجريبية والنظرية حوالي 8%.



الشكل 4.17. مقارنة بين الكمية التجميعية المتحصل عليها تجريبيا وعدديا بدلالة الزمن المحلي.

هذه النسبة تعطي تفسيراً لمدى تثبت النتائج التجريبية المتحصل عليها، وكذا فعالية التمثيل الرقمي.

**الفصل الخامس
الدراسة الاجتماعي-
الاقتصادي**

5. مقدمة:

في هذا الفصل نذكر بأثر تكلفة إنشاء جهاز تقطير شمسي على الجانب الاجتماعي والاقتصادي. هناك العديد من العوامل التي تؤخذ بالحسبان والتي قد تؤثر على معايير التكلفة، وعلى اختيار التقنية لتحليه الماء. المعايير الرئيسية لتقدير تكاليف أنظمة التقطير صغيرة الحجم فهي لا تختلف كثيرا عن تلك الأنظمة على نطاق واسع. قدمت العديد من الدراسات ذات الصلة، ووجد أن تكلفة الإنتاج لتحليه المياه والتي تعتمد بشكل أساسي على الظروف الجغرافية وكذا توفر المعدات المناسبة لاستخدامها في المنطقة. وميزة استخدام المصادر الطاقة النظيفة تكمل في زيادة تكاليف الاستهلاك. ومع ذلك التقطير الشمسي لا يزال واحد من أكثر التقنيات الملائمة لاستعمالها في المناطق النائية والصحراوية. ويعود هذا نظرا للإنتاج الضئيل للمقطرات الشمسية مقارنة بباقي التقنيات المعهودة حاليا، إلا أننا لا نستغني عن هذه التقنية، وذلك بمحاولة تحسين أداءها ورفع كفاءة إنتاجيتها، والتشجيع من أجل استغلالها في المناطق النائية التي تفتقر أساسا لبدائل الطاقة الشمسية.

5.1. الدراسة الاجتماعية-الاقتصادية:

5.1.1. الأثر الاجتماعي الناجم عن أزمة المياه:

إن نصف سكان العالم في الوقت الحالي يعيشون في قرى ومدن، ويتوقع أن يصل هذا العدد إلى ثلثي مطلع 2050، ونتيجة لذلك ستزداد الحاجة لتوفير ضروريات الحياة. وبما أن الماء يشكل المصدر الأساسي لاستمرار الحياة لأي مخلوق، وللنشاطات البشرية الاقتصادية والاجتماعية. وتعد الزراعة والصناعة المستهلكان الأكبر لمصادر المياه، 70% توجه نحو القطاع الزراعي، بينما 90% يوجه للصناعة، ويتكفل الباقي للمتطلبات اليومية. يقود ما سلف ذكره إلى أن هناك استنزاف كمي ونوعي للموارد الطبيعية واستغلالها بكميات تفوق معدل تجددتها الطبيعي. وحتى يتمكن الإنسان من توفير جو المعيشي المستقر والأمن لا بد من توفر مصدر سليم ودائم لمنابع المياه الصالحة للشرب، لسد احتياجاته اليومية، وفي الكثير من

المناطق كان البحث عن الماء هو الذي يدفع بالكثير للنزوح وتحمل مشاققة الترحال للظفر عليه.

إن أثر الإنسان في خلق الأزمات والصراعات حول نضوب منابع المياه، يتمثل في ازدياد حاجاته الغذائية والزراعية بالإضافة لتطور جانب الصناعة، كل هذا وذاك يتطلب توفير بصورة واسعة موارد مائية دائمة ومستمرة. لتحقيق ذلك يجب وضع إستراتيجية هادفة لأجل العقلانية في تسير الموارد المائية.

5. 1. 2. الأثر الاقتصادي:

جميع المواد المكونة للجهاز ترتكز على الأسعار في الأسواق العالمية والمحلية. يتأثر النمط الاقتصادي على عدم الاستقرار في التحويلات المادية على مدار الزمن، وحتى نجد نموذج تقريبي الذي من خلاله نقرب الصورة الواقعية من الصورة المحاكاة العددية يجب الأخذ بالحسبان هذه العوامل التي تدخل في حساب التكلفة التقريبية للماء المحلى عن طريق جهاز التقطير.

