الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العالمي
جامعة قاصدي مـــرباح ورقلة
كلية الرياضيات و علـــوم المادة
قســم الفـــــــيزياء

N° d'ordre:

N° de série:

أطروحة الماستر

مجال : علوم المادة

شعبة : الفيزياء

تخصص : فيزياء طاقوية

مقدمة من طرف الطالبة : شلغام صفاء و عطاب مسعود

بـــــعنوان:

دراسة تجريبية حول تأثير لون المكثف على كفاءة المقطر الشمسي

يوم 03 /2026/06أمام لجنة المناقشة المكونة من:

صالحي خليفة	أستاذ محاضر قسم "أ"	جامعة ورقلة	رئيسا
سوداني محمد البار	أستاذ محاضر قسم "أ"	جامعة ورقلة	مناقشا
بالحاج محمد مصطفى	أستاذ محاضر قسم "أ"	جامعة ورقلة	مشرفا
شلغام منيرة	دكتورة	جامعة ورقلة	مساعد مشرف

الموسم الجامعي: 2026/2025

الاهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والصلاة والسلام على أشرف الخلق سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم.

أهدي ثمرة جهدي المتواضع هذا إلى من قال فيهما الله تعالى: "*وقل رب ارحمهما كما ربياني صغيرا*"،

إلى والديَّ العزيزين، أطال الله في عمرهما وألبسهما ثوب الصحة والعافية، جزاءً لما قدّماه لي من حب وتضحيات ودعم لا ينقطع.

إلى إخوتي الأعزاء، الذين كانوا سندي وقوتي، أسأل الله أن يديم المحبة بيننا.

والى جدي وجدتي رحمة الله عليهم

إلى أستاذي المشرف الدكتور مصطفى بلحاج، الذي لم يبخل عليّ بعلمه وتوجيهاته القيمة، فجزاه الله عني خير الجزاء.

وإلى مساعدة المشرف الدكتورة شلغام منيرة، على دعمها ونصائحها التي كان لها أثر كبير في إنجاز هذا العمل.

، الذين شاركوني هذا المشوار، فكانوا خير رفقة.

ولا أنسى كل أصدقائي وكل من ساندني ووقف إلى جانبي، ولو بكلمة طيبة، أسأل الله أن يبارك فيهم جميعاً.

وأسأل الله أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به.

الشكر والتقدير

الحمد لله رب العالمين، الذي وفقنا لإتمام هذا العمل، ونسأله سبحانه أن يجعله خالصاً لوجهه الكريم، والصلاة والسلام على سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم.

نتقدم بخالص عبارات الشكر والتقدير إلى قسم الفيزياء بـ جامعة قاصدي مرباح ورقلة، على ما وفره من بيئة علمية ساعدتنا على إنجاز هذا العمل.

كما نتوجه بجزيل الشكر والعرفان إلى أستاذنا المشرف الدكتور مصطفى بلحاج، الذي كان له الفضل الكبير بتوجيهاته السديدة ونصائحه القيّمة، فجزاه الله عنا خير الجزاء.

ونتقدم بالشكر كذلك إلى مساعدة المشرف الدكتورة شلغام منيرة، على دعمها ومرافقتها لنا خلال هذا البحث.

كما نتقدم بخالص الشكر إلى والدينا الكريمين، اللذين كانا سبباً بعد الله في وصولنا إلى هذه المرحلة، بدعائهما ودعمهما المتواصل، حفظهما الله وأطال في عمرهما.

وإلى إخوتنا الأعزاء، على مساندتهم وتشجيعهم الدائم.

ونشكر زملاءنا في إعداد هذه المذكرة، على روح التعاون والعمل المشترك، كما نشكر جميع أصدقائنا وكل من ساندنا ووقف إلى جانبنا، ولو بكلمة طيبة.

وفي الختام، نسأل الله أن يبارك في كل من ساهم في إنجاز هذا العمل، وأن يجعله في ميزان حسناتهم.

الملخص :

في إطار تطوير وتحسين منظومة التقطير الشمسي باستعمال الطاقة الشمسية و السعي لتحسين كفاءة اليومية لإنتاج الماء المقطر حيث تم الاعتماد في هذه الدراسة على المقطر البسيط ذو التركيبة التجريبية السهلة و البسيطة من جهة ، والذي يعمل بالطاقة الشمسية لكونها متجددة و غير مكلفة من جهة أخرى. والهدف من هذه البحث هو دراسة تأثير لون المكثف على كفاءة التقطير الشمسي، من خلال مقارنة عدة ألوان مختلفة للمكثفات وهي: الشفاف، الأصفر، الأزرق، البني، والأحمر ، وقد أظهرت النتائج أن لون المكثف يؤثر بشكل مباشر على امتصاص الإشعاع الشمسي وانتقال الحرارة داخل المقطر، مما ينعكس على كمية الماء المقطر المنتجة. حيث حقق المكثف الشفاف أعلى كفاءة خلال النهار بفضل نفاذيته العالية للإشعاع الشمسي، بينما أظهر المكثف الأصفر و البني قدرة جيدة على الاحتفاظ بالحرارة وتقليل الضياع الحراري خلال الليل حيث بلغت نسبة التحسين في الليل للمكثف البني % 21.74 و للمكثف الأصفر % 10.99 ، وكانت نسبة التحسين خلال النهار بالنسبة للمكثف الأصفر 5.87% .كما سجل المكثف الأحمر أضعف أداء مقارنة ببقية الألوان. وبينت الدراسة أن اختيار اللون المناسب للمكثف يساهم في تحسين كفاءة المقطر الشمسي و زيادة إنتاج المياه المنتجة ، تأثر الكفاءة كذلك بالعوامل المناخية خاصة شدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة .

Abstract:

Within the framework of developing and improving solar distillation systems to enhance daily distilled water productivity, this study utilizes a simple solar still due to its straightforward experimental design and its reliance on clean, cost-effective, and renewable solar energy. The primary objective of this research is to investigate the effect of condenser color on solar distillation efficiency by comparing five different colors: transparent, yellow, blue, brown, and red. The results demonstrate that the condenser color directly influences solar radiation absorption and heat transfer within the still, thereby affecting the volume of distilled water produced. The transparent condenser achieved the highest efficiency during the day due to its high solar transmittance. Conversely, the brown and yellow condensers exhibited a strong capacity for heat retention and reduced thermal loss during the night, showing night-time productivity improvements of 21.74% and 10.99%, respectively. Additionally, the yellow condenser showed a daytime improvement rate of 5.87%. Meanwhile, the red condenser recorded the lowest performance among all tested colors. This study concludes that selecting the appropriate condenser color significantly contributes to optimizing solar still efficiency and increasing water yields. Furthermore, system efficiency remains heavily influenced by climatic factors, particularly solar radiation intensity and ambient temperature.

Résumé :

Dans le cadre du développement et de l'optimisation des systèmes de distillation solaire visant à améliorer la productivité quotidienne en eau distillée, cette étude s'appuie sur un distillateur solaire simple, choisi pour sa configuration expérimentale aisée ainsi que pour son exploitation d'une énergie solaire propre, économique et renouvelable. L'objectif principal de cette recherche est d'étudier l'influence de la couleur du condenseur sur l'efficacité de la distillation solaire, en comparant cinq teintes différentes : transparent, jaune, bleu, marron et rouge. Les résultats révèlent que la couleur du condenseur affecte directement l'absorption du rayonnement solaire et le transfert thermique à l'intérieur du distillateur, impactant ainsi le volume d'eau distillée produit. Le condenseur transparent a enregistré l'efficacité maximale durant la journée grâce à sa haute transmittance solaire. En revanche, les condenseurs marron et jaune ont manifesté une bonne capacité de rétention de la chaleur et de réduction des pertes thermiques pendant la nuit, affichant des taux d'amélioration nocturne de 21.74 % et 10.99 % respectivement. De plus, le condenseur jaune a présenté une amélioration diurne de 5.87 %. Le condenseur rouge, quant à lui, a enregistré les performances les plus faibles. Cette étude démontre que le choix judicieux de la couleur du condenseur contribue significativement à optimiser l'efficacité du distillateur solaire et à accroître le rendement en eau. Enfin, cette efficacité demeure étroitement tributaire des facteurs climatiques, notamment l'intensité du rayonnement solaire et la température ambiante.

الفهرس

فهرس العناوين

الشكر..... I
إهداء..... II
الملخص..... III
فهرس العناوين V
فهرس الجداول..... VIII
فهرس الأشكال..... V

المقدمة العامة

مقدمة العامة..... 3-2

الفصل الأول: بحث حول مشكلة المياه ومختلف المقطرات الشمسية

1-1) المقدمة..... 5
2-1)مشكلة نقص المياه..... 5
1-2-1) مشكلة نقص المياه الصالحة لشرب و حلول المقترحة في العالم..... 5
2-2-1). مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في إفريقيا وحلول المقترحة..... 6
3-2-1) مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في الجزائر وحلول المقترحة..... 8
4-2-1)مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في ورقلة وحلول المقترحة..... 9
3-1) التقطير الشمسي 10
1-3-1) تعريف التقطير الشمسي 10
2-3-1)تاريخ التقطير الشمسي 11
3-3-1) أنواع المقطرات الشمسية 12
1-3-3-1)المقطرات البسيطة 12
a)المقطر الشمسي بميل واحد 12
b)لمقطر الشمسي بميلين 13

الفصل الثاني: دراسة نظرية عن للون المكثف

1-2)المقدمة..... 15

.2-2) الظواهر الفيزيائية..... 15
.2-2-1)ظاهرة التبخير..... 15
2-2-2) ظاهرة التكثيف 15
2-3) تعريف المكثف ومبدأ عمله واستعمالاته في التقطير 16
2-3-1) تعريف المكثف 16
2-3-2) مبدأ عمل المكثف 16
2-3-3) استعمالات المكثف 17
2-3-4)خصائص الاشعاع الشمسي والوان الطيف 17
2-3-4-1) الإشعاع الشمسي 17
2-3-4-1-1) خصائص الإشعاع الشمسي 17
2-3-4-2) ألوان الطيف المرئي 18
2-3-4-3) امتصاص الألوان 18
2-3-5) الخواص الضوئية للأوان 19
2-4)تأثير لون السطح على درجة الحرارة الداخلية 21
2-5)علاقة اللون المكثف 21
الفصل الثالث: معادلات التوازن الطاقوي في المقطر الشمسي البسيط
3-1) مقدمة..... 22
3-2)-التوازن الطاقوي على مستويات أجزاء المقطر 22
3-3) معادلات حفظ الطاقة للمقطر الشاهد (الحالة البسيطة): 22
3-3-1) معادلة حفظ الطاقة حول الغطاء الزجاجيg (1.3) 23
3-3-2)معادلة حفظ الطاقة حول الماء w(2.3) 24
3-3-3) معادلة حفظ الطاقة حول السطح الماص للحرارة b (3.3) 24
3-3-4)قيمة التدفق الكتلي للماء المقطرH_w (3.4) 24
3-3-2-1) الإجراءات المتبعة 25
3-3-2-1-1) التجربة الأولى:استعمال زجاج شفاف (مكثف) 25
3-3-2-1-2) التجربة الثانية: استعمال الزجاج ذو اللون الأزرق(مكثف) 25
3-3-2-1-3) التجربة الثالثة: استعمال الزجاج ذو اللون البني (المكثف) 26

3-3-2-1-4) التجربة الرابعة :استعمال الزجاج ذو اللون الأصفر (المكثف) 27
3-3-2-1-5)التجربة الخامسة :استعمال الزجاج ذو اللون الأحمر (المكثف) 27

لفصل الرابع: الدراسة التجريبية

4-1) مقدمة..... 29
4-2) مبدأ أعمل المقطر الشمس 29
4-3) الأدوات المستعملة 30
4-4)-النموذج الأولية لأجهزة التجريبية: 31
4-5)-تصميم النموذج التجريبي للمقطرات الشمسية مختلفة الألوان 31
4-6) وصف التجربة 32
4-7) الظروف التي تمت فيها التجربة خلال أيام التجربة 32
4-8)المنحنيات التجريبية خلال أيام التجربة 32
4-8-1) مقارنة كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرات الشمسية 34
4-9) كفاءة المقطرات الشمسية المذكورة في التجربة 46
4-9-1) المكثف الشفاف(Transparent/Clear): 46
4-9-2) المكثف الأزرق(Blue): 46
4-9-3.) المكثف البني(Brown): 46
4-9-4) المكثف الأحمر(Rad) 47
4-9-5) المكثف الأصفر(Yellow): 47
4-9-6) كفاءة التقطير (1.4) 47
4-10) إنتاجية الماء المقطر للتجربة لكل مقطر شمسي 48
خلاصة 52

فهرس الجداول

العنوان	الصفحة
الجدول(1-1): تطورا لموارد المائية في الجزائر(1962-2025)	8
الجدول(1-2): نماذج من المقطرات الشمسية	14
الجدول (2-1):مجالات الطول الموجي الألوان الطيف المرئي	18
الجدول (2-2):الطول الموجي الألوان وقابلية الامتصاص	19
الجدول (4-1):يوضح الأدوات المستعملة	30
جدول(4-2):إنتاجية الماء المقطر للتجربة لكل مقطر شمسي	48

فهرس الأشكال

الشكل(1–1) :النمو الديموغرافي في القارة الإفريقية	7
الشكل(1–2):توزيع المياه الجوفية المخزنة في كامل التراب الجزائري	9
الشكل(1–3):توزيع الموارد المائية السطحية في ورقلة	10
الشكل (1–4): رسم يوضح ظاهرة التبخير والتكثيف في المقطر الشمسي	11
الشكل(1 –5):مقطر بسيط بميل واحد.	12
الشكل(1 –6):مقطر بسيط بميلين	13
الشكل(**3–1**): رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الأولى	25
الشكل(3–2):رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الثانية	26
الشكل(3–3):رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الثالثة	26
الشكل(3–4):رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الرابعة	27
الشكل(3–5):رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الخامسة	27
الشكل(4–1):صورتان فوتوغرافية توضح كيفية تجهيز التجربة	31
الشكل (4-2) منحنات شدة الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن	33
الشكل (4–3): منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج الجمع بدلالة الزمن ليوم15فيفري 2026	35
الشكل (4–4): منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج الجمع بدلالة الزمن ليوم 16فيفري2026	37
الشكل (4–5): منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج الجمع بدلالة الزمن ليوم17فيفري2026	39
الشكل (4–6): منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج الجمع بدلالة الزمن ليوم18فيفري2026	40
الشكل(4–7): منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج الجمع بدلالة الزمن ليوم19افريل2026	41
الشكل (4–8):منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج الجمع بدلالة الزمن ليوم 20افريل2026	43
الشكل (4–9): منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج الجمع بدلالة الزمن ليوم 21افريل2026	44
الشكل (4–10):منحنى يوضح الأعمدة بيانية لمجموعة اليومي للمقطر الشمسي بدلالة الأيام	49
الشكل(4–11): منحنى يوضح الأعمدة بيانية لمجموعة اليومي للمقطر الشمسي بدلالة الألوان المستعملة	50

المقدمة

المقدمة

مقدمة عامة:

تُعد المياه من أهم الموارد الطبيعية على سطح الأرض، إذ ترتبط بها مظاهر الحياة كافة، سواء للإنسان أو الحيوان أو النبات. فهي أساس استمرار الحياة وسبب ازدهارها على هذا الكوكب، كما أنها تُعد من العوامل الرئيسة المؤثرة في نشوء الحضارات وتطورها. وقد ارتبط وجود الماء بالحياة منذ القدم، مصداقًا لقوله تعالى: "وجعلنا من الماء كل شيء حي". وتمثل المياه الركيزة الأساسية لاستمرار الحياة، إذ يشكل الماء نسبة تقارب 70% من جسم الإنسان، كما يغطي نحو 71% من سطح الكرة الأرضية. غير أن معظم هذه المياه مالحة، حيث تمثل المياه المالحة حوالي 96.54%، بينما لا تتجاوز نسبة المياه العذبة 2.53%، ولا يتاح منها للاستخدام المباشر سوى نحو 0.36% [1] .

تواجه العديد من الدول، ومن بينها الجزائر، مشكلة ندرة المياه الصالحة للشرب، رغم وجود مصادر طبيعية كالمياه الجوفية ومياه البحر. إلا أن هذه الموارد تبقى محدودة ولا تكفي لتلبية الطلب المتزايد على المياه. ومن هنا ظهرت الحاجة إلى إيجاد حلول تقنية لتوفير المياه العذبة، من أبرزها تحلية مياه البحر واستخراج الأملاح منها، بهدف الحصول على مياه صالحة للاستهلاك، ويمتاز الماء بخصائص فيزيائية وكيميائية فريدة جعلت له أهمية كبيرة في مختلف المجالات ، فهو يتبخر عند درجة حرارة 100 C° ويتحول إلى الحالة الغازية، كما يتجمد عند 0 C° ويتحول إلى الحالة الصلبة. وبفضل هذه الخصائص تمكن الإنسان من تطوير تقنيات متعددة لاستخراج المياه الصالحة للشرب بكميات مناسبة ومن مصادر مختلفة، مثل تحلية مياه البحر أو معالجة المياه الجوفية، وذلك باستخدام الطاقة الكهربائية أو الحرارية [2].