5. 1. 2. 1. الإنتاجية:

من خلال تقدير الناتج الإجمالي من الماء المقطر من طرف جهاز التقطير الشمسي يمكن تقدير تكلفة الماء المحلى. وهذا خلال مدة زمنية معينة ولتكن على تقدير خلال 1 سنة. يحسب الناتج اليومي من الماء المقطر بواسطة العلاقات المذكورة في الفصل الثالث وهي المعادلات (28.3)، (29.3) و(30.3) بينما خلال السنة نأخذ العلاقة التالية:

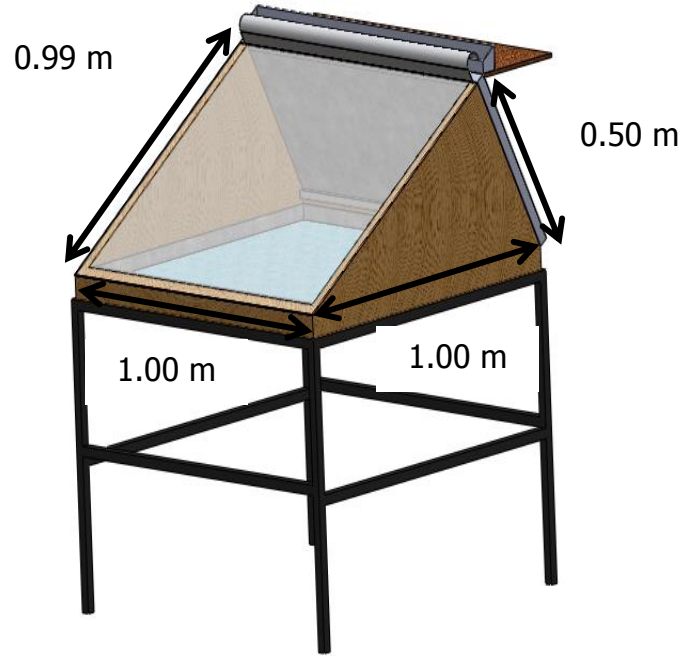
$$(1.5) \quad m_A = \sum_{i=1}^n m_T$$

حيث يمثل n رقم الشهر في السنة.

5. 1. 2. 2. التكلفة المادية للجهاز:

الجهاز المدروس هو تركيب لمقطرين شمسيين، متصلين مباشرة كما هو موضح في الشكل 5. 1، يتمثل حساب تكلفة المادية للجهاز مرورا بحساب سعر كل عنصر داخل في تركيبه. في

الجدول 5.1. يعطى فيه سعر الوحدة لمختلف مكونات الجهاز حسب السعر المتداول في الأسواق المحلية. تعطى العلاقة المعبرة عن تكلفة الجهاز السنوية، حسب (Saleh, 2003) بالشكل المرسوم وفق (SolidWorks, 2012):



الشكل 5.1. صورة تجسيدية لجهاز التقطير الشمسي المعدل مع الأبعاد المحتملة.

التكلفة الإجمالية السنوية (CAT) = تكلفة الاستثمار السنوية (CAI) + تكلفة الصيانة والاستغلال السنوية (CAME) - القيمة الاستهلاكية السنوية (VAA)

جدول 5.1. إعطاء السعر الوحدة لمجمل العناصر الداخلة في تركيب الجهاز.

العنصر	نمط المادة	التمن (دج)
الغطاء	زجاج	100.00
الصفحة مكثف 4-مبخر	قالفانيزي	320.00
الصفحة مكثف 5	قالفانيزي	320.00
صفحة الحوض	قالفانيزي	320.00
العازل	بوليستران	300.00
الصندوق	الخشب	400.00
المسند	فولاذ	120.00

5. 1. 2. 3. التكلفة السنوية للاستثمار (CAI):

ليكن CC عبارة عن التكلفة المادية للجهاز، و FRC يعبر عن معامل انتعاش المال المودع، وعليه تحسب التكلفة السنوية للاستثمار بالعبارة التالية:

$$(2.5) \quad CAI = CC \times FRC$$

حيث يكتب FRC بالعبارة التالية:

$$(3.5) \quad FRC = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

ويمثل n المدة الافتراضية لحياة الجهاز. و $r\%$ يمثل نسبة الفائدة البنكية.

5. 1. 2. 4. التكلفة السنوية للصيانة وحق الانتفاع (CAME):

الصيانة الدورية للجهاز، مطلوبة لضمان بقاء عناصره سليمة من التلف. يجب تنظيف جميع مكوناته من الشوائب التي تعلق عليه، واستبدال إن أمكن ما تعطل. وعليه تكلفة الصيانة والاستغلال السنوي للجهاز؛ يمكن اعتبارها كنسبة 15% من التكلفة المادية للجهاز. ومع ذلك فهي ليست عالية كثيرا. كما يتم إهمال الضريبة السنوية ورسوم التأمين (إن وجدت)، بالإضافة لتكلفة المياه المالحة.

5. 1. 2. 5. القيمة السنوية للاستهلاك (VAA):

ليكن S القيمة الاستهلاكية للجهاز. ويمكن اعتبارها كنسبة للتكلفة الابتدائية للجهاز، بينما تكتب قيمة الاستهلاك السنوي بالعبارة التالية:

$$(4.5) \quad VAA = S \times FAF$$

حيث FAF يمثل معامل الاستهلاك الأساسي ويعطى بالعلاقة التالية:

$$(5.5) \quad FAF = \frac{r}{[(1+r)^n - 1]}$$

جدول 5.2: تقدير التكلفة لمكونات الجهاز بالاستناد لاعتبارات (Ranjan, 2013).

العنصر	نمط المادة	الوزن (kg)	المساحة (m ²)	سعر الوحدة (دج)	التكلفة (دج)
الغطاء	الزجاج	2.6	0.86602	100.00	260.00
الصفیحة مكثف-4 مبخر	فولاذ قالفانیزي	0.745	0.5	320.00	238.40
الصفیحة مكثف-5	فولاذ قالفانیزي	0.745	0.5	320.00	238.40
صفیحة الحوض	فولاذ قالفانیزي	3.25	1	320.00	1040.00
العازل	بولیستیران		1.44	300.00	
الصندوق	الخشب	48.5	-	400.00	19400.00
المسند	فولاذ عادي	5.67	-	120.00	680.40
المجموع		67.3271			21857.20
لواحق أخرى & العمل اليدوي		5.8171			3278.58
التكلفة المادية للجهاز CC					25135.78
القيمة الاستهلاكية S (تمثل 25% من تكلفة المواد المستعملة)					6283.945

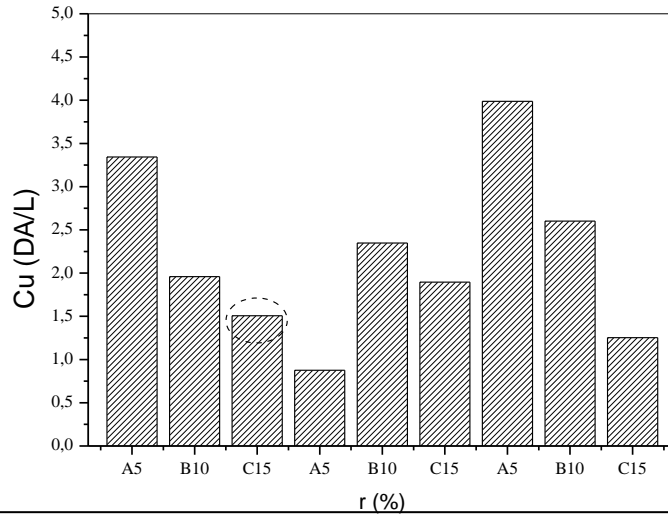
تحسب وحدة التكلفة للتر الواحد من الماء المقطر بالعلاقة التالية:

$$(6.5) \quad C_u = \frac{CAT}{m_A}$$

جدول 5.3: يبرز مختلف المعاملات المؤثرة على سعر الوحدة من الماء المقطر (Saleh, 2003).

C _u (DA/L)	CAT(DA)	CAME(DA) من 15% من CAI	VAA(DA)	CAI(DA)	FAF	FRC	الناتج السنوي (L)m _A	مدة حياة (العام)n	الفائدة .r%
3.3438236	5517.309	867.185	1131.110	5781.234	0.180	0.230	1650	5	5
1.9590679	3232.462	486.377	496.431	3242.516	0.079	0.129	1650	10	5
1.5066236	2485.929	361.955	289.061	2413.035	0.046	0.096	1650	15	5
0.8759436	1445.307	942.591	1068.270	1570.986	0.170	0.250	1650	5	8
2.3475291	3873.423	561.784	433.592	3745.231	0.069	0.149	1650	10	8
1.8950848	3126.890	437.362	226.222	2915.750	0.036	0.116	1650	15	8
3.9866867	6578.033	991.606	1024.283	6610.710	0.163	0.263	1650	5	10
2.6019339	4293.191	610.799	389.604	4071.996	0.062	0.162	1650	10	10

1.2527897	2067.103	295.031	194.802	1966.874	0.031	0.131	1650	15	10
-----------	----------	---------	---------	----------	-------	-------	------	----	----



الشكل 2.5. 2. تغيرات كلفة وحدة من الماء المقطر بدلالة مدة حياة الجهاز.

من خلال النتائج المدونة في **الجدول 5. 3.** نستنتج سعر الوحدة من الماء المقطر يتغير ما بين 1-4 دج، ويرتبط هذا السعر بنسبة الفائدة الذي يتماشى مع أسعار السوق، كذلك مرتبط بمدة حياة المواد المستعملة في التركيب. هذه المواد المفترضة لها مدة حياة تتغير على الترتيب (5 سنوات لفولاذ القالفانيزي، 10 سنوات للألمنيوم، 15 سنة للنحاس). توافق الزيادة في التكلفة نسبة النقصان في تكاليف إنشاء جهاز تقطير.

من خلال المنحنى المبين في **الشكل 5. 2.**، نلاحظ بأن مدة حياة الجهاز تقدر 15 سنة يقابلها نسبة الفائدة بحدود 5%، وناتج سنوي على تقدير 1650 لتر يوافق كل هذا تكلفة إنتاجية بحدود $1.50DA/m^3$ (1506DA).