ومع التوجه العالمي نحو الطاقات المتجددة والحد من الاعتماد على الوقود الأحفوري، ازداد الاهتمام باستخدام مصادر نظيفة كالطاقة الشمسية والرياح. وتُعد الطاقة الشمسية من أهم هذه المصادر، فهي نعمة عظيمة تبعث الحياة على الأرض، وقد ورد ذكرها في قوله تعالى: "وسخر لكم الشمس والقمر دائبين". وتتمثل الطاقة الشمسية في الإشعاع الضوئي والحراري الصادر عن الشمس، والذي يمكن للإنسان استغلاله في مختلف التطبيقات. ويبلغ الإشعاع الشمسي إلى الأرض نحو $1.36kw/m^2$ خارج الغلاف الجوي، ينعكس جزء منه إلى الفضاء، بينما يُمتص الجزء الآخر من قبل الغلاف الجوي وسطح الأرض، وهو ما يبرز أهمية استغلال هذه الطاقة، خاصة في الدول التي تتميز بمناخ مشمس [3] .

المقدمة

تقع الدول الواقعة بين مداري السرطان والجدي ضمن نطاق يتميز بإمكانات كبيرة تؤهله للريادة في مجال استغلال الطاقة الشمسية، حيث يمكن تحقيق أعلى مستويات الكفاءة بأقل التكاليف الممكنة.

يُعدّ التقطير الشمسي أحد الحلول المقترحة لمعالجة مشكلة نقص المياه الصالحة للشرب في المناطق الجافة والصحراوية، حيث يتم إنتاج مياه نقية بوسيلة بسيطة وبتكلفة منخفضة نسبيًا. وتعتمد هذه التقنية على استغلال الطاقة الشمسية التي تمتصها الأسطح الداكنة داخل المقطر الشمسي، فتتحول إلى حرارة تؤدي إلى تبخير الماء المالح أو الملوث، ثم يتكاثف البخار على سطح بارد ليعطي ماءً نقيًا خاليًا من الأملاح والشوائب[4].

وتعتمد هذه المذكرة على دراسة لمقطر شمسي بسيط أحادي الميل، تم تطويره على مستوى وحدة البحث في الطاقات المتجددة للمناطق الجافة والصحراوية (LENREZA) بكلية الرياضيات وعلوم المادة بجامعة قاصدي مرباح بورقلة، نظرًا لما تتميز به المنطقة من ظروف مناخية مناسبة، مثل شدة الإشعاع الشمسي وارتفاع درجات الحرارة وطول مدة السطوع.

ويتمثل الهدف الأساسي من هذا العمل في تصميم خلية تقطير شمسية صغيرة مخبرية ودائمة، قادرة على توفير الماء المقطر اللازم لتشغيل الأجهزة المستخدمة في الأعمال التطبيقية داخل المختبر.

وتتكون هذه المذكرة من أربعة فصول رئيسية وخاتمة ؛ إذ يعرض الفصل الأول تقنيات تنقية المياه المختلفة وأنواع المقطرات الشمسية مع شرح مبدأ عملها، أما الفصل الثاني فيتناول الدراسة النظرية لمقطر شمسي بسيط أحادي الميل مع تحليل الظواهر الفيزيائية المؤثرة في عملية التقطير، مثل انتقال الحرارة والكتلة، والإشعاع الشمسي، والتبخر والتكاثف ، أما الفصل الثالث فيتناول معادلات التوازن الطاقوي في المقطر الشمسي البسي والفصل الرابع فتطرقنا فيه الدراسة التجريبية وتحليل ومناقشة النتائج و في الأخير الخاتمة التي بها النتائج المستخلصة من التجربة .

الفصل الأول

بحث حول مشكلة المياه ومختلف المقطرات الشمسية

1-1) المقدمة

يعد الماء أحد أهم المقومات الأساسية لاستمرار الحياة على كوكب الأرض، إذ تعتمد عليه مختلف الكائنات ولأنشطة الحيوية ، ولا تقتصر أهميته على الشرب فقط ،بل تمتد لتشمل مجالات متعددة مثل الزراعة والصناعة وسائر الاستخدامات اليومية ،نظرا لخصائصه الفيزيائية والكيميائية الفريدة وتوفره النسبي في الطبيعة .ومع ذلك فإن توزيع المياه على سطح لأرض غير متساوي ،ومع أن الماء يغطي نحو 72% من مساحة الكوكب ،فان ما يقارب 97% منه يوجد في البحار والمحيطات على شكل ماء مالح ،بينما لا تتجاوز نسبة المياه العذبة حوالي 3%، وهي التي تتنوع في لانهار والبحيرات والمياه الجوفية والكتل الجليدية .ولهذا السبب تعد مسألة ندرة المياه الصالحة للأستعمال من أبرز التحديات التي تواجه الإنسان في العديد من المناطق حول العالم. [5].

1-2) مشكلة نقص المياه:

ارتبطت المياه بالحياة منذ أقدم العصور، إذ كانت ولا تزال أساس بقاء لإنسان وتطور المجتمعات البشرية.فقد نشأت الحضارات القديمة والحديثة حول مصادر المياه . كما لعبت المياه دورا مهما في توجيه مسار كثير من الإحداث التاريخية،بما في ذلك النزاعات والحروب التي اندلعت بسب السيطرة على الموارد المائية .

وفي العصر الحديث ،أصبحت مشكلة نقص المياه الصالحة للشرب من أبرز التحديات التي تواجه العالم ،نتيجة تزايد عدد السكان، وتوسع المدن ،وارتفاع الطلب على المياه في مختلف القطاعات . كما ساهمت التغيرات المناخية ،وتراجع مصادر المياه العذبة ،وسوء إدارة الموارد المائية ،في تفاقم هذه الأزمة ، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة .

وأمام هذه الظروف،أصبح من الضروري البحث عن حلول فعالة ومستدامة لضمان توفير المياه الصالحة للشرب ،من خلال تحسين ادراة الموارد المائية ،وترشيد الاستهلاك ،وتطوير تقنيات التحلية والمعالجة،ولاعتماد على مصادر طاقة متجددة ،بما يحقق الأمن المائي للأجيال الحالية والمستقبلية. [6]

1-2-1)مشكلة نقص المياه الصالحة لشرب و حلول المقترحة في العالم:

تعاني الموارد المائية في الوقت الحاضر من ضغوط متزايدة،خاصة في المناطق التي يتركز فيها الطلب على المياه بشكل كبير ، مثل المناطق الزراعية والمدن الكبرى .ويرجع ذلك إلى الزيادة السكانية ،والتوسع العمراني ،وارتفاع مستوى المعيشة ،إلى جانب التغيرات المناخية التي تؤثر في معدلات الأمطار وتزيد من فترات الجفاف .كما يؤدي سوء إدارة الموارد المائية والتلوث إلى تفاقم المشكلة ،مما يجعل العديد من الدول تعاني من عجز مائي واضح خلال فترات معينة من السنة. والمواجهة في هذه التحديات، تقترح الدراسات مجموعة من الحلول المتكاملة التي تهدف إلى تقليل الطلب عل المياه وزيادة كفاءة استخدامها .وتشمل هذه الحلول تطوير تقنيات حديثة لترشيد الاستهلاك ،وتحسين شبكات

التوزيع للحد من التسرب ،وتشجيع إعادة استخدام المياه المعالجة في الزراعة والصناعة .كما تبرز أهمية إدارة الطلب على المياه من خلال سياسات فعالة ،مثل تحسين أنظمة التسعير وتوعية المستخدمين بأهمية المحافظة على الموارد الحيوي .

ومن جهة أخرى ، يمكن لاعتماد على مصادر بديلة للمياه ،مثل تحلية مياه البحر أو المياه الجوفية المالحة ، خاصة في المناطق الساحلية و الصحراوية ، ورغم إن هذه التقنيات توفر إمدادات مائية إضافية ،فان تتطلب كميات كبيرة من الطاقة وتكاليف تشغيل مرتفعة ،مما يستدعي البحث عن حلول مستدامة تعتمد على مصادر الطاقة المتجددة ،مثل الطاقة الشمسية ،للحد من التكاليف والإثارة البيئية، وبذلك يتضح إن معالجة أزمة المياه تتطلب مزيجا من السياسات والإجراءات التقنية وإدارية، إضافة إلى رفع مستوى الوعي المجتمعي ،لضمان استدامة الموارد المائية وتلبية احتياجات الأجيال الحالية والمستقبلية[6] .

1-2-2) مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في إفريقيا وحلول المقترحة:

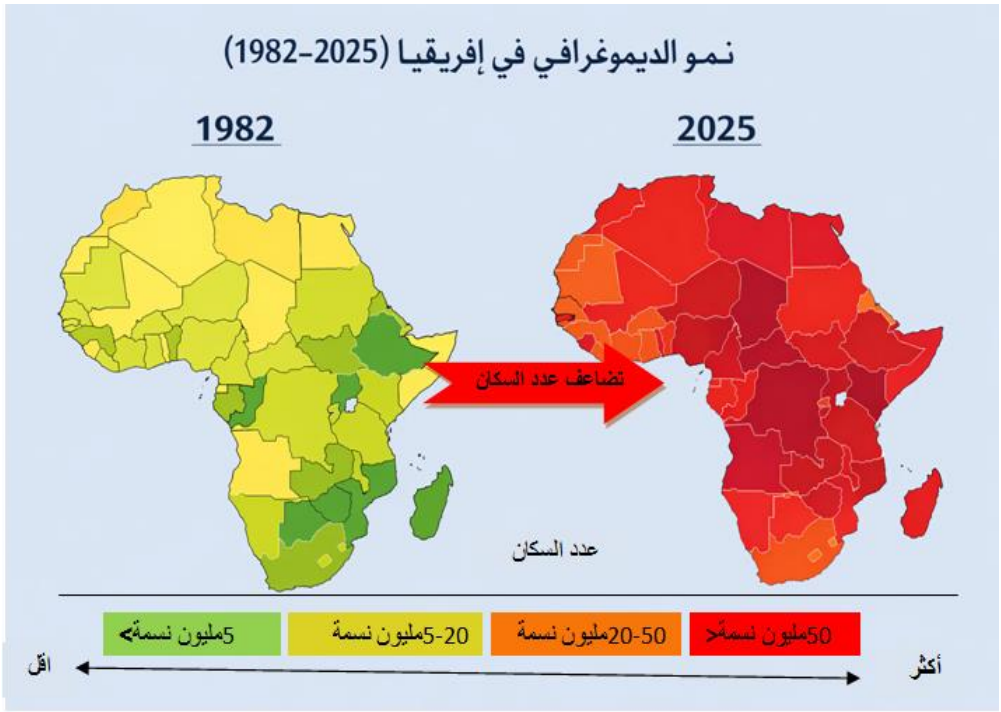
تتجلى ظاهرة ندرة المياه في إفريقيا نتيجة تداخل عوامل مناخية وبيئية وبشرية متعددة .فالقارة الإفريقية تتسم بظروف مناخية قاسية في الكثير من مناطقها ،حيث يسود الجفاف وارتفاع درجات الحرارة ،إلى جانب تذبذب معادلات الإمطار وعدم انتظامها .وتساهم هذه العوامل في زيادة معدلات التبخر وتراجع الموارد المائية المتاحة ،مما يؤدي إلى تفاقم مشكلة المياه ،خاصة في المناطق شبه الجافة والصحراوية .

كما تلعب العوامل الطبيعية دورا مهما في محدودية الموارد المائية ،إذ إن العديد من لانهار والمصادر السطحية متعرضة للتقلبات المناخية ،بينما تعتمد بعض المناطق بشكل أساسي على المياه الجوفية التي قد تكون محدودة أو غير متجددة .ومع زيادة عدد السكان وتوسع النشاط الزراعي والصناعي و يزداد الضغط على هذه الموارد ،مما يؤدي والى استنزافها وتدهور جودتها .

ومن جهة أخرى ، تساهم التحديات الاقتصادية وضعف البنية التحتية في تعقيد الوضع المائي في العديد من الدول الإفريقية،حيث تعاني بعض المناطق من نقص شبكات التوزيع ومرافق التخزين والمعالجة، الأمر الذي يحد من قدرة السكان على الحصول على مياه أمنة وصالحة للشرب .كما تؤثر النزاعات وعدم الاستقرار السياسي في بعض المناطق على إدارة الموارد المائية وتطويرها .

لذلك تتطلب مواجهة أزمة المياه في إفريقيا تبني استراتجيات شاملة تقوم على تحسين إدارة الموارد المائية ، وتطوير البنية التحتية ،وتعزيز كفاءة الاستخدام إلى جانب الاعتماد على مصادر بديلة ومستدامة للمياه ،بما يضمن تلبية الاحتياجات الحالية والمستقبلية للسكان. [6]

يظهر الشكل(1-1) خريطة تطور النمو الديموغرافي في قارة إفريقيا بين سنتي 1982 و 2025،حيث تضاعف عدد السكان بشكل كبير،وأصبحت القارة تمثل نسبة مهمة من سكان العالم،مع تزايد الضغط على الموارد نتيجة هذا النمو المتسارع ، حيث أغلب دول إفريقيا كانت ذات كثافة سكانية ضعيفة أو متوسطة و العديد من الدول لم يتجاوز عدد سكانها 5 إلى 20 مليون نسمة ، وتركزت الكثافة السكانية المرتفعة نسبيًا في بعض مناطق شرق إفريقيا وغربها. وفي سنة 2025 تضاعف عدد السكان في معظم دول القارة بشكل واضح وارتفع عدد الدول التي يتجاوز سكانها 50 مليون نسمة،بحيث إن اتساع المجال الجغرافي للكثافة السكانية في غرب و شرق و وسط إفريقيا. [7]



الشكل(1-1) النمو الديموغرافي في القارة الإفريقية [7]

1-2-3) مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في الجزائر وحلول المقترحة:

تعاني الجزائر من ندرة متزايدة في الموارد المائية نتيجة العوامل المناخية، والتوزيع غير المتكافئ للسكان، وتزايد الطلب على المياه في مختلف المجالات. ويؤدي هذا الوضع إلى ضغط كبير على الموارد المائية التقليدية، مما يستدعي تبني استراتيجيات فعّالة لإدارتها بشكل مستدام. كما أن الاعتماد المتزايد على المياه الجوفية، إلى جانب محدودية التساقطات المطرية، يزيد من تعقيد الوضع ويؤثر سلبًا على الأمن المائي في البلاد.

تشير التقديرات إلى أن حصة الفرد من المياه في الجزائر تعرف تراجعًا مستمرًا، حيث أصبحت ضمن مستويات الندرة المائية، وهو ما يفرض ضرورة ترشيد الاستهلاك وتحسين طرق الاستغلال. كما أن التوسع العمراني والنمو السكاني السريع يضاعفان الضغط على شبكات التوزيع والبنية التحتية، ما يؤدي أحيانًا إلى اضطرابات في التزويد بالمياه، خاصة في فترات الجفاف.

وفي هذا السياق، تسعى الدولة إلى اعتماد حلول بديلة، مثل تحلية مياه البحر، وإعادة استعمال المياه المعالجة في الزراعة والصناعة، إضافة إلى تطوير تقنيات السقي الحديثة التي تساهم في الاقتصاد في المياه. كما يتم العمل على تحسين إدارة المائية وتعزيز التنسيق بين مختلف القطاعات المعنية لضمان إدارة أكثر كفاءة واستدامة للموارد المائية.