على حسب الاعتبارات السابقة حينما نقارن تكلفة إنتاج الماء المحلى عن طريق الطاقة الشمسية المباشرة مع مثيلاتها من التقنيات التي تستعمل الطاقة الناضبة الملوثة للبيئة، نجد بأن سعر التكلفة الإنتاجية اليومية عالية جدا $1.3-6.5U\$/m^3$ ، بينما يتراوح سعر تكلفة الإنتاجية للمتر مكعب من الماء المحلى مثلا لتقنيتين (الأسموز العكسي OR و التقطير متعدد المراحل MSF) ما يقارب $0.6-0.7U\$/m^3$.

2.5. الخلاصة:

استعرضنا في هذا الفصل سعر تكلفة المتر مكعب من الماء المقطر الناتجة من المقطر المعدل، ومقارنتها مع تلك المتعلقة ببعض التقنيات المتداولة حاليا لتحليه المياه، حيث تبين من خلال المقارنة أن التكلفة كبيرة نسبيا، لكن احتياجات الطاقة مجانية وصديقة للبيئة، بالرغم من هذا بإمكانها أن تلبى متطلبات تجمع سكاني صغير في مناطق نائية حيث لا تتوفر على طاقات بجهد عالي.

6. الخلاصة العامة:

الدراسة النظرية التي أجريت على مثل هذا المقطر الشمسي، سبقتها دراسة تجريبية على نفس النموذج لكن باعتبار الطرف المستبدل(الغطاء الزجاجي الشمالي) في هذه الحالة بوضعية عمودية. توصلنا على ضوء النتائج النظرية المتحصل عليها، بأن مثل هذا النموذج المقترح من طرفنا يسمو على ذلك النموذج المجرب سابقا بالوضعية العمودية. وجه الاختلاف بينهما يكمل في تعرض النموذج بالوضعية العمودية لمصدرين طاقيين وهما؛ الحرارة الكامنة للتكثيف، بالإضافة لتلقيه لأشعة شمسية خلال فترات من النهار. هذان المصدران يرفعان درجة حرارة الصفيحة مكثف4-مبخر مما يثبط فعل التكثيف. وعليه فإنه من خلال المنحنيات والنتائج يمكن استخلاص ما يلي:

1. نظرا للعلاقة الوطيدة بين شدة الإشعاع وزيادة المردود، فإن إبراز فعالية المقطر تظهر إلا في الشهور التي تكون فيها شدة الإشعاع فوق $600W/m^2$. بينما في الشهور التي تقل عن تلك القيمة يمكن في هذه الحالة الاستعانة بالمركزات الشمسية لمضاعفة شدة الإشعاع.

2. مساحة الالتقاط الإشعاعي بالغة الأهمية في المقطرات الشمسية، لهذا ينصح بإنشاء هذه المقطرات مع الحرص بعدم ظهور بقع مظلمة. يجب البحث عن صبغة لها القدرة على زيادة معدل الامتصاص الإشعاعي في الحوض

3. عملية التبخير في المقطرات الشمسية ليست تسخيننا حتى الغليان، لهذا كمية الماء المالحة في الحوض لا بد أن تتوافق مع درجة حرارة التبخير. كلما كانت طبقة الماء في الحوض صغيرة كلما حصلنا على بخار ماء بكمية أكبر، ومدة تسخين أقل ما يمكن. والعكس صحيح.

4. سرعة الرياح لها تأثير سلبي على نظام التقطير، فكلما زادت قوتها زادت بالمقابل تسريبات الحرارة الخارجية. لهذا يرجى تعزيز العزل الحراري لأنظمة التقطير.

5. من خلال هذه الدراسة أمكننا تقدير الزاوية الأنسب لميل سطح التكثيف المستبدل للمقطر المعدل، وهي بحدود 60° حيث نحصل على مردود جيد من جهة، ومن جهة أخرى نتفادى ظهور مساحات مظلمة على مستوى الحوض.

6. يثبت البرنامج الرقمي المعد من طرفنا مدى نجاحه في توافقه مع النتائج التجريبية.

7. أظهر التحليل الاقتصادي لهذا الجهاز الذي إذا تم اعتمده في منطقة صحراوية مثل ورقلة بأن سعر 1 كلغ من الماء المقطر المنتجة يكون بحدود 1.50 دج، على أساس 15 سنة كمدة حياة لهذا الجهاز وفائدة سنوية على تقدير 5%.

الملحقات

A. الملحق

نذكر في هذا الملحق بعض العبارات والعلاقات التي نحتاجها لاستكمال جميع العبارات المأخوذة بالاعتبار في الحسابات الرقمية. عبارة معامل الشكل لثلاث سطوح متقابلة وتشكل حيزا مغلقا كما هو مصرح عليه في الفصل الثالث.

$$(1.A) \quad f_{ve} = \frac{L_v + L_e - L_v}{2L_v}$$

حيث

$$f_{vv} = f_{ee} = f_{pp} = 0$$

العبارات التصحيحية للزاوية الزمنية (a).

$$(2.A) \quad \sin(\acute{a}) = \frac{\sin(a) \cos(\delta)}{\sin(h)}$$

وبالتالي:

$$(3.A) \quad \tan(\acute{a}) = \frac{\sin(a)}{[\sin(\phi) \cos(a) - \cos(\phi) \tan(\delta)]}$$

نأخذ بالاعتبار الثوابت التالية بالحسبان:

$$(4.A) \quad \begin{cases} C_1 = \begin{cases} 1 & \text{si } |a| < a_{ew} \\ -1 & \text{si non} \end{cases} \\ C_2 = \begin{cases} 1 & \text{si } \phi(\phi - \delta) \geq 0 \\ -1 & \text{si non} \end{cases} \\ C_3 = \begin{cases} 1 & \text{si } a \geq 0 \\ -1 & \text{si non} \end{cases} \end{cases}$$

وعليه نعرف الثابت a_{ew} على النحو التالي:

$$(5.A) \quad \cos(a_{ew}) = \tan(\delta) / \tan(\phi)$$

نستنتج في الأخير عبارة الزاوية الزمنية المصححة a_s كما يلي:

$$(6.A) \quad a_s = C_1 C_2 \acute{a} + C_3 \left(\frac{1 - C_1 C_2}{2} \right) 180$$

الملحق B:

في هذا الملحق نسرد بعض الجداول الخاصة بالمعاملات الترمو-فيزيائية الداخلة في الحسابات العددية.

جدول B.1. إعطاء نسب خاصة بمقادير الامتصاص والانتشار للإشعاع الشمسي.

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

جدول B.2. الخصائص الترمو-فيزيائية المستخدمة في هذه الدراسة.

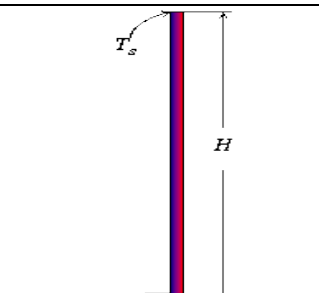
المعاملات	المقتر الشمسي البسيط	المقتر بالفيلم الشعيري
$E_e (m)$	0.01	
$E_p (m)$		0.001
$E_v (m)$	0.04	
$S_b (m^2)$	1	
$S_p (m^2)$		0.5
$S_v (m^2)$	0.866	
$\rho_v (kg.m^{-3})$	2800	
$\rho_b (kg.m^{-3})$	7140	
$\rho_p (kg.m^{-3})$	7864	
$\lambda_b (W.m^{-1}.K^{-1})$	113	
$\lambda_{iso} (W.m^{-1}.K^{-1})$	0.037	
$Cp_v (kJ.kg^{-1}.K^{-1})$	0.460	
$Cp_b (kJ.kg^{-1}.K^{-1})$	0.896	
$Cp_p (kJ.kg^{-1}.K^{-1})$		0.390
$m_b (kg)$	10	
$m_e (kg)$		0.5
α_v	0.0475	
α_e	0.05	
α_p		0.80-0.95
α_b	0.95	
ϵ_v	0.88-0.90	
ϵ_e	0.955	
ϵ_p		0.93
ϵ_b	0.95	
$w_s (m.s^{-1})$	2.0	2.0

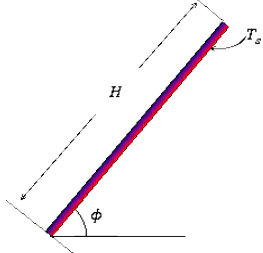
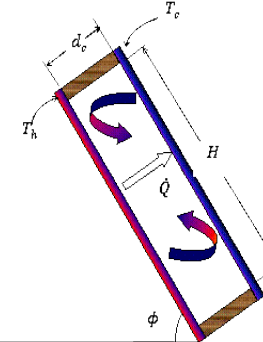
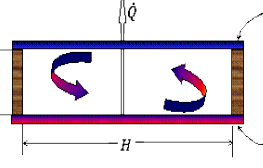
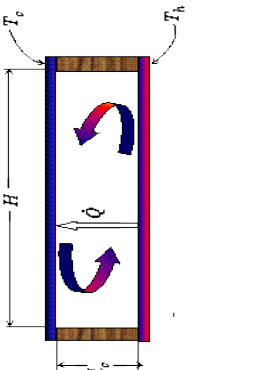
في الجدول التالي يمكن تلخيص مجمل الأشكال الهندسية مع أخذ بعين الاعتبار الوضعيات الممكنة لزاوية الميل بالنسبة للأفق وأهم العبارات التصحيحية المأخوذة في الحساب.

جدول B.3. قيم عدد Nusselt بدلالة وضعيات وأبعاد خلية التقطير.