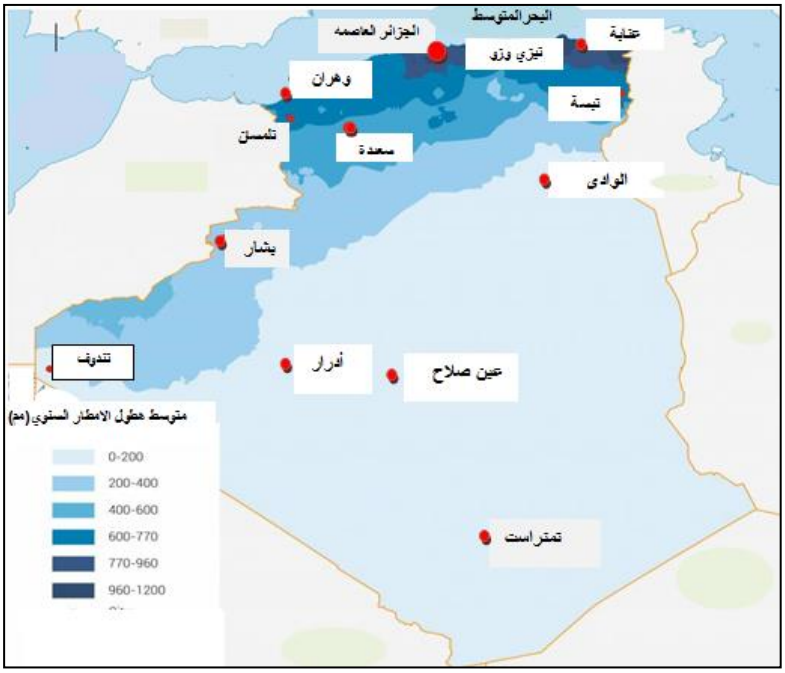
إن مواجهة تحديات ندرة المياه في الجزائر تتطلب جهودًا مشتركة تشمل الدولة والمجتمع، من خلال نشر الوعي بأهمية الحفاظ على الماء، وترسيخ ثقافة الاستهلاك الرشيد، والاستثمار في البحوث والتقنيات الحديثة التي تدعم الأمن المائي وتحافظ على هذا المورد الحيوي للأجيال القادمة. [8]

الجدول(1-1): تطورا لموارد المائية في الجزائر(1962-2025) [9]

السنة	1962	1990	1995	1998	2000	2020	2025
كمية الماء لكل للفرد(m^3)	**1500**	**720**	**680**	**630**	**500**	**430**	**410**

يشير هذا الوضع إلى ضرورة البحث عن مصادر بديلة للمياه، حتى وإن كانت مالحة، مثل المياه الجوفية ومياه البحر، والعمل على معالجتها لتصبح صالحة للشرب. وللتغلب على مشكلة نقص المياه، قامت الجزائر بإنجاز عدد من السدود، من بينها سد بني هارون في الشمال، إلى جانب إنشاء محطات لتصفية المياه ومعالجتها. كما تم إنشاء مصانع لتحلية مياه البحر في المناطق الساحلية، فضلاً عن حفر الآبار واستغلال الموارد الجوفية التي يعود تاريخ استخدامها إلى ستينيات القرن الماضي. كما يظهر الجدول(1-1) تراجعا حادا ومستمر في حصة الفرد السنوية من المياه في الجزائر ,حيث انخفضت من $1500\ m^2$عام 1962الى $410\ m^2$ عام 2025.ويؤكد هذا التدهور

الاحصائي الى دخول البلاد تحت خط الفقر المائي العالمي (الاقل من $1000\ m^2$) واقترابها من عتبة الشح المطلق ,وهذا ما يفسر فيزيائيا وديموغرافيا الى تزايد السكاني السريع والتوسع العمراني مقابل تراجع معدلات التساقط الشتوي وتوالي فترات الجفاف المرتبطة بالتغيرات المناخية .وتبرز هذه الوضعية الحرجة ضرورة الاعتماد على الخيارات الاستراجية البديلة وغير التقليدية التي تنتهجها الدولة – مثل تحلية مياه البحر ومعالجة المياه المستعملة –لمواجهة العجز المائي المتزايد وتحقيق الامن المستدام.



الشكل(1–2) توزيع المياه الجوفية المخزنة في كامل التراب الجزائري [8]

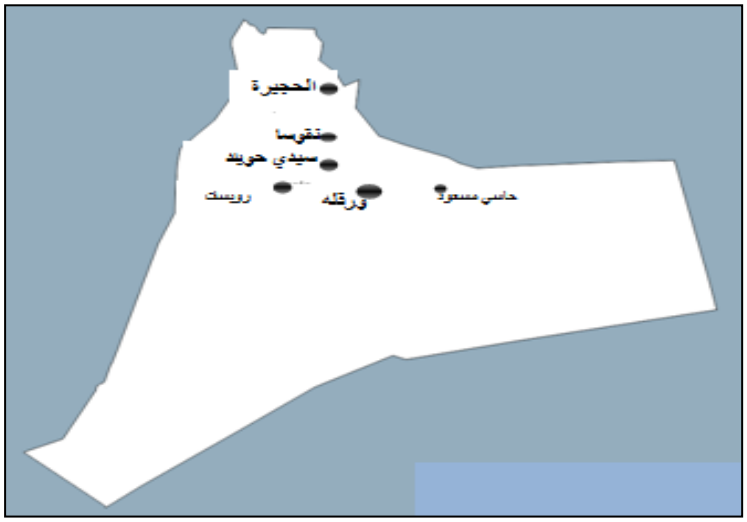
1-2-4)مشكلة نقص مياه الصالحة لشرب في ورقلة وحلول المقترحة:

تُعتبر منطقة ورقلة من المناطق الصحراوية التي تتميز بظروف مناخية شديدة الجفاف، حيث تتحكم ندرة المياه في مختلف الأنشطة البشرية. تتميز المنطقة بندرة التساقطات المطرية وارتفاع معدلات التبخر، مما يؤدي إلى عجز مائي واضح واعتماد شبه كلي على الموارد المائية الجوفية كمصدر رئيسي للمياه.

تعتمد المنطقة أساسًا على المياه الجوفية، سواء التقليدية أو غير التقليدية، مع وجود خزانات مائية عميقة مثل خزان القاري المتداخل (CI) وخزان القاري النهائي.(CT) إلا أن الاستغلال المكثف لهذه الموارد أدى إلى انخفاض منسوب المياه الجوفية، إضافة إلى تدهور نوعيتها نتيجة عوامل متعددة، منها تسرب مياه الصرف الصحي، والمخلفات البشرية، وتسرب المياه المالحة. وتشير بعض الدراسات إلى أن منسوب المياه الجوفية قد يوجد على أعماق تتراوح بين 1et3mètres في بعض المناطق، خاصة الحضرية، مما يزيد من احتمالات التلوث.

كما أن الأنشطة الزراعية والتوسع العمراني أسهما في تفاقم المشكلة، بسبب غياب أنظمة فعالة لمعالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها، مما يؤدي إلى تلوث الموارد المائية وتدهور جودتها، وبالتالي تقليل صلاحيتها للاستهلاك البشري دون معالجة.

وقد أظهرت تقييمات حديثة باستخدام نموذج DRAS TIC قابلية مرتفعة لتلوث المياه الجوفية في المنطقة، حيث بلغ معامل الارتباط($R = 0.73$) ، ما يدل على حساسية عالية لهذه الموارد تجاه الملوثات. كما يُعد ارتفاع تركيز المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) من أبرز المؤشرات على تدهور جودة المياه، إذ تجاوزت في بعض الحالات الحدود المسموح بها، مما يؤثر سلبًا على الصحة العامة والاستخدامات المنزلية والزراعية.وعليه، فإن ضمان استدامة الموارد المائية في ورقلة يتطلب استراتيجيات فعالة، تشمل تحسين شبكات الصرف الصحي، وتطوير تقنيات معالجة المياه، والحد من التلوث الصناعي والزراعي، إضافة إلى تعزيز الوعي بأهمية ترشيد استهلاك المياه والحفاظ عليها[6].



الشكل(1-3):توزيع الموارد المائية السطحية في ولاية ورقلة [10]

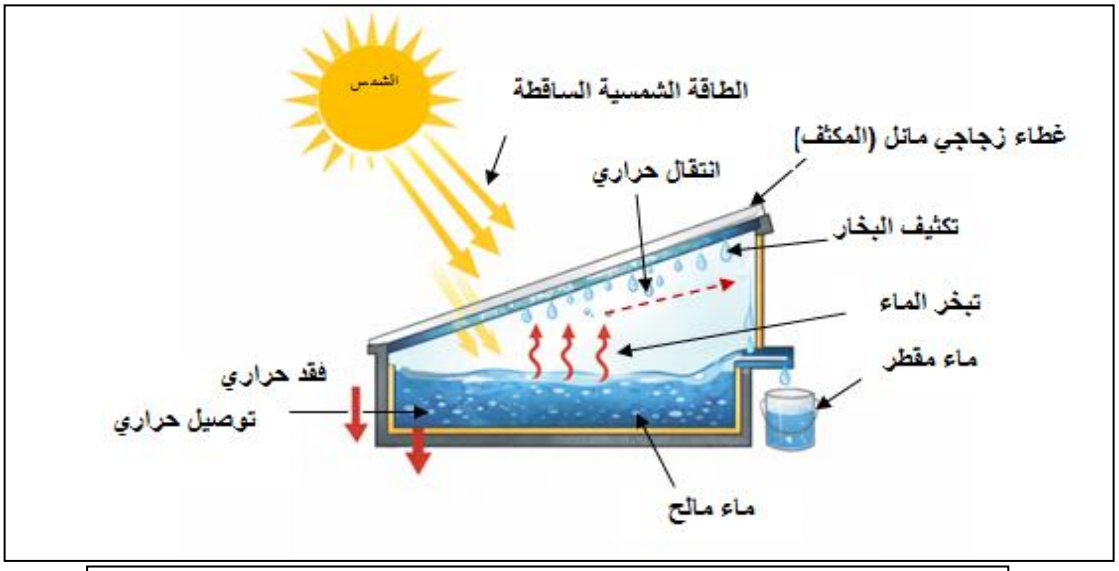
1-3) التقطير الشمسي

1-3-1) تعريف المقطر الشمسي:

المقطر الشمسي هو جهاز يستخدم بالطاقة الشمسية لتحويل الماء المالح أو الملوث إلى ماء نقي صالح للأستعمال يتكوّن هذا المقطر الشمسي من حوض معزول حرارياً ومحكم الإغلاق من جميع الجوانب،ويغطى بغطاء زجاجي شفاف مائل ويساعد ميلان الغطاء على انزلاق قطرات الماء المتكثف فوق سطحه الداخلي نحو قناة مخصصة لجمع الماء المقطر.

يُعزل قاع الحوض وجوانبه بمواد عازلة للحرارة بهدف تقليل فقدان الطاقة الحرارية إلى الوسط الخارجي،مما يساهم في رفع كفاءة المقطر الشمسي .كما يُطلى قاع الحوض بطلاء أسود غير لامع لزيادة امتصاص الإشعاع الشمسي،مع ضرورة

إحكام غلق الجوانب لمنع تسرب الهواء المشبع بالبخار وتقليل الضياعات الحرارية،عند تعرض الحوض لأشعاع الشمسي،ترتفع درجة حرارة الماء بداخله لتصبح أعلى من درجة حرارة الغطاء الزجاجي والهواء المحصور بينهما .ونتيجة لهذا الفرق في درجة الحرارة والضغط البخاري،يبدأ الماء في التبخر بفعل حرارة الشمس ،ثم يتكاثف البخار على السطح الزجاجي على شكل قطرات ماء ،وبعد ذلك تنساب هذه القطرات نحو قناة التجميع ،حيث الحصول على ماء مقطر نقي. [11]



الشكل (1-4):رسم يوضح ظاهرة التبخير والتكثيف في المقطر الشمسي

1-3-2) تاريخ التقطير الشمسي:

منذ القدم عرف الإنسان أن للشمس طاقة هائلة، وحاول إيجاد أساليب هذه الطاقة لاستغلالها بالشكل الذي يجعلها مفيدة له ، فمن أولى الاكتشافات هو إدراك الإنسان لظاهرة تسخين مياه الأحواض المعروضة مباشرة لأشعة الشمس وبعد ذلك اخترع مادة الزجاج لِما لديها من خواص،بحيث يمكن تصنيع عدسات ومرايا تساهم في استغلال هذه الأشعة الشمسية , ظهرت أول فكرة لتقطير الشمسي في القرن 16م من قبل العالم الكيميائي العربي المسلم جابر بن حيان والمتمثل بالإنبيق ، وتجسدت هذه الفكرة بشكل تصميم لطاقة الشمس في التقطير كان سنة 1872 في صحراء شمال تشيلي حيث مساحته تبلغ $5000\ m^2$ تقريبًا وينتج هذا المقطر 23000L من الماء النقي أو 323L يوميًا ،وكان على شكل أحواض سوداء مغطاة بالزجاج فالقاعدة السوداء تستعمل كماص لأشعاع الشمسي،ويوضع في هذا الحوض ماء الساخن ، فيعمل السطح الأسود عمل المبخر و يستقبل البخار المتصاعد من طرف السطح الداخلي للزجاج المائل بزاوية 20°، ذو درجة حرارة أقل من السطح الأسود نسبيا مما يؤدي إلى تكاثفه مباشرة،

ويتجمع في قناة خاصة بتجميع الماء المقطر.ومند 1950بدأت أبحاث نحو تحسين تقنيات الحصول على المياه العذبة بالطاقة الشمسية باستخدام المقطرات الشمسية .وتصنف المقطرات الشمسية إلي والمقطرات الشمسية التقليدية و المقطرات الشمسية المركبة. [6].

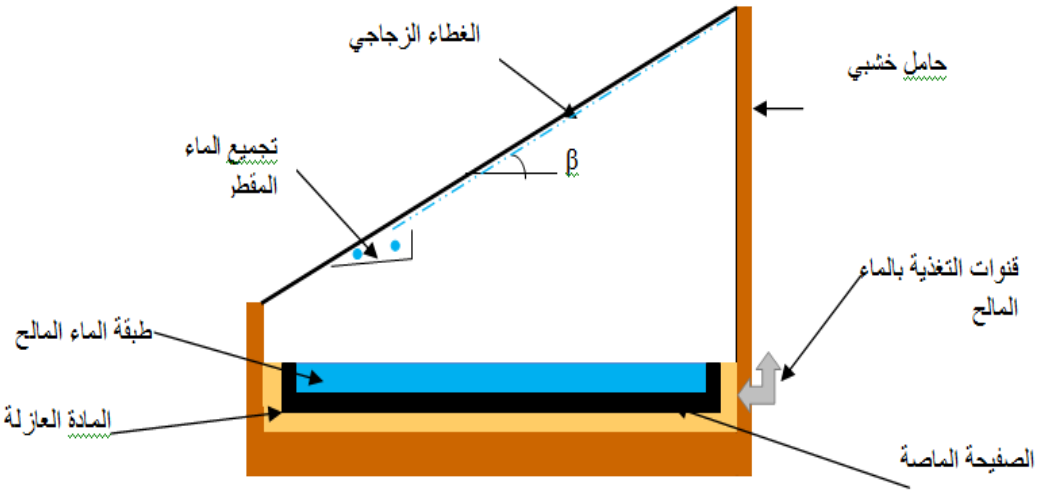
1 -3-3) أنواع المقطرات الشمسية

1-3-3-1)المقطرات البسيطة:

يعتمد المقطر الشمسي التقليدي على مبدأ التبخر والتكاثف لتنقية المياه، ويتكوّن أساسًا من حوض أسود يعمل كممتص للإشعاع الشمسي، وطبقة من الماء المالح أو الملوث، إضافة إلى غلاف معزول وغطاء شفاف ينقل الإشعاع الشمسي ويؤدي دور سطح التكثيف. ويُعد المقطر الشمسي ذو الحوض المفرد أكثر الأنواع شيوعًا، إذ يتكون من حوض مغطى بغطاء شفاف مائل يسمح بتكاثف البخار على سطح الداخلي، ثم انزلاق نحو قناة تجميع المياه المقطرة.يساهم الغطاء الشفاف في نقل الإشعاع الشمسي إلى داخل الحوض، كما يحد من الفاقد الحرارية إلى الوسط الخارجي، مما يوفر بيئة شبيهة بالبيت الزجاجي تساعد على رفع درجة حرارة الماء. ويؤدي هذا الارتفاع الحراري إلى زيادة معدل التبخر، ثم تكاثف البخار على السطح الداخلي للغطاء البارد، حيث تتجمع القطرات وتنحدر نحو قناة الجمع.وتتأثر كفاءة أجهزة التقطير الشمسي بعدة عوامل، من أهمها عمق الماء في الحوض، إذ يفضل أن يكون قليلًا لتسريع التسخين وزيادة فرق درجات الحرارة بين الماء والغطاء، مما يعزز عملية التكاثف. كما تؤثر سماكة الغطاء، ونوعية المادة المستخدمة، وزاوية الميل، ونظافة السطح على كفاءة المقطر الشمسي . كذلك تلعب الظروف المناخية، مثل شدة الإشعاع الشمسي، وسرعة الرياح، ودرجة حرارة الجو، دورًا مهمًا في تحديد كمية المياه المنتجة.

a)المقطر الشمسي بميل واحد:

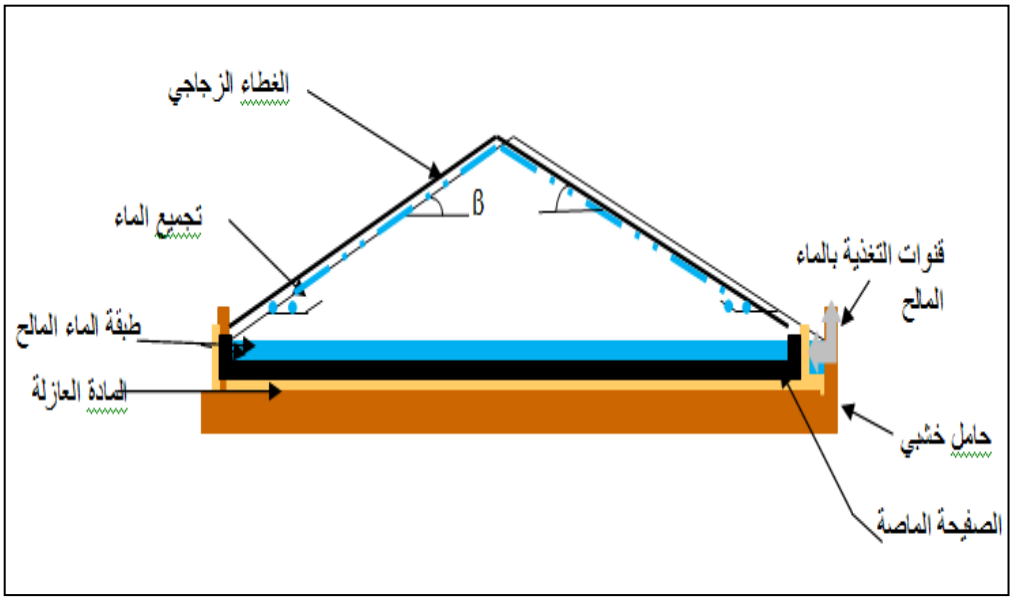
مقطر بلاقط واحد مائل بزاوية (β)، وهو سهل التنظيف نظرا لسهولة تركيبه و يحتوي على حوض مصبوغ بالأسود وبه ماء مالح ويغطى بلوح من زجاج مائل بزاوية معينة وهذا ليكثف البخار على الجزء الداخلي له وهو سهل التنظيف نظرا لسهولة تركيبه موضح في الشكل (I -5) [12]



الشكل(1-5):مقطر بسيط بميل واحد [12]

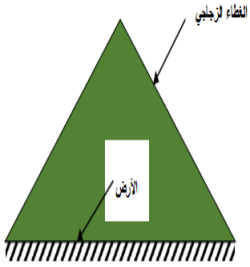
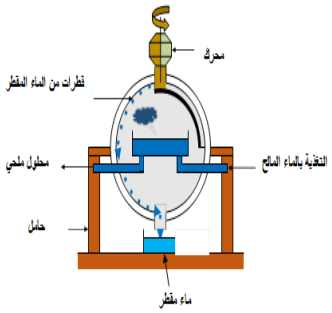
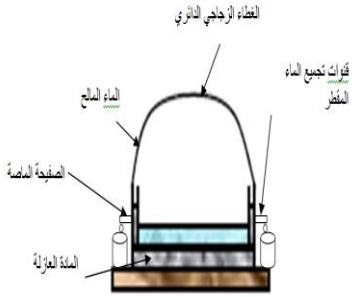
b)المقطر الشمسي بميلين:

مقطر بلاقطين هو مقطر يحتوي على مكثفين بحيث كل واحد منها يميل بزاوية (β)، ومن ميزاته أنه إحداهما يوجه للشمس والآخر للظل لتسريع عملية التكثيف[13] ،الشكل (1-6). وأيضا عدة أنواع أخرى موضحة في الجدول(1-2).