العدد Nusselt	شروط على (H/d_c)	شروط على (Pr, Ra_h, ϕ_{cr})
$Nu(\phi) = 1 + [Nu_{\phi=90^\circ} - 1] \sin(\phi)$		$90^\circ < \phi < 180^\circ$
$Nu(\phi) = Nu_{\phi=90^\circ} (\sin(\phi))^{1/4}$		$\phi_{cr} < \phi < 90^\circ$
$Nu(\phi) = \left[\frac{Nu_{\phi=90^\circ}}{Nu_{\phi=0^\circ}} (\sin(\phi))^{1/4} \right]^{\frac{\phi}{\phi_{cr}}}$	$H/d_c < 10$	$0^\circ < \phi < \phi_{cr}$
$Nu(\phi) = 1 + 1.44 X_1 X_2 + X_3$	$H/d_c > 10$	
أما في حالة الخلية العمودية المغلقة بمعنى $(\phi = 90^\circ)$ يوصى باستعمال العبارات التالية:		
$Nu(90^\circ) = 0.18 \left(\frac{Pr}{0.2 + Pr} Ra_h \right)^{0.29} \left(\frac{d_c}{H} \right)^{-0.13}$	$1 < H/d_c < 2$	$10^{-3} < Pr < 10^5$ $\left(\frac{Pr}{0.2 + Pr} Ra_h \right)^{0.29} \left(\frac{d_c}{H} \right)^3 > 10^{13}$
$Nu(90^\circ) = 0.22 \left(\frac{Pr}{0.2 + Pr} Ra_h \right)^{0.28} \left(\frac{d_c}{H} \right)^{0.09}$	$2 < H/d_c < 10$	$Pr < 10^5$ $Ra_h < 10^{13}$
$Nu(90^\circ) = 0.42 Ra_h^{1/4} Pr^{0.012} \left(\frac{H}{d_c} \right)^{-0.3}$	$10 < H/d_c < 40$	$1 < Pr < 2 \times 10^4$ $10^4 < Ra_h < 10^7$
$Nu(90^\circ) = 0.46 Ra_h^{1/3}$	$1 < H/d_c < 40$	$1 < Pr < 20$ $10^6 < Ra_h < 10^9$

جدول B.4. عبارة عدد Nusselt لأشكال هندسية مختلفة.

العلاقة الموصى عليها	مجال كلا من Ra	الأبعاد	الشكل الهندسي مع اعتبار $T_c < T_h$
$Nu(90^\circ) = 0.59 Ra_v^{1/4}$	$Ra_v < 10^9$	H	
$Nu(90^\circ) = 0.1 Ra_v^{1/3}$	$Ra_v < 10^9$		
$Nu(90^\circ) = \left[0.825 + \frac{0.387 Ra_v^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right]^2$	$Ra_v < 10^9$		الشكل B.1. صفيحة في وضع عمودي.

<p>نستبدل المقدار $g \cos(\phi)$ مكان g في عبارة Ra</p>	$Ra_V < 10^9$	H	 <p>الشكل. B. 2. صفيحة في وضع مائل.</p>
$Nu(\phi) = 1 + 1.44 \left[\left(1 - \frac{1780 (\sin(1.8 \phi))^{1.6}}{Gr Pr \cos(\phi)} \right) \left(1 - \frac{1780}{Gr Pr \cos(\phi)} \right) + \left(\left(\frac{Gr Pr \cos(\phi)}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right) \right]$	$Ra < 10^5$	H/d_c	 <p>الشكل. B. 3. الخلية في وضع مائل.</p>
$Nu(0^\circ) = 1 + 1.44 \left(1 - \frac{1780}{Ra_h} \right)^+ + \left(\frac{Ra_h^{1/3}}{18} - 1 \right)^+$	$Ra_h < 10^8$	H/d_c	 <p>الشكل. B. 4. الخلية في وضع أفقي.</p>
$Nu(90^\circ) = 0.18 \left(\frac{Pr}{0.2 + Pr} Ra_h \right)^{0.29} \left(\frac{d_c}{H} \right)^{-0.13}$	$\left(\frac{Pr}{0.2 + Pr} Ra_h \right) > 10^{13}$	H/d_c	 <p>الشكل. B. 5. الخلية في وضع عمودي.</p>
$Nu(90^\circ) = 0.22 \left(\frac{Pr}{0.2 + Pr} Ra_h \right)^{0.28} \left(\frac{d_c}{H} \right)^{0.09}$	$Ra_h < 10^{10}$		
$Nu(90^\circ) = 0.42 Ra_h^{1/4} Pr^{0.012} \left(\frac{H}{d_c} \right)^{-0.3}$	$10^4 < Ra_h < 10^7$		
$Nu(90^\circ) = 0.46 Ra_h^{1/3}$	$10^6 < Ra_h < 10^9$		

B. 1. اختبار تحقق من الصحة:

تمثل هذه الصورة العمل التجريبي المنجز في مخبر الطاقات الجديدة والمتجددة بالمناطق النائية والصحراوية (LENREZA) على مستوى جامعة قاصدي مرباح بتاريخ 2007/08/06، هذا العمل يندرج في إطار إعداد مذكرة الماجستير. وعلى هذا الأساس تم تعديل في النموذج

وتحسين كفاءته على أساس المحاكاة العددية (أنظر الشكل 6.B).
الخصائص الهندسية للجهاز مدونة في الجدول 5.B. التالي:

جدول 5.B: الخصائص الهندسية والحرارية للجهاز.

المعاملات	الغطاء الزجاجي	المبخر	المكثف 2، 4
الكتلة الحجمية (kg/m^3)	2700	7864	7864
التوصيلية الحرارية ($\text{W/m/}^\circ\text{C}$)	0.741	20	20
الحرارة النوعية ($\text{J/kg/}^\circ\text{C}$)	840	460	460
الامتصاصية	0.1	0.95	0.95
الإمرارية	0.9	0.0	0.0
السُمْك (m)	0.003	0.001	0.0006
الإنبعاثية	0.9	0.2	0.2
المساحة (m^2)	0.32	0.173	0.106
المسافة الفاصلة (m)	-	-	0.038
زاوية الانحناء ($^\circ$)	30	0	90



الشكل 6.B: رسم تخطيطي للتركيب التجريبي على المقطر المزدوج 06/08/2007

جدول B.6: خصائص الهواء الجاف (Belhadj, 2014)

$Cp_{air} = 1055.05 - 0.3475T + 6.25 \times 10^{-4}T^2$	السعة الحرارية
$\rho_{air} = 353/(T + 273,15)$	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
$\beta_{air} = 1/(T + 273.15)$	معامل التمدد الحراري

جدول B.7: خصائص الماء المالح (Belhadj, 2014)

$Cp_e = 3958 - 52.3S + 0.837T$	السعة الحرارية
$\rho_e = 1002.6 - 0.505 \times 10^{-1}T - 0.38 \times 10^{-2}T^2$	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
$Pr = 12.501 - 0.261T + 1.577 \times 10^{-3}T^2$	عدد Prandtl

جدول B.8: خصائص الهواء الرطب (Belhadj, 2014)

$\mu_m = 1.718 \times 10^{-5} + 4.62 \times 10^{-8}T$	اللزوجة الديناميكية
$\beta_m = 1.6578 \times 10^{-3}T \cdot [0.362 \cdot x - 1]^{-1}; x = P/P_0$	معامل التمدد الحراري
$Cp_m = (Cp_a + Cp_e \cdot y)/(1 + y); y = 0.622((\frac{P_s}{P}) - 1)$	السعة الحرارية

المراجع:

- Ahmed** S. T., Study of single-effect solar still with an internal condenser. *Solar & Wind Technology* (1988); 637-643.
- 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* 43 (2002);:1639–1650.
- 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).
- Bechki** Djamel, 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.
- Belhadj** Mohammed Mustapha, H. Bouguettaia, Y. Marif, M. Zerrouki, D. Bechki, M. Benhammou, Theoretical and Experimental Study of the Solar Still Coupled To a Vertical Still with Water Film. *Journal of Engineering Research and Applications*, March (2014); 547-552.
- Bernard** R. G. Menguy, M. Shwartz, "Le rayonnement Solaire", Edition TEC& DOC Lavoisier, Paris, (1980).
- Bouchekima** Bachir., Bernard Gros, Ramdane Ouahes, Mostefa Diboun., The performance of the capillary film solar still installed in South Algeria. *Desalination* 137 (2001) 31-38
- Capderou** M. Theoretical and experimental models solar atlas of Algeria, (in French) Tome 1 and 2, Algeria: University Publications Office; (1987).
- Cengel** YA. Heat and mass transfer: a practical approach. New York: Mc Graw Hill; (2006) [chapter 9].
- Communay** Pierre Henri., Heliothermique, Le gisement solaire Méthodes et calculs. Groupe de chercheur et d'édition, 2002.
- Cooper** P. i. Digital simulation of transient solar still processes, *Solar Energy*. (1969) Vol.12, 313-331.
- Delyannis** E. Historic background of desalination and renewable energies. *Solar Energy* 75 (2003); 357–366.
- Dhiman** Naresh K. Evaluation of Optimum Thickness of Bottom Insulation for a Conventional Solar Still. *Desalination*, 78 (1990); 201-208.
- El-Bahi** A. D. inan. A solar still with minimum inclination, coupled to an outside condenser *Desalination* 123 (1999) 79-83.