الشكل(1 -6):مقطر بسيط بميلين [13]

الجدول(1-2): نماذج المقطرات الشمسية البسيطة[14]

الرسم التخطيطي الموضح له			
نماذج المقطرات	المقطر شمسي ارض – زجاج	المقطر الشمسي الكروي بالماسح	المقطر الشمسي النصف الدائري

الفصل الثاني

الدراسة النظرية للظواهر الفيزيائية في المقطر الشمسي البسيط

2-1) المقدمة

التقطير الشمسي يعتبر من بين حلول المستدامة لتوفير المياه وتم ذكر ذلك في الفصل مما سبق ،ويعتبر التكثيف من أهم عناصر الأساسية للتقطير ، وذلك من خلال المكثف الذي يمتاز بعدة خصائص منها كل من السمك و الشفافية،نتطرق في هذا الفصل إلي الظاهر الفيزيائية في المقطر الشمسي و تعريف المكثف ومبدأ عمله و استعمالاته ثم نبدأ في الدراسة النظرية لعملية التكثيف و التوازن التي تعطي العلاقة بين المقادير الفيزيائية الداخلة في هذه العملية، وتعطي تفسيرات لما يحدث من ظواهر فيزيائية مرتبطة مع بعضها البعض.

2-2) الظواهر الفيزيائية

2-2-1)) ظاهرة التبخير:

تعرف ظاهرة التبخير بأنها تحول يحدث للماء عند تسخينه في وجود هواء ملامس لسطحه،حيث ينتقل من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية مباشرة فوق السطح، ثم يصعد البخار نحو الأعلى نتيجة اختلاف الضغط أو ما يعرف بتدرج التركيز ،وقد تكون هذه الحركة بطيئة أو سريعة تبعا لشدة التسخين .وتعد هذه الظاهرة عملية فيزيائية معقدة تتضمن جانبين أساسيين :جانبا حراريا يتمثل في عملية التبخير نفسها ،وجانبا ميكانيكا يتمثل في ظاهرة الغليان .وتحتاج عملية التبخير عادة إلى سطح صلب ساخن تكون درجة حرارته أعلى من درجة حرارة السائل .

وينقسم التبخير إلى عمليتين متزامنتين :

- العملية الأولى (حرارية) :و هي ظاهرة التبخر ، حيث يتحول السائل إلى بخار

العملية الثانية (ديناميكية):و هي ظاهرة الغليان، حيث تتكون فقاعات من البخار داخل السائل نفسه. [15]

2-2-2) ظاهرة التكثيف

تعد ظاهرة التكثيف ظاهرة فيزيائية معاكسة لعملية التبخير، حيث تنقسم إلى عمليتين أساسيتين:الأولى حرارية وتتمثل في عملية الإسالة،والثانية ميكانيكية تظهر في ظاهرة التقطير .وتتطلب عملية التكثيف وجود سطح صلب بارد تكون درجة الحرارته أقل من درجة حرارة البخار

عندما يلامس بخار نقي مشبع سطحا باردا ،مثل السطح الخارجي لأنبوب ،فانه يفقد من حرارته ويتحول إلى سائل مكونا قطرات على سطح الأنبوب .

- قد لا تلتصق هذه القطرات بالسطح البارد ،فبدلا من أن تنتشر مكونة غشاء سائلا،فإنها تنزلق وتسقط تاركة السطح المعدني مكشوفا ،ثم تتكون عليه قطرات جديدة من البخار المتكثف .وتسمى هذه العملية بالتكثيف النقطي .
- وفي كثير من الحالات يتكون غشاء تكثيفي واضح على السطح، حيث ،يتكثف البخار على هذا الغشاء السائل الذي يغطي السطح ،بدلا من التكثيف مباشرة عليه .وتعرف هذه الآلية بالتكثيف الغشائي
- ولا توجد علاقة فيزيائية مباشرة بين آليتي التكثيف النقطي و التكثيف الغشائي ومن حيث كمية البخار المتكثف لكل وحدة مساحة من السطح البارد . وذلك فان اعتبار التكثيف الغشائي مرحلة انتقالية من التكثيف النقطي يعد اعتقاد غير صحيح [16].

2-3) تعريف المكثف ومبدأ عمله واستعمالاته في التقطير

2-3-1) تعريف المكثف:

المكثف هو وحدة من منظومة التقطير يستعمل لتحويل البخار إلى سائل (عملية التكاثف)، وذلك عن طريق تبريد البخار وتميعه بفقدانه للحرارة الكامنة، فيحدث التكاثف ويتحول من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة. [17]

2-3-2) مبدأ عمل المكثف:

يعتمد عمل المكثف على انتقال الحرارة والكتلة وفق المراحل التالية

- يدخل البخار الساخن إلى المكثف.
- .يمر البخار عبر السطح بارد(أنبوب أو ملف).
- تنتقل الحرارة من البخار إلى وسط البارد المحيط (غالبا ماء أو هواء).
- عند فقدان البخار لحرارته الكامنة ,يتحول إلى سائل.
- جمع السائل المتكاثف في وعاء مخصص.

أو تحدث عملية التكاثف بالاعتماد على :

- الفرق في الدرجات الحرارة بين البخار والوسط البارد.
- يعتمد على قانون انتقال الحرارة (من الجسم الساخن إلى الجسم البارد).
- يحدث التكاثف عند وصول البخار إلى درجة الندى . [18]

2-3-3) استعمالات المكثف:

يستعمل المكثف في عدة مجالات علمية وصناعية،من أهمها:

1- التقطير:

يستخدم لتكثيف الأبخرة الناتجة عن غليان السائل وإعادتها إلى الحالة السائلة و شائع في المختبرات الكيميائية والصناعات الدوائية فصل المواد وتنقيتها (صناعة الزيوت الطبيعة) .

2- محطات توليد الطاقة:

يستعمل لتكثيف بخار الماء الخارج من التوربينات المفاعل و إعادة استخدامه في التبريد والتكثيف من جديد لخفض درجة حرارة المفاعل [19].

2-3-4)خصائص الإشعاع الشمسي وألوان الطيف:

2-3-4-1) الإشعاع الشمسي:

الإشعاع الشمسي هو شكل من أشكال الطاقة الكهرومغناطيسية التي تصدر من الشمس نتيجة التفاعلات النووية ونواتها ،وتنتقل عبر الفراغ على هيئة موجات كهرومغناطيسية دون الحاجة إلى وسط ناقل . يشمل هذا لإشعاع نطاقا واسعا من الأطوال الموجية ،تبدأ من الأشعة فوق البنفسجية مرورا بالضوء المرئي وصولا إلى الأشعة تحت الحمراء ، ويقاس عادة بوحدة (w/m^2) [20].

2-3-4-1-1) خصائص الإشعاع الشمسي

- الطبيعة الكهرومغناطيسية : حيث ينتقل في الفراغ دون حاجة إلى وسط مادي و سرعته تساوي سرعة الضوء ($3\times10^8 m/s$)
- الطيف الواسع:يتكون من مجموعة الأطوال الموجية المختلفة فوق بنفسجي و مرئي و تحت لاحمر

شدة الإشعاع: حيث تعتمد على زاوية سقوط الأشعة و الوقت (نهار /ليل) و الفصل(صيف/شتاء). و الموقع الجغرافي.

- التفاعل مع الغلاف الجوي: حيث يرتكز على الامتصاص بواسطة طبقة الأوزون و بخار الماء ،و انعكاس عبر السحب والسطوح.

- الاستمرارية والتغير: الإشعاع الشمسي مستمر لكنه يتغير حسب النشاط الشمس [21].

2-3-4-2) ألوان الطيف المرئي:

الطيف المرئي هو الجزء الذي يمكن للعين البشرية رؤيته ،ويتراوح nm [750-380] [22].

ترتيب الألوان مع طول الموجية:

الجدول(2-1): مجالات الطول الموجي لألوان الطيف المرئي [22]

اللون	الطول الموجي (nm)
البنفسجي	[450-380]
الأزرق	[495-450]
الأخضر	[570-495]
الأصفر	[590-570]
البرتقالي	[620-590]
الأحمر	[750-620]

حيث أن كلما قصر الطول الموجي زادت الطاقة ، و ا لون البنفسجي أعلى طاقة ثم يليه الأحمر الأقل طاقة.

2-3-4-3) امتصاص الألوان:

الجسم يمتص معظم الألوان ويعكس اللون الذي يرى لنا :

- الجسم الأحمر ↔ يمتص كل الألوان ويعكس الأحمر.
- الجسم الأسود ↔ يمتص تقريبيا جميع الألوان .
- الجسم الأبيض↔ يعكس معظم الألوان (امتصاص ضعيف) . [23]

بحيث أن سلوك الامتصاص الألوان يكون كما هو موضح في الجدول:

الجدول(2-2): الطول الموجي لألوان الطيف المرئي و قابلية الامتصاص [23]

اللون	الطول الموجي	الطاقة	قابلية الامتصاص(تقريبية)
البنفسجي	[380-450]	عالية	امتصاص مرتفع
الأزرق	[450-495]	عالية	امتصاص مرتفع
الأخضر	[495-570]	متوسطة	امتصاص متوسط
الأصفر	[570-590]	اقل	امتصاص ضعيف نسبيا
البرتقالي	[590-620]	اقل	امتصاص ضعيف
الأحمر	[620-750]	منخفضة	اقل امتصاصا غالبا

نجد أن الامتصاص الحقيقي يعتمد على نوع المادة (ماء، تربة، نبات...) ، و لا توجد قيمة ثابتة موحدة لكل لون في جميع الحالات .

2-3-5) الخواص الضوئية للأوان:

1- الامتصاصية:

الامتصاص هو خاصية تقوم فيها المادة بامتصاص جزء من الضوء الساقط عليها، حيث تتحول طاقة الضوء الممتص إلى الطاقة حرارية أو أشكال أخرى ، ويختلف مقدار الامتصاص باختلاف لون المادة ، فالأجسام الداكنة كالأسود تمتص معظم الأطوال الموجية للضوء ، بينما تمتص الأجسام الملونة أطوال موجية معينة وتعكس الباقي.

$$\alpha_\lambda = (1-\rho_\lambda).(1-e^{-k\lambda.\varkappa}) \quad (1.2)$$

حيث ان:

k_λ :معامل الامتصاص المولي او معامل الخمود

ρ_λ:الانعكاسية السطحية

2- الانعكاسية:

الانعكاس هو ارتداد الضوء عن سطح الجسم عند سقوطه عليه ، واللون الذي نراه لكل جسم هو ناتج عن الأطوال الموجية التي يعكسها السطح نحو العين.

$$\rho_{\lambda}=\left(\frac{\eta_{\lambda-1}}{\eta_{\lambda+1}}\right)^{2} \qquad (2.2)$$

حيث ان:

$\lambda\eta$:معامل انكسار مادة المكثف عند طول موجي معين(يتأثير قليلا بنوع المادة والشوائب الملونة المضافة اليها)

3- النفاذية:

النفاد هو مرور الضوء عبر مادة شفافة أو شبه شفافة دون أن يمتص كليا ، وتعتمد النفادية على طبيعة المادة ولونها . [25]

$$\tau_{\lambda} = (1-\rho_{\lambda})^{2}.e^{-k_{\lambda}}.\varkappa \qquad (3.2)$$

حيث ان :

τ_{λ}:النفاذية عند طول موجي معين

ρ_{λ} :الانعكاسية السطحية

4-الأنبعاثية :

هي خاصية حرارية تتعلق بالاشعاع طويل الموجة (الاشعة تحت الحمراء) الذي يشعه المكثف نتيجة لدرجة حرارته ,وتلاتبط مباشرة بالامتصاصية حسب قانون كيرشوف للاشعاع الحراري

عند الاتزان الحرا ري:

$$\varepsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda} \qquad (4.2)$$

وعند التعامل مع الاجسام الرمادية او قيم متكاملة عبر الطيف الكلي :

$$\varepsilon = \alpha_{IR} \qquad (5.2)$$

حيث ان α_{IR} هي الامتصاصية في نطاق الاشعة الحمراء الموجية الطويلة

2-4)تأثير لون السطح على درجة الحرارة الداخلية:

يُعدّ لون السطح من العوامل الفيزيائية التي يمكن أن تؤثر في التبادل الحراري بين السطح والوسط المحيط، خاصة عند تعرضه للإشعاع الشمسي. وتختلف الألوان في خصائصها البصرية والحرارية، مثل القدرة على امتصاص أو انعكاس الإشعاع الشمسي ، وهو ما يجعل دراسة لون السطح موضوعًا مهمًا في العديد من التطبيقات العلمية والهندسية.

وتبرز أهمية دراسة هذا العامل في مجالات متعددة مثل الهندسة الحرارية، وتصميم المباني، وكذلك في الأنظمة التي تعتمد على الطاقة الشمسية، حيث يمكن أن يكون للون السطح دور في التأثير على الظروف الحرارية داخل الأنظمة أو الأجهزة المدروسة. لذلك تهدف هذه الدراسة إلى تناول تأثير لون السطح على درجة الحرارة الداخلية من خلال إجراء تجربة عملية وتحليل المعطيات المتحصل عليها لاحقًا [26].

2-5)علاقة اللون المكثف:

يرتبط لون السطح بخصائصه الحرارية والبصرية، إذ يؤثر في مقدار الإشعاع الشمسي الذي يمكن أن يمتصه أو يعكسه السطح. ويؤدي اختلاف الألوان إلى اختلاف في سلوك انتقال الحرارة داخل الأنظمة الحرارية، ومن بينها أنظمة التقطير الشمسي. فالتغير في كمية الطاقة الحرارية الممتصة نتيجة اختلاف اللون قد يساهم في تغيير الظروف الحرارية داخل الحوض، وهو ما يرتبط بالعمليات الفيزيائية مثل التبخر وتكثف بخار الماء على الأسطح الباردة.

وبناءً على ذلك، يُعد لون السطح أحد العوامل التي يتم أخذها بعين الاعتبار عند دراسة العوامل المؤثرة في أداء أجهزة التقطير الشمسي، حيث تناولت العديد من الدراسات تأثير اختلاف الألوان على خصائص انتقال الحرارة داخل الجهاز وعلاقتها بعمليات التبخر والتكثيف [27].

الفصل الثالث

معادلات التوازن الطاقوي في المقطر الشمسي البسيط

3-1) مقدمة

إن العلاقات التي تربط بين انتقال الحرارة والكتلة من الظواهر الفيزيائية الأساسية التي تلاحظ في العديد من التطبيقات الهندسية. ويعد المقطر الشمسي البسيط مثالا واضحا على هذه الظواهر ، حيث تجتمع فيه عمليات متعددة في إن واحد ، مثل انتقال الحرارة داخل الوسط الغازي والسائل ،إلى جانب عمليات التبخير والتكاثف.وتعتمد دراسة هذه العمليات على مجموعة من المعدلات الأساسية ، من بينها معادلة حفظ الكتلة ومعادلة حفظ الطاقة ، إضافة إلى القوانين النظرية التي تصف انتقال الحرارة بالحمل ولإشعاع والتوصيل .كما تستخدم معادلات التوازن الحراري لتحديد التغيرات في درجات الحرارة ومعدلات انتقال الطاقة داخل المقطر، وذلك يهدف فهم آلية عمله وتحسين كفاءته.

3-2)-التوازن الطاقوي على مستويات أجزاء المقطر:

في الحالة البسيطة، يتكون المقطر الشمسي من ثلاثة مستويات رئيسية:

- **المستوى الأول**:الغطاء ويكون من زجاج أو بلاستيك.
- **المستوى الثاني**: هو الماء المعرض للتبخير.
- **المستوى الثالث**: هو السطح الأسود(ذو اللون الأسود) الذي يمتص لإشعاع الحراري.

ينتج هذا التقسيم عن وجود تدرج في درجات الحرارة بين هذه المستويات.ولكل مستوى يتم حساب مجموعة التدفقات الحرارية الداخلة إليه والخارجة منه ،ثم تتم الموازنة بينهما للحصول على معادلة التوازن الحراري الخاصة بكل مستوى

ويعتمد هذا الأسلوب على مبدأ لتشابه بين انتقال الحرارة وانتقال الشحنات الكهربائية ،حيث ينص قانون كيرشوف للعقد على أن

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

3-3) معادلات حفظ الطاقة للمقطر الشاهد (الحالة البسيطة):

3-3-1) معادلة حفظ الطاقة حول الغطاء الزجاجيg

على مستوي الغطاءg(درجة حرارتهT_g)يأخذ الغطاء عن الماء المالح المقدار التالي من الحرارة:

$$Q_{ev,w-g} + \dot{Q}_{r,w-g} + \dot{Q}_{c,w-g}$$

ويمتص كذلك من الإشعاع الشمسي الوارد له من الشمس المقدار التالي: $(1-\rho_g).\alpha_g.G_t$

ويفقد الحرارة على شكل إشعاع وحمل إلى الجو المحيط به المقدار التالي: $\dot{Q}_{c,g-a}+\dot{Q}_{r,g-a}$

ومنه معادلة التوازن الحراري هي:

$$\frac{1}{A_g}(m_g.C_g.\frac{dT_g}{dt})=((1-\rho_g).\alpha_g.G_t+(Q_{ev,w-g}+\dot{Q}_{r,w-g}+\dot{Q}_{c,w-g})-Q_{r,g-a}-Q_{c,g-a}).A_g \quad (1.3)$$

بحيث:

- C_g السعة الحرارة النوعية للغطاء $[C_g]_{SI}=J/Kg.K$، m_gالكتلة السطحية للزجاج $[m_g]_{SI}=Kg/m^2$.
- $Q_{ev,w-g}$:الحرارة بالتبخير بين الماء والغطاء الزجاجي
- ρ_g: معامل الانعكاسية للغطاء.
- α_g:الإمتصاصية الإشعاعية للغطاء.
- $\dot{Q}_{r,w-g}$:التدفق الحراري بالإشعاع بين الماء المالحwوالجدار الداخلي للغطاءg.
- $\dot{Q}_{c,w-g}$:التدفق الحراري بالحِمل بين الماء المالح والجدار الداخلي للغطاء.
- $\dot{Q}_{c,g-a}$، $\dot{Q}_{r,g-a}$:التدفقات الحرارية الضائعة من المقطر بين الغطاء الزجاجي والهواء، وذلك بالإشعاع والحمل
- G_t:شدة التدفقات الحرارية في المقطر الإشعاع الشمسي الحراري الساقط على السطح المائل لغطاء المقطر(زجاج مائل بزاوية θ)مأخوذ ب$\frac{W}{m^2}$.وفي معظم المراجع يسمى الإشعاع المباشر الناظمي على السطح المائل بزاوية θ، ويسمى في المراجع المتخصصة في الإشعاع الاستنارة الأرضية(Luminance).
- A_g.مساحة لزجاج (m^2)

2-3-3)معادلة حفظ الطاقة حول الماء w

على مستوى سطح الماء w (درجة حرارتهT_w) يمتص الماء المالح wالإشعاع المقدر بـ

$\alpha_w(1-\rho_w)(1-\alpha_g)(1-\rho_g)G_t$،ويتوزع هذا المقدار على الأشكال التالية : ينتقل جزء بالحمل والإشعاع والتبخير $(Q_{ev,w-g}+\dot{Q}_{r,w-g}+\dot{Q}_{c,w-g})$إلى الجدار الداخلي للغطاء، وجزء يمر عبر الماء ليمتص من السطح الأسود bمقداره: $\alpha_b(1-\alpha_w)(1-\rho_w)(1-\alpha_g)(1-\rho_g)G_t$

ومنه معادلة التوازن الحراري هي:

$$\frac{1}{A_w}(m_w.C_w.\frac{dT_w}{dT}) = ((1-\rho_g).(1-\alpha_g)\alpha_w G_t - (\dot{Q}_{ev,w-g} + \dot{Q}_{r,w-g} + \dot{Q}_{c,w-g})\frac{A_g}{A_w} + \dot{Q}_{c,b-w} - \dot{Q}_{lose}).A_w \quad (2.3)$$

حيث:

- A_g و A_w مساحة الزجاج والماء على التوالي $[A_g]_{SI} = [A_w]_{SI} = (m^2)$
- $\dot{Q}_{c,b-w}$:التدفق الحراري بالحِمل بين الماء المالح وبطانة الحوض.

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

على مستوى السطح الأسود b (درجة حرارتهT_b) يمتص السطح الأسود b الإشعاع الشمسي المقدر بـ:

$\alpha_b(1-\alpha_w)(1-\rho_w)(1-\alpha_g)(1-\rho_g)G_t$، ويتوزع على كل من الماء وجزء يضيع عبر العوازل Q_{lose1} ،وتكون معادلة التوازن الحراري بالشكل التالي:

$$\frac{1}{A_b.}(m_b.C_b.\frac{dT_b}{dt}b) = \left((1-\rho_g).(1-\alpha_g).(1-\alpha_w).(1-\rho_w)\alpha_b G_t - \dot{Q}_{c,b-w} - \dot{Q}_{lose}\right).A_b. \quad (3.3)$$

بحيث:

A_b : مساحة السطح الأسود (m^2)

$\dot{Q}_{lose}$:التدفق الحراري الضائع عبر السطح الأسود والعوازل

4-3-3)قيمة التدفق الكتلي للماء المقطر تعطى بالعبارة التالية

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m} = \frac{\dot{Q}_{ev,w}}{H_w} \quad (4.3)$$

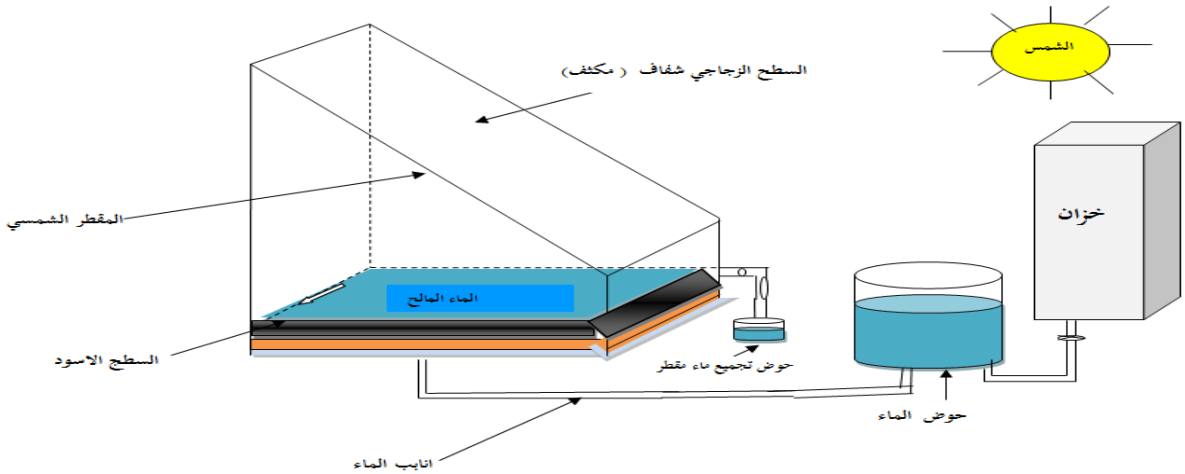
حيثH_wالحرارة الكامنة للتبخير الخاص بالماء تعطى حسب [28] بالعلاقة :

$$H_w = \left(h_{vapor} - h_{liquide}\right)_{T_{moy}} \quad (5.3)$$

حيث $(h_{vapor} - h_{liquide})$هو الفرق في الأنتالبي الخاصة بالماء من حالة التشبع للبخار لحالة التشبع عند السائل عند درجة الحرارة المتوسطة T_{moy}التي تساوي$(T_w + T_g)/2$

3-3-2-1) الإجراءات المتبعة:تعتمد هذه الدراسة على خمس تجارب

3-3-2-1-1) التجربة الأولى:استعمال زجاج شفاف (مكثف)

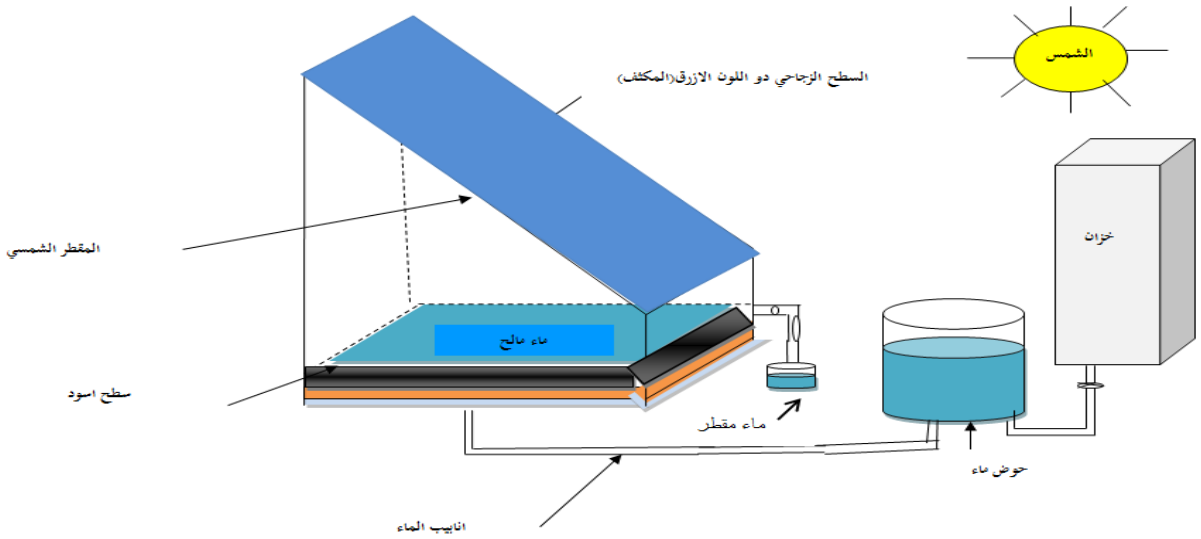


الشكل**(3-1)**: رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الأولى

ملاحظة: بالنسبة لي مستوي الماء والحوض لم يحدث لهما أي تأثير في حالة هذه التجربة

3-3-2-1-3) التجربة الثانية: استعمال الزجاج ذو اللون الأزرق(مكثف)

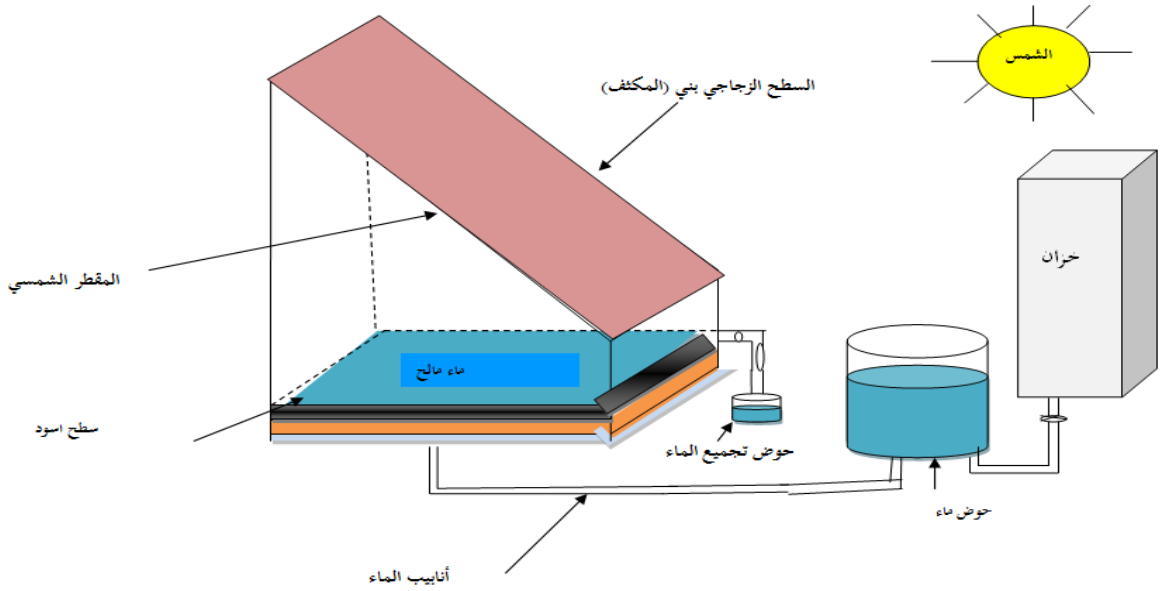
في هذه التجربة تم تركيب مكثف مصنوع من زجاج ازرق اللون ،وذلك وفق الشكل المبين.



الشكل(3-2):رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الثانية

3-3-2-1-5) التجربة الثالثة: استعمال الزجاج ذو اللون البني (المكثف)

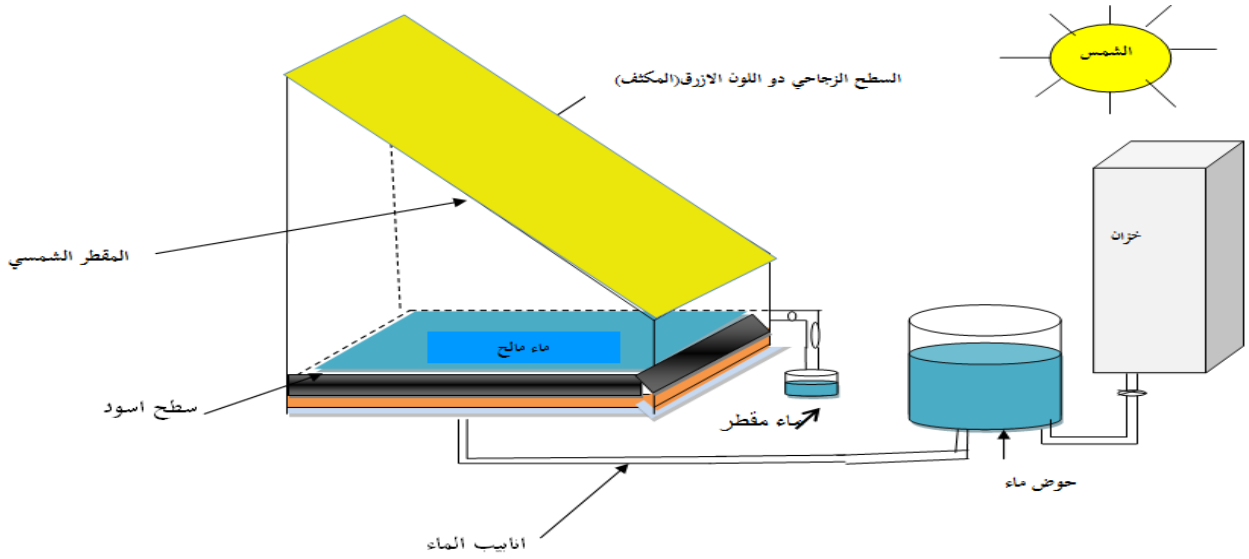
في هذه التجربة تم تركيب مكثف مصنوع من زجاج البني اللون ،وذلك وفق الشكل المبين.



الشكل(3-3):رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الثالثة

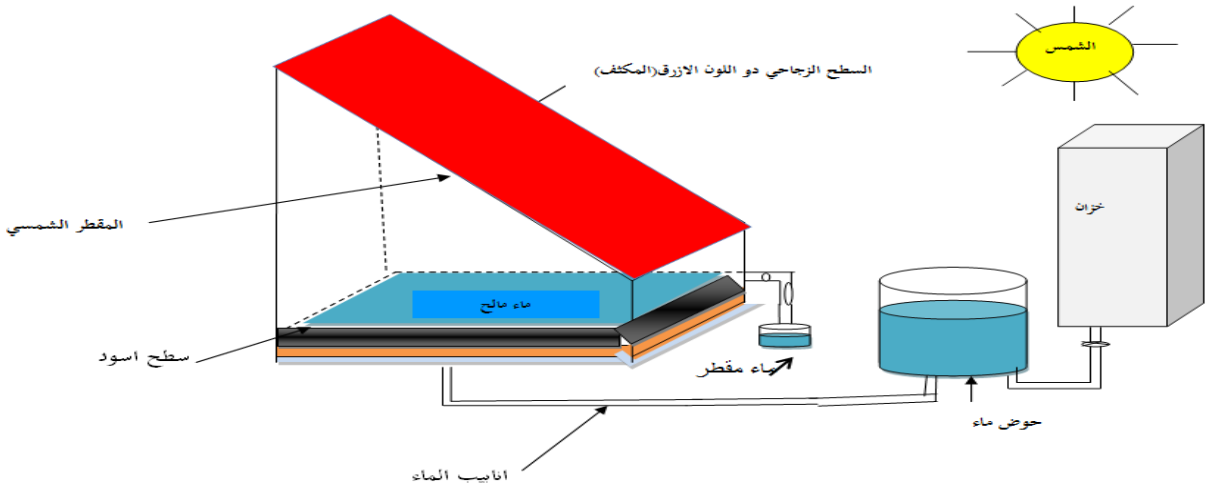
3-3-2-1-6)التجربة الرابعة:استعمال الزجاج ذو اللون الأصفر (المكثف)

في هذه التجربة تم تركيب مكثف مصنوع من زجاج االاصفر اللون ،وذلك وفق الشكل المبين.



الشكل(3-4):رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الرابعة

3-3-2-1-7)التجربة الخامسة: استعمال الزجاج ذو اللون الأحمر (المكثف) في هذه التجربة تم تركيب مكثف مصنوع من زجاج الأحمر اللون ،وذلك وفق الشكل المبين.



الشكل(3-5):رسم تخطيطي يوضح تجهيز التجربة الخامسة

الفصل الرابع

تحليل ومناقشة النتائج

4-1) مقدمة

تم التطرق في هذا الفصل إلى دراسة تجريبية لتأثير لون المكثف على كفاءة التقطير الشمسي، وذلك باستخدام أربعة مقطرات شمسية بسيطة متشابهة في التقييم وتختلف في لون سطح المكثف.وتهدف هذه التجربة إلى مقارنة كفاءة إنتاج الماء المقطر ،لكل من المقطر ودراسة تأثير الخصائص الضوئية للألوان على عملية الامتصاص الحراري ومعدل التكثيف،أنجزت هذه الدراسة تحت نفس الظروف المناخية وبنفس الشروط التشغيل لضمان دقة النتائج .وقد تمت التجربة بمخبر الطاقات الجديدة والمتجددة للمناطق الصحراوية (LENREZA)- قسم الفيزياء بكلية الرياضيات والعلوم المادة ،جامعة قاصدي مرباح ورقلة .

4-2) مبدأ أعمل المقطر الشمسي:

يعتمد المقطر الشمسي في عمله على محاكاة الدورة الطبيعية للماء في البيئة، فعند تعرض الماء الموجود داخل حوض المقطرالشمسي للإشعاع الشمسي،تمتصه الأسطح الداخلية فيرتفع تدريجيا في درجة حرارته ،مما يؤدي إلى تبخره،بينما تبقى الأملاح والشوائب في قاع الحوض .يتحرك بخار الماء المتكون نحو الغطاء الشفاف للمقطر الشمسي ، والذي يكون عادة اقل حرارة من الماء في الحوض.و نتيجة لاختلاف درجات الحرارة،يتكاثف البخار على السطح الداخلي للغطاء على شكل قطرات ماء نقي. بعد ذلك تنساب هذه القطرات بفعل الجاذبية نحو قناة أو وعاء مخصص لتجميع ماء المقطر،ليتم الحصول في النهاية على ماء عذب وخال من الأملاح [29].

4-3) الأدوات المستعملة:

تم استعمال في هذه تجربة عدة عناصر من بينها كل من:

جدول(4-1): يوضح الأدوات المستعملة في التجربة

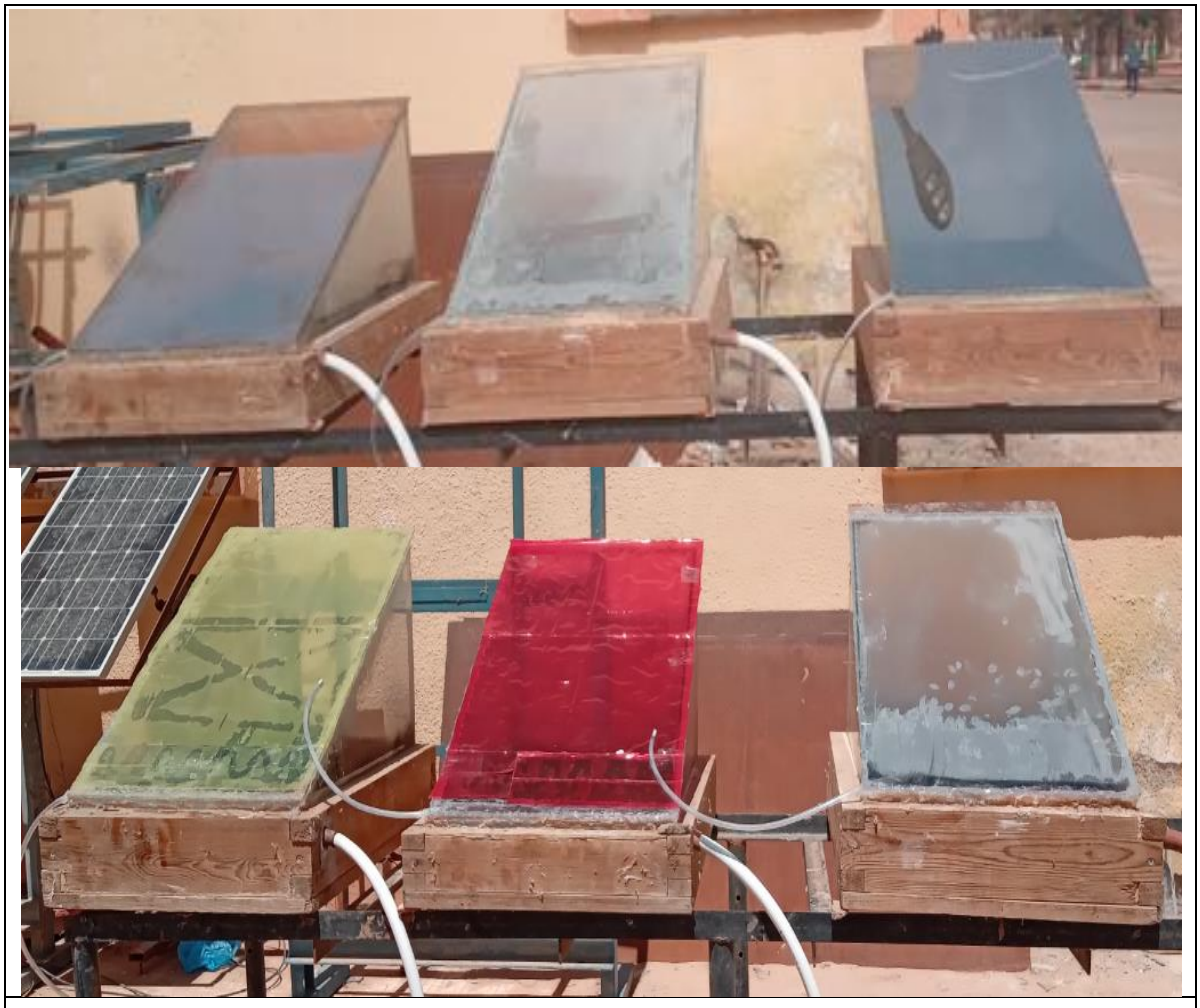
طلاء اسود غير لامع الغرض منه طلاء سطح جهاز المقطر الشمسي	
الأنابيب المدرجة (Tubes graduèes): تستعمل لقياس كمية الماء المقطرة في كل ساعة وبذلك نحسب التدفق الكتلي للماء وكذلك حساب كمية الماء المجمع.	
أنابيب بلاستكية (Tubes plastiques): وهي أنابيب للتوصيل بين مختلف أجزاء المقطر ونقل الماء مهما كانت نوعيته (نقي – مالح–محلول ملحي).	
سليكون شفاف الغرض منه لصق الزجاج .	
كأس بيشر:نقل الماء ويتميز بحافة صب تساعد على سكب الماء دون انسكاب	
أنبوب بلاستيك المستعمل في تقنية قطرة بقطرة لتغذية مقطر	

4-4)-النموذج الأولية لأجهزة التجريبية:

تم الاعتماد في انجاز هذا العمل على خمس مقطرات شمسية بسيطة مختلفة الألوان متشابهين لكل منهما حوض وحيد الميل له الإبعاد التالية :

- سمك الزجاج (المكثف:الشفاف، الأحمر،الأصفر،البني،الأزرق)(4mm)
- ارتفاع الغطاء (0.35 (m)
- أبعاد الحوض (الطول× العرض)
- أبعاد الغطاء الزجاجي للمكثفات مختلفة الألوان :((0.71 (m)×0.42 (m)
- مساحة الحوض:$0.308m^2$

4-5)-تصميم النموذج التجريبي للمقطرات الشمسية مختلفة الألوان :



الشكل(4-1):صورتان فوتوغرافية توضح كيفية تجهيز التجربة

4-6) وصف التجربة :

تم إجراء تجربة تحتوي على خمس نماذج من مقطرات الشمسية تختلف فيما بينها من حيث اللون المكثف فقط ،وقد أنجزت التجارب في نفس الوقت وتحت نفس الظروف المناخية لضمان دقة المقارنة بين النتائج .استمرت التجارب ا لمدة سبعة أيام، بحيث كان اللون المكثف هو المتغير الوحيد محل الدراسة.وتم خلال فترة التجربة قياس كمية الماء المقطر المنتجة يوميا لكل نموذج.

وفي النهاية التجارب، تم جمع البيانات وتدوينها في جدول Excel و رسم المنحنيات الموضحة أدناه في برنامجorigine، ثم تحليل النتائج ومقارنتها من اجل تقييم تأثير اختلاف اللون على مردود المقطرات.

- ملاحظة : يحتوي العمل التجريبي على مجوعتين ، بحيث المجوعة الأولى (مكثف الأزرق و المكثف البني) و المجوعة الثانية (المكثف الأحمر و المكثف الأصفر)

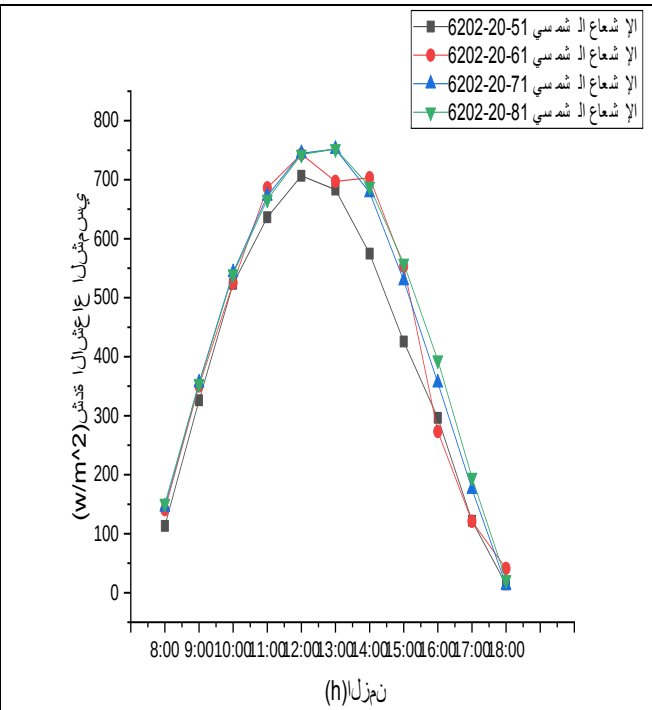
4-7) الظروف التي تمت فيها التجربة خلال أيام التجربة

- عدم استقرار المناخ أو ثباته طوال مدة إجراء التجربة.
- حدوث تسريبات للمياه في المقطرات، مما اضطرنا إلى فتح الجهاز وإعادة صيانته أكثر من مرة.
- نقص بعض الأجهزة والوسائل الضرورية لإتمام التجربة.
- نقص توفر بعض الزجاج الملون المستخدم كمكثف.

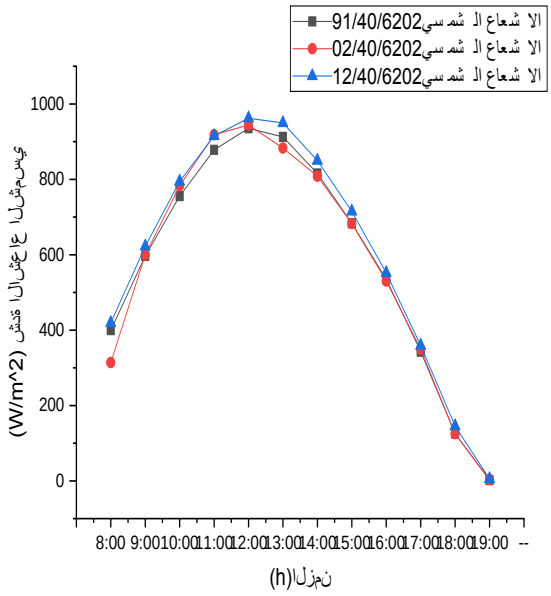
4-8) المنحنيات التجريبية خلال أيام التجربة:

- **المجوعة الأولى: المقطرات الشمسية اللون الأزرق و اللون البني**

1-8-4) مقارنة الإشعاع الشمسي :



منحى1: يوضح تغيرات شدة الإشعاع الشمسي لكل من أيام 15 و 16 و17 و 18 فيفري 2026 بدلالة الزمن



منحى2: يوضح تغيرات شدة الإشعاع الشمسي لكل من أيام 19 و 20 و21 افريل 2026 بدلالة الزمن

الشكل (4–2) منحنات شدة الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن

تحليل المنحنيات الشكل (4–2):

تمثل المنحنيان (1) و(2) تغيرات شدة الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن خلال أيام مختلفة من شهري فيفري و أفريل 2026، حيث نلاحظ في كلا المنحنيين أن شدة الإشعاع الشمسي تزداد تدريجيًا ابتداءً من الفترة الصباحية نتيجة ارتفاع الشمس في السماء وزيادة زاوية سقوط الأشعة، ثم تبلغ قيمتها العظمى خلال الفترة الممتدة بين منتصف النهار وبداية الزوال، وبعدها تبدأ بالانخفاض التدريجي إلى غاية المساء بسبب انخفاض زاوية سقوط الأشعة واقتراب غروب الشمس.

نلاحظ في المنحنى (1) الخاص بأيام 15 و16 و17 و18 فيفري 2026 ، تتراوح القيم العظمى للإشعاع الشمسي بين حوالي W/m^2 700 و750 W/m^2 ، حيث سجل يوم 17 و 18 فيفري أعلى قيمة مقارنة بباقي الأيام، مما يدل على استقرار نسبي في الظروف الجوية خلال ذلك اليوم. كما نلاحظ انخفاضًا سريعًا لشدة الإشعاع بعد الساعة 15:00 في معظم الأيام نتيجة تناقص الإشعاع الشمسي مع نهاية النهار.

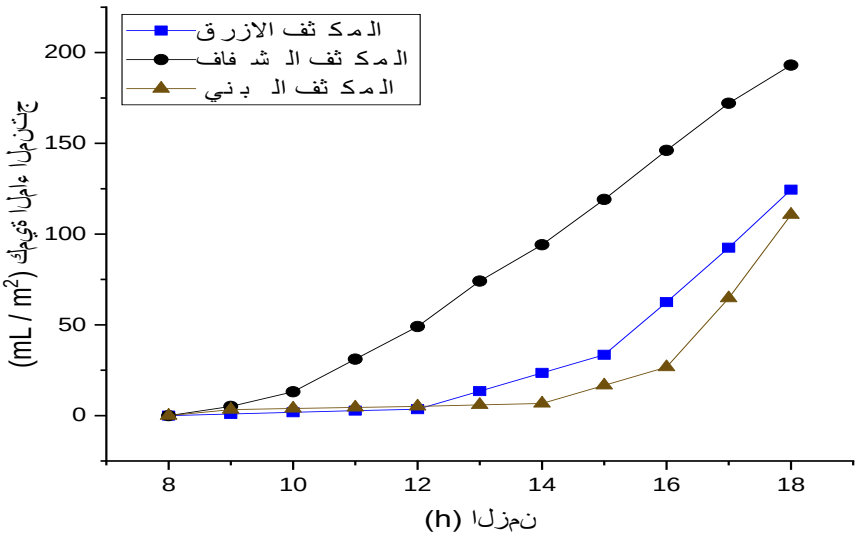
أما في المنحنى (2) الخاص بأيام 19 و20 و21 أفريل 2026 ، فيظهر قيماً أعلى مقارنة بالمنحنى (1)، حيث بلغت شدة الإشعاع القصوى حوالي W/m^2 900 إلى W/m^2 950 ، خاصة يومي 19 و21 أفريل، وهو ما يعكس زيادة شدة الإشعاع الشمسي خلال فصل الربيع بسبب ارتفاع مدة السطوع الشمسي وازدياد ارتفاع الشمس. كما يُلاحظ وجود انخفاض مؤقت في يوم 20 أفريل خلال منتصف النهار، ما قد يشير إلى تغيرات جوية عابرة مثل مرور سحب أو انخفاض في صفاء الغلاف الجوي.

ومن خلال المقارنة بين المنحنيين، يتضح أن قيم الإشعاع الشمسي في شهر أفريل أعلى بوضوح من تلك المسجلة في شهر فيفري، ويرجع ذلك إلى الاختلاف الفصلي وزيادة طول النهار وارتفاع زاوية سقوط الإشعاع الشمسي في أفريل. كذلك فإن منحنيات أفريل أكثر انتظامًا واستقرارًا، في حين أظهرت منحنيات فيفري تذبذبًا نسبيًا وانخفاضًا أسرع خلال الفترة المسائية. وبصفة عامة، تؤكد النتائج أن شدة الإشعاع الشمسي ترتبط مباشرة بالزمن اليومي وبالظروف المناخية والفصلية السائدة,وكذلك يرتبط هذا السلوك الإشعاعي مباشرة بكفاءة المقطر الشمسي عبر معامل الانبعاثية الحرارية للمكثف، فخلال ساعات الذروة ,يمتص المكثف جزءاً من الاشعاع الشمسي حسب لونه وتعمل انبعاثيته العالية على تشتيت جزء من الحرارة نحو الخارج للحفاظ على الفارق الحراري اللازم للتكثيف، بينما في الفترة المسائية والليلية يصبح معامل الانبعاثية هو المحرك الأساسي للكفاءة، حيث يسمح للغطاء بالتبريد الإشعاعي السريع ، مما يخفض حرارة سطح الداخلي ويضمن استمرار تكثف البخار واستمرار الإنتاجية حتى في غياب الإشعاع المباشر.

4-8-2) مقارنة كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرات الشمسية:

توضح المنحنيات تغيرات كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين (1) و (2) و (3) بدلالة الزمن

1- **اليوم 15 فيفري 2026**



الشكل (4-3) منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج المجمع بدلالة الزمن ليوم 15 فيفري 2026

تحليل المنحنى الشكل (4-3):

يمثل الشكل تغير كمية الماء المقطر المنتج بدلالة الزمن لثلاثة أنواع من المكثفات (الشفاف، الأزرق، والبني). نلاحظ من خلال المنحنيات أن كمية الماء المنتجة تزداد تدريجيًا مع الزمن بالنسبة لجميع الحالات، حيث تكون الزيادة ضعيفة في الساعات الأولى (من الساعة 8 إلى 10 ساعات) نتيجة انخفاض درجة الحرارة وبداية عملية التسخين. بعد ذلك تزداد كمية الماء بشكل ملحوظ ابتداءً من منتصف النهار، لتبلغ أقصاها في الفترة المسائية، وهو ما يرجع إلى ارتفاع شدة الإشعاع الشمسي وزيادة معدل التبخر.

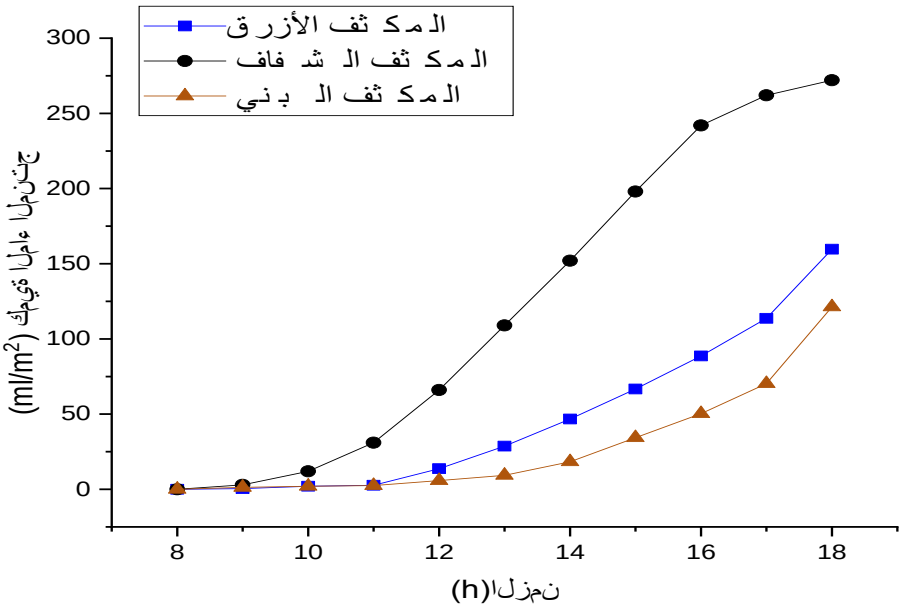
بالمقارنة بين المنحنيات، يتضح أن المكثف الشفاف يحقق أعلى كفاءة من الماء المقطر طوال فترة التجربة، حيث يصل إلى أكبر قيمة في نهاية الزمن المدروس، مما يدل على كفاءته العالية. يليه المكثف الأزرق الذي يسجل قيمًا متوسطة، بينما يسجل المكثف البني أقل كمية من الماء المقطر المنتج ، مما يعكس ضعفه النسبي في الأداء.

يمكن تفسير هذا الاختلاف في الكفاءة بتأثير لون المكثف على امتصاص ونفاذ الإشعاع الشمسي، حيث يسمح المكثف الشفاف بمرور أكبر قدر من الإشعاع الشمسي إلى داخل المقطر الشمسي ، مما يزيد من درجة حرارة

الماء ويعزز عملية التبخر وعليه زيادة عملية التكثيف ، في حين أن الألوان الأخرى تحدّ نسبيًا من هذه العملية. وعليه، يمكن ترتيب كفاءة المقطرات كما يلي: المكثف الشفاف ثم الأزرق وأخيرًا البني خلال النهار .

بصفة عامة تظهر النتائج وجود اختلاف واضح في معدل إنتاج الماء بين الحالات الثلاث ،حيث يمكن ترتيبها حسب الأداء النهائي كمايلي : مكثف الشفاف ثم المكثف الأزرق ثم المكثف البني ويعود هذا الاختلاف إلى تأثير العوامل المدروسة (مثل اللون أو خصائص السطح)على كفاءة امتصاص الطاقة وبالتالي على عملية التبخر والتكاثف.

2- اليوم 16 فيفري 2026



الشكل (4-4) منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج المجمع بدلالة الزمن ليوم 16 فيفري 2026

تحليل المنحنى الشكل (4-4):

يمثل هذا الشكل تطور كمية الماء المقطر المنتج بدلالة الزمن لثلاثة أنواع من المكثفات (الشفاف، الأزرق، والبني). نلاحظ أن جميع المنحنيات تتبع سلوكًا تصاعديًا، حيث تزداد كمية الماء المقطر المنتج تدريجيًا مع مرور الزمن. في الفترة الصباحية (من الساعة 8:00 إلى 10:00 ساعات)، تكون كمية الماء المقطر ضعيفة جدًا تكاد تنعدم، ويرجع ذلك إلى انخفاض شدة الإشعاع الشمسي وعدم وصول النظام إلى درجة حرارة كافية لبدء التبخر الفعال. ابتداءً من الساعة 10:00 إلى غاية:00 14الساعة ، تبدأ كمية الماء المقطر المنتج في الارتفاع بشكل ملحوظ، حيث تزداد سرعة التبخر نتيجة ارتفاع درجة الحرارة وزيادة شدة الإشعاع الشمسي. أما في الفترة الممتدة من الساعة 14:00 إلى الساعة18:00، فتسجل المنحنيات ارتفاعًا حادًا، خاصة بالنسبة للمكثف الشفاف، مما يدل على بلوغ المقطر أعلى كفاءة له خلال هذه الفترة.

بالمقارنة بين المنحنيات، يتبين أن المكثف الشفاف يحقق أعلى إنتاجية من الماء المقطر المنتج طوال فترة التجربة، حيث تصل الكمية إلى حوالي 270 mL/m²–260mL/m² في نهاية اليوم، مما يعكس كفاءته العالية. يليه

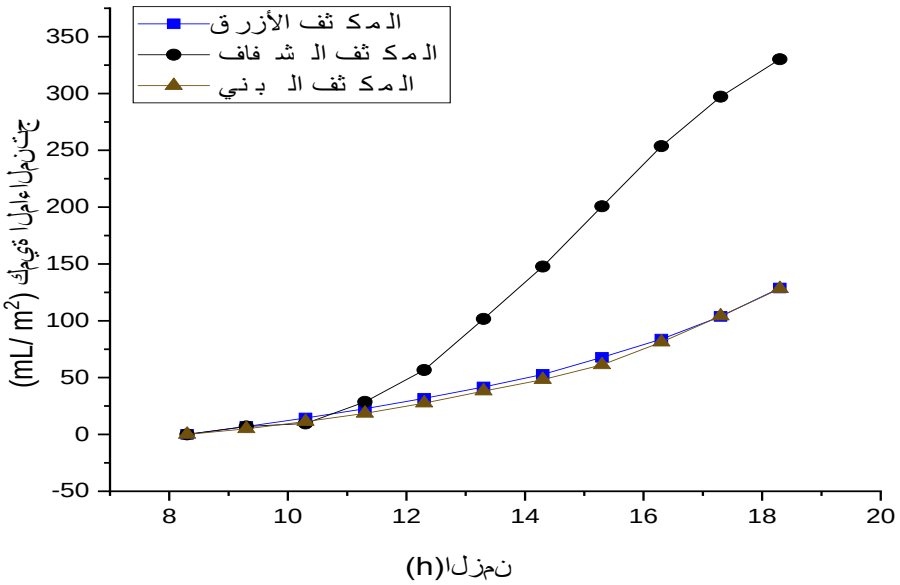
المكثف الأزرق الذي يسجل مردودًا متوسطًا يصل إلى حوالي $150\ mL/m^2$ ، في حين يبقى المكثف البني الأقل كفاءة بقيمة تقارب $120mL/m^2 - 110mL/m^2$.

يفسر هذا التباين في الأداء إلى تأثير لون المكثف على نفاذية وامتصاص الإشعاع الشمسي، حيث يسمح المكثف الشفاف بمرور أكبر قدر من الإشعاع الشمسي إلى داخل الحوض، مما يزيد من درجة حرارة الماء المقطر المنتج ويعزز عملية التبخر. في المقابل تمتص أو تعكس المكثفات الملونة جزءًا من الإشعاع الشمسي، مما يقلل من كفاءة التقطير.

وعليه، يمكن ترتيب كفاءة المقطرات تنازليًا كما يلي: المكثف الشفاف، ثم الأزرق، وأخيرًا البني.

،يتبين إن كمية الماء المقطر المنتج تزداد مع الزمن لجميع الحالات ،غير إن معدل هذه الزيادة يختلف بينها حيث يمكن ترتيبها حسب الأداء النهائي كما يلي: الشفاف ثم لازرق ثم البني ويرجع هذا الاختلاف إلى تأثير العوامل المدروسة (مثل اللون أو خصائص السطح)على كفاءة امتصاص الطاقة وبالتالي على عمليتي التبخر والتكاثف .

3- اليوم 17 فيفري 2026



الشكل (4-5) منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج المجمع بدلالة الزمن ليوم 17 فيفري 2026

تحليل المنحنى الشكل (4-5):

تحليل منحنى تغيّر كمية الماء المنتج بدلالة الزمن (الشكل 4-5):

يمثل هذا الشكل تطور كمية الماء المنتج بدلالة الزمن لثلاثة أنواع من المكثفات (الشفاف، الأزرق، والبني). نلاحظ أن جميع المنحنيات تأخذ منحى تصاعديًا مع الزمن، ما يدل على أن إنتاج الماء يزداد تدريجيًا نتيجة استمرار عملية التبخر والتكثف.

في الفترة الصباحية (من الساعة 8 إلى 10الساعة)، تكون كمية الماء المنتجة ضعيفة جدًا، حيث لم يصل المقطر الشمسي بعد إلى درجة حرارة كافية لحدوث تبخر فعال. ابتداءً من الساعة 10 إلى الساعة 12، تبدأ الكمية في الارتفاع بشكل تدريجي. بعد ذلك، من 12الساعة إلى الساعة 15، تزداد سرعة الإنتاج بشكل واضح، خاصة بالنسبة للمكثف الشفاف. أما في الفترة المسائية (15الساعة إلى الساعة 18)، فتسجل جميع المنحنيات ارتفاعًا كبيرًا، ما يعكس بلوغ النظام أعلى كفاءة نتيجة ارتفاع درجة الحرارة وتراكم الطاقة الحرارية داخل المقطر الشمسي.

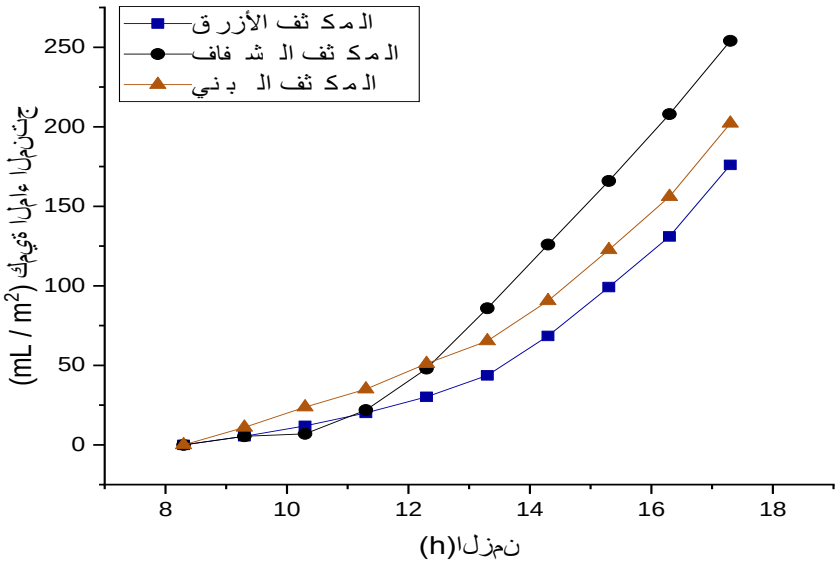
من خلال المقارنة، يتبين أن المكثف الشفاف (المنحنى الشفاف) يحقق أعلى إنتاجية طوال فترة التجربة، حيث تصل كمية الماء إلى حوالي(330 mL/m²–320 mL/m²)،ما يدل على كفاءته العالية في استغلال الإشعاع الشمسي. في المقابل، يسجل المكثف الأزرق (المنحنى الأزرق) كفاءة متوسطًا يصل إلى حوالي

150 mL/m² .بينما يحقق المكثف البني (المنحنى البني) قيمًا أقل نسبيًا في معظم الفترات، رغم تقاربه مع الأزرق في بعض المراحل، ليصل إلى حوالي(130 mL/m²–120 mL/m²)

يُفسَّر هذا التفاوت في الأداء بتأثير لون المكثف على نفاذية وامتصاص الإشعاع الشمسي، حيث يسمح المكثف الشفاف بمرور أكبر قدر من الإشعاع الشمسي إلى داخل المقطر الشمسي، مما يزيد من تسخين الماء وبالتالي رفع معدل التبخر. بينما تؤدي الألوان الأخرى إلى امتصاص أو انعكاس جزء من الإشعاع الشمسي ، ما يقلل من الكفاءة الحرارية للنظام.

وعليه، يمكن ترتيب كفاءة المقطرات كما يلي:المكثف الشفاف | >المكثف الأزرق > المكثف البني.

4– اليوم 18 فيفري 2026



الشكل (4–6) منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج المجمع بدلالة الزمن ليوم 18 فيفري 2026

تحليل المنحنى الشكل (4–6):

يمثل الشكل تغير كمية الماء المنتَج (mL/m²) بدلالة الزمن (h) لثلاثة أنواع من المكثفات: الأزرق، الشفاف، والبني.

نلاحظ أن المنحنيات الثلاثة تتجه جميعها نحو الأعلى، أي أن كمية الماء تزداد مع مرور الزمن. في الفترة الصباحية (من الساعة 8 إلى حوالي الساعة11) تكون الزيادة بطيئة وضعيفة، مما يدل على أن إنتاج الماء المقطر في البداية

محدود. بعد ذلك ابتداءً من منتصف النهار (حوالي الساعة 12)، تصبح الزيادة أسرع ويأخذ المنحنى شكلاً أكثر انحدارًا، أي أن سرعة إنتاج الماء المقطر ترتفع بشكل واضح.حيث نلاحظ أن المكثف الشفاف يعطي أكبر كمية من الماء المقطر المنتج طوال التجربة، ويتميز بانحدار كبير بعد منتصف النهار، ما يدل على كفاءة عالية في الإنتاج، و المكثف البني يحتل المرتبة الثانية والمكثف الأزرق يسجل أقل القيم خلال كامل الفترة الزمنية، مما يعني أنه الأقل كفاءة.

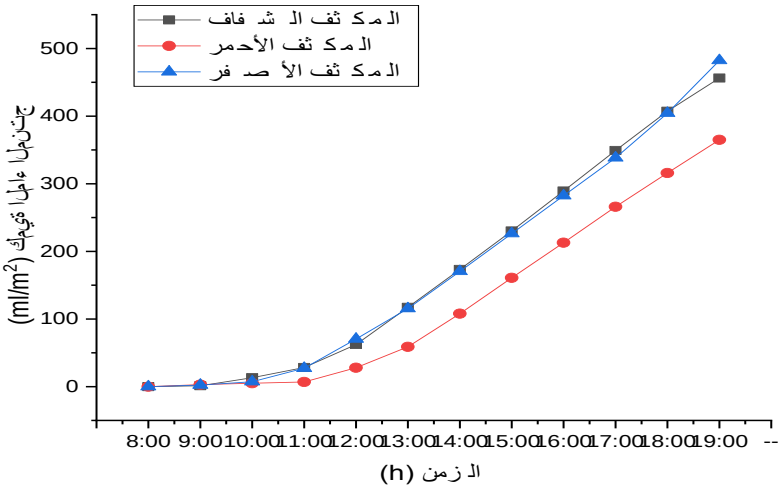
كما نلاحظ أنه في البداية تكون الفروقات بين المنحنيات صغيرة، لكن مع مرور الوقت تزداد الفجوة بينها خاصة لصالح المكثف الشفاف.

يفسر هذا السلوك إلى تأثير الإشعاع الشمسي وخصائص كل مكثف. فالمكثف الشفاف يسمح بمرور أكبر قدر من الإشعاع الشمسي، مما يزيد من التبخر وبالتالي التكاثف، فينتج ماء المقطر أكثر. أما المكثف البني فامتصاصه متوسط، بينما المكثف الأزرق أقل قدرة على استغلال الطاقة الحرارية، لذلك يكون إنتاجه ضعيفًا.

- **المجموعة الثانية: المقطرات الشمسية اللون الأصفر و اللون الأحمر**

توضح المنحنيات تغيرات كمية الماء المجمعة تجريبيا في المقطرين (1) و (4) و (5) بدلالة الزمن خلال

1- اليوم 2026/04/19



الشكل (4-7) منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج المجمع بدلالة الزمن ليوم 19 أفريل 2026

تحليل منحنى كمية الماء بدلالة الزمن (الشكل 4-7):

يمثل الشكل (4-7) تغير كمية الماء المنتجة بدلالة الزمن لثلاثة أنواع من المقطرات (الشفاف، الأحمر، الأصفر).

نلاحظ أن سلوك المنحنيات متشابه من حيث الاتجاه العام، مع وجود اختلاف في القيم.

في الفترة الصباحية (من الساعة 08:00 إلى الساعة 10:00)، تكون كمية الماء المنتجة ضعيفة جدًا لجميع المقطرات، ويرجع ذلك إلى انخفاض شدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة، مما يؤدي إلى بطء عملية التبخر.

ابتداءً من الساعة 11:00، تبدأ كمية الماء في الارتفاع بشكل ملحوظ، حيث تزداد سرعة الإنتاج نتيجة ارتفاع درجة الحرارة وزيادة شدة الإشعاع الشمسي، مما يعزز عملية التبخر والتكثيف داخل المقطر.

تبلغ كمية الماء ذروتها ما بين الساعة 13:00 و16:00الساعة، حيث نلاحظ استقرارًا نسبيًا في القيم (مرحلة شبه ثابتة)، وهو ما يدل على أن النظام وصل إلى أقصى كفاءة تشغيلية خلال هذه الفترة.

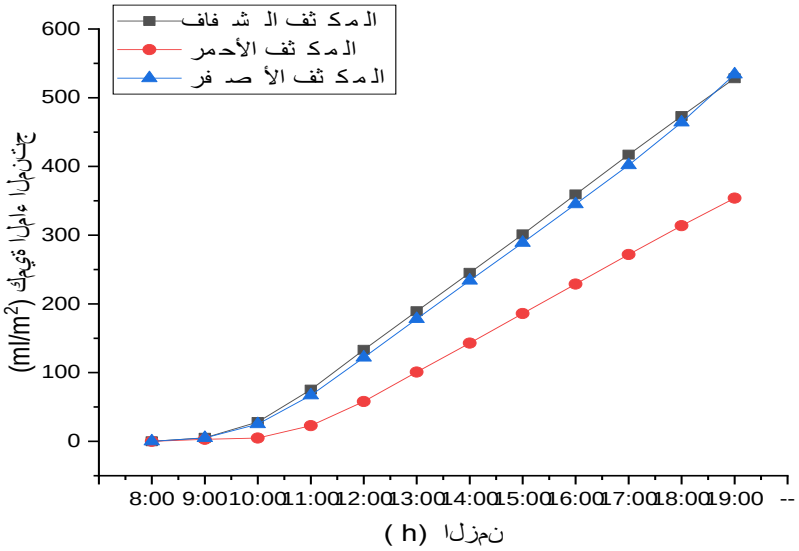
بعد الساعة 16:00، تسجل كمية الماء انخفاضًا واضحًا، خاصة عند الساعة 17:00، ويفسر ذلك إلى انخفاض الإشعاع الشمسي واقتراب غروب الشمس، مما يقلل من معدل التبخر.

أما المقطر ذو اللون الأصفر يحقق أعلى كمية ماء منتجة طوال اليوم، مما يدل على كفاءته العالية في امتصاص الإشعاع الشمسي.يليه المقطر الشفاف بأداء متوسط.بينما يسجل المقطر الأحمر أقل كمية ماء، ما يشير إلى ضعف كفاءة مقارنة بالبقية.

من خلال المقارنة بين المنحنيات، يتضح أن المكثف الأصفر يحقق أعلى مردود من الماء المنتج طوال اليوم، حيث يصل إلى قيمة تقارب $480\ ml/m^2$ عند الساعة 19:00، مما يدل على كفاءته العالية في استغلال إشعاع الشمسي ، يليه المكثف الشفاف الذي يسجل أداءً جيدًا لكن أقل من الأصفر بقليل، حيث يبلغ حوالي $450ml/m^2$،في المقابل يسجل المكثف الأحمر أقل كمية من الماء المنتج، حيث لا تتجاوز $360\ ml/m^2$ ، مما يشير إلى ضعف كفاءته مقارنة ببقية الألوان.

يمكن تفسير هذه النتائج بتأثير لون المكثف على امتصاص الإشعاع الشمسي، حيث أن الألوان تختلف في قدرتها على امتصاص أو عكس الأشعة. فالمكثف الأصفر، وفقًا للنتائج المتحصل عليها، يسمح بامتصاص أفضل للطاقة الحرارية داخل النظام، مما يزيد من درجة الحرارة ويعزز عملية التبخر، في حين أن المكثف الأحمر يعكس جزءًا أكبر من الإشعاع، مما يقلل من كفاءة التقطير.

1- اليوم 2026/04/20



الشكل (4-8) منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج المجمع بدلالة الزمن ليوم 20 أفريل 2026

تحليل منحنى كمية الماء بدلالة الزمن الشكل(4-8)

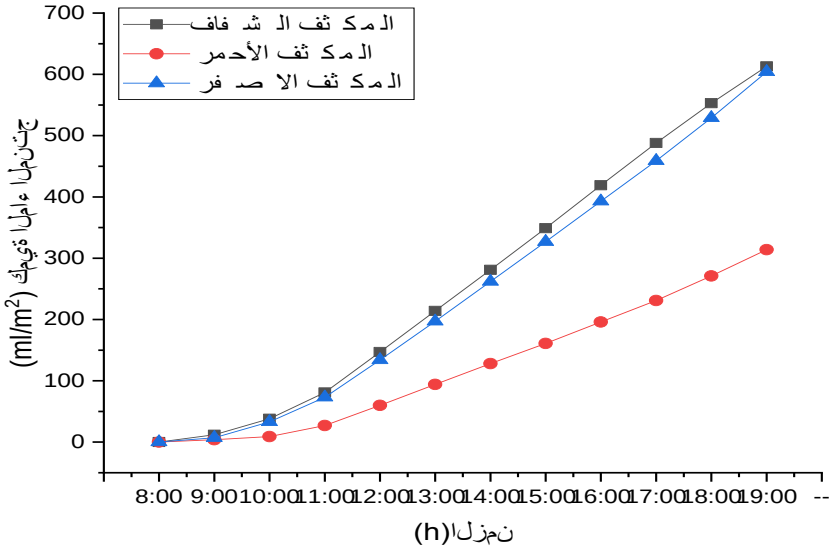
يمثل الشكل منحنى تغيّر كمية الماء المنتج بدلالة الزمن خلال الزمن، حيث نلاحظ أنّ القيم تكون ضعيفة في الفترة الصباحية (من الساعة 08:00 إلى الساعة 10:00) ثم تبدأ بالارتفاع التدريجي. ابتداءً من الساعة 10:00 إلى غاية الساعة 12:00 يحدث تزايد سريع في كمية الماء المنتج، خاصة في المنحنى مكثف الشفاف و الأصفر، يليه المنحنى الأحمر الذي يبقى الأدنى، خلال الفترة الممتدة من الساعة12:00 إلى 15:00الساعة تستقر القيم نسبيًا، مما يدل على بلوغ حالة توازن. بعد ذلك، من 15:00 الساعة إلى الساعة 17:00، تنخفض كمية الماء بشكل ملحوظ في جميع المنحنيات، وهو ما يشير إلى تراجع في الاستهلاك أو التزويد. ومن خلال المقارنة، نلاحظ أنّ المنحنى الأصفر يمثل أكبر كمية ماء طوال اليوم، بينما يحتل المنحنى الشفاف مرتبة متوسطة، في حين يبقى المنحنى الأحمر الأقل قيمة ، وبالتالي، فإنّ المنحنيات الثلاثة تتشابه في سلوكها العام (ارتفاع ثم استقرار ثم انخفاض) مع اختلاف في القيم والشدة.

من خلال المقارنة بين المنحنيات، يتضح أن المكثف الشفاف و الأصفر يحققان أعلى كفاءة خلال معظم فترات اليوم، حيث يصل مكثف الأصفر قيمة تقارب $580\ ml/m^2$ في نهاية التجربة، مما يدل على كفاءته العالية في استغلال إشعاع الشمسي ، يليه المكثف الشفاف الذي يسجل أداءً قريبًا جدًا من الأصفر، حيث يبلغ حوالي

560 ml/m^2 ، في المقابل يبقى المكثف الأحمر الأقل أداءً، إذ لا تتجاوز قيمته حوالي 400 ml/m^2 ، مما يعكس كفاءة أقل مقارنة ببقية الألوان.

يمكن تفسير هذه النتائج بتأثير لون المكثف على امتصاص الإشعاع الشمسي، حيث تختلف الألوان في قدرتها على امتصاص أو عكس الإشعاع الشمسي. فالمكثف الأصفر (حسب النتائج التجريبية) يوفر ظروفًا حرارية أفضل داخل المقطر الشمسي، مما يزيد من معدل التبخر وبالتالي كمية الماء المتكثف. أما المكثف الأحمر فيعكس جزءًا أكبر من الإشعاع الشمسي، مما يقلل من كفاءة العملية.

2- اليوم 2026/04/21



الشكل (4-9) منحنى يوضح كمية الماء المقطر المنتج المجمع بدلالة الزمن ليوم 21 أفريل 2026

تحليل منحنى كمية الماء بدلالة الزمن الشكل(4-9)

يمثل الشكل منحنى تغيّر كمية الماء المنتج بدلالة الزمن خلال اليوم، حيث نلاحظ أنّ القيم تكون ضعيفة شبه منعدمة في الفترة الصباحية (من الساعة 08:00 إلى الساعة 10:00) ، ويرجع ذلك إلى ضعف الإشعاع الشمسي وانخفاض درجة الحرارة، مما يحد من عملية التبخر.

ثم تبدأ بالارتفاع التدريجي. ابتداءً من الساعة 10:00 إلى غاية الساعة 12:00 يحدث تزايد سريع في كمية الماء المنتج، خاصة في المنحنى الشفاف الذي يسجل أعلى القيم، يليه المنحنى الأصفر، ثم الأحمر الذي يبقى الأدنى. خلال الفترة الممتدة من الساعة 12:00 إلى الساعة 15:00 تستقر القيم نسبيًا، مما يدل على بلوغ حالة توازن. بعد ذلك، من الساعة 15:00 إلى الساعة17:00، حيث تزداد شدة الإشعاع الشمسي وترتفع درجة حرارة الماء داخل المقطر الشمسي، مما يؤدي إلى تسارع عملية التبخر وبالتالي زيادة كمية الماء المنتج. وتبلغ القيم أقصاها في نهاية اليوم عند الساعة 19:00.

من خلال المقارنة بين المنحنيات، يتضح أن المكثف الشفاف يسجل أعلى كمية من الماء المنتج، حيث يصل إلى حوالي $620\ ml/m^2$ ، مما يدل على كفاءته العالية في تحسين عملية التقطير. يليه المكثف الأصفر الذي يحقق أداءً قريبًا من الشفاف بقيمة تقارب $600\ ml/m^2$ ، مما يشير إلى فعاليته الجيدة. في المقابل، يسجل المكثف الأحمر أقل مردود، حيث لا يتجاوز $320\ ml/m^2$ ، مما يعكس كفاءة منخفضة مقارنة ببقية المكثفات.

يمكن تفسير هذه النتائج بتأثير لون المكثف على امتصاص وانتقال الحرارة داخل النظام. فالمكثف الشفاف يسمح بمرور الإشعاع الشمسي بشكل أفضل ويحتفظ بالحرارة داخل الحوض، مما يزيد من معدل التبخر والتكثف. أما المكثف الأصفر فيمتلك قدرة جيدة على امتصاص الإشعاع، لكنه أقل كفاءة من الشفاف بقليل. في حين أن المكثف الأحمر يعكس جزءًا من الأشعة الشمسية، مما يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة داخل النظام وبالتالي تقليل كمية الماء المنتجة.

4-9) كفاءة للمقطرات الشمسية المذكورة في التجربة:

تعتمد كفاءة المقطرات الشمسية بشكل كبير على فرق درجات الحرارة بين الماء المبخر (الساخن) وسطح التكثيف (البارد) لون المكثف (الغطاء الزجاجي) دار يلعب دورا في مقدار الإشعاع الشمسي الذي يمر عبره والحرارة التي يمتصها ،مما يؤثر على عملية التكثيف.

فيما يلي تحليل لكفاءة المقطرات الشمسية بناءا على لون المكثف (الزجاج) استنادا إلى مبادئ التبادل الحراري والتقطير الشمسي:

4-9-1) المكثف الشفاف(Transparent/Clear):

- الكفاءة: الأعلى
- الأسباب:يسمح بمرور أقصى قدر من الإشعاع الشمسي لتسخين المياه داخل الحوض ،وفي نفس الوقت ،يكون سطحه أكثر برودة مقارنة بالأسطح الملونة ،مما يعزز عملية التكثيف بسرعة وكفاءة عالية

4-9-2) المكثف الأزرق(Blue):

- **الكفاءة:** عالية إلى متوسطة.
- **الأسباب**:الأزرق يسمح بمرور جزء كبير من الإشعاع الشمسي المفيدة ،وقد يمتص كمية قليلة من الحرارة ، مما يجعله خيارا جيدا،ولكنه أقل كفاءة قليلا من الشفاف بسب الامتصاص البسيط للحرارة .

4-9-3) المكثف البني(Brown):

- **الكفاءة:** منخفضة
- **الأسباب**:يمتص اللون البني نسبة عالية جدا من الإشعاع الشمسي ويتحول إلى حرارة ،مما يرفع درجة حرارة المكثف بشكل كبير،وهو مايعيق عملية التكثيف بشكل مباشر ويقلل الكفاءة الكلية للمقطرالشمسي.

4-9-4) المكثف الأحمر(Rad)

- **الكفاءة:**منخفضة
- **الأسباب:**يمتص ويشتت كمية كبيرة من لإشعاع الشمسي،مما يقلل من الطاقة الواصلة للماء داخل المقطر ،ويقلل من معدل التكثيف.

4-9-5) المكثف الأصفر(Yellow):

- **الكفاءة:**متوسطة قريب من لأعلى.
- **الأسباب:**يمتص اللون لاصفر كميات أعلى من الإشعاع الشمسي مقارنة بالشفاف، مما يرفع درجة حرارة المكثف نفسه، هذا يقلل من فرق درجة الحرارة بين البخار والمكثف ،وبالتالي يقلل من كفاءة التكثيف وإنتاجية الماء المقطر .

4-9-6) كفاءة التقطير :

العلاقة الفيزيائية التي تحكم كفاءة المقطرات الشمسية تعتمد بشكل أساسي على الكفاءة الحرارية ،وهي النسبة بين الطاقة المستخدمة لتبخير الماء والطاقة الشمسية الإجمالية الساقطة على المقطر.

تتمثل العلاقة