- Fath** ES. ELsherbiny. Samy M., Effect of adding a passive condenser on solar still performance. *Energy Convers Manag* (1993); 34(1): 63–72.
- Harmim** A. Merzouk M. Boukar M. Amar M. Mathematical modeling of a box type solar cooker employing an asymmetric compound parabolic concentrator. *Solar Energy* 86: (2012); 1673–1682.
- Hassan** E.S. Fath, H.M. Hosny. Thermal performance of a single-sloped basin still with an inherent built-in additional condenser. *Desalination* 142 (2002) 19-27.
- 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.
- Johan** A. Duffie William A. Beckman. *Solar Engineering of thermal Processes*, Fourth Edition, University of Wisconsin-Madison. 2013
- Kabeel** AE. Khalil A, Omara ZM, Younes MM. Theoretical and experimental parametric study of modified stepped solar still. *Desalination* 289 (2012); 12–20.
- Khalifa** AbdulJabbar N. Hamood Ahmad M. Effect of insulation thickness on the productivity of basin type solar stills: an experimental verification under local climate. *Energy Convers Manag* 50 (2009); 2457–2461.
- 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* (2009); 83:1312–1321.
- Malik** MAS. Tiware GN. Kumar A. Sodha MS. *Solar distillation*. Oxford, UK: Pergamon Press; 1982.
- Marif** Yacine. Contribution à l'amélioration du rendement d'un distillateur a film capillaire multi étagé, mémoire de magister *Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie* (2008).
- Nafey** AS. Abdelkader M. Abdelmotalip A. Mabrouk AA. Parameters affecting solar still productivity. *Energy Convers Manag* 2000; 41: 1797–1809.
- Okeke** C. E. Egarievwe S. U. and Anmalu A. O. E. Effect's of coal and charcoal on solar-still performance. *Energy* 11 (1990) 1071-1073.
- Ouahes** R. and C. and P. and J. LE Goff., A hardy, high-yield solar distiller of brackish water, *Desalination* 67 (1987) 43-52
- Ouahes** R. Le Goff P. Ouahes C. Brevet CNRS, n° de publication 2583738, INPI, Paris, 1986.
- Perrin** de Brichambaut, Ch. Vauge, *Le gisement solaire*, Edition TEC&DOC Lavoisier, Paris, 1982.

Phadatare MK. VermaSK. Influence of water depth on internal heat and mass transfer in a plastic solar still. *Desalination* 2007; 217: 267–275.

Radhwan Abulhaiy M. Transient analysis of a passive solar still for heating and humidifying greenhouses. *Desalination* 2004; 16(1): 89–97.

Rahbar N. Esfahani JA. Experimental study of a novel portable solar still by utilizing the heat pipe and thermo-electric module. *Desalination* 2012; 284: 55–61.

Ranjan K. R. and Kaushik S. C. Economic feasibility evaluation of solar distillation systems based on the equivalent cost of environmental degradation and high-grade energy savings. *Oxford Journals. Advance Access* published December 28, 2013.

Reicosky D.C. Winkelman L.J. Baker J.M. and Baker D.G. Accuracy of hourly air temperatures calculated from daily minima and maxima. *Agricultural and Forest Meteorology*, 46 (1989) 193-209.

Sacadura JP. initiation aux transferts thermiques. Ed Tech et doc Paris; 1979 [in French].

Sadineni S.B. Hurt R. Halford C.K. Boehm R.F. Theory and experimental investigation of a weir-type inclined solar still. *Energy* 33 (2008) 71–80.

Safwat Nafey A. Abdelkader M. Abdelmotalip A. Mabrouk A.A. Parameters affecting solar still productivity. *Energy Conversion & Management* 41 (2000) 1797-1809

Saleh AL-Kharabsheh. Theoretical and experimental analysis of water desalination system using low grade solar heat. University of FLORIDA, 2003.

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).

Simos TE. Runge-Kutta Fehlberg A. Method with phase-lag of order infinity for initial-value problems with oscillating solution. *Comput Math Appl* 1993; 25(6): 95–101.

Solidworks Corporation. 300 Baker Avenue, Concord, MA 01742, Available form: <http://www.solidworks.com/>. (2012)

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* 180 (2005); 73-88.

Tiwari A Kr. Tiwari GN. Effect of water depths on heat and mass transfer in a passive solar still: in summer climatic condition. *Desalination* 2006; 195:78–94.

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* 130 (2005); 27–33.

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* 207 (2007); 184–204.

Tsilingiris PT. Thermophysical and transport properties of humid air at temperature range between 0 and 100°C. *Energy Convers Manage* 49 (2008); 1098–1110.

Tsilingiris PT. Modeling heat and mass transport phenomena at higher temperatures in solar distillation systems—the Chilton–Colburn analogy. *Solar Energy* 84 (2010); 308–317.

Velmurugan V. Gopalakrishnan M. Raghu R. Srithar K. Single basin solar still with fin for enhancing productivity. *Energy Conversion and Management* 49 (2008); 2602–2608.

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.

Zerrouki M. Settou N. Marif Y. and Belhadj M.M. Simulation study of a capillary film solar still coupled with a conventional solar still in south Algeria, *Energy Conversion and Management*. 85 (2014); 112-119.

بالحاج محمد مصطفى. "مساهمة في تحسين التقطير الشمسي بواسطة المقطر المزدوج، بمنطقة ورقلة" & مذكرة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة ماجستير(2008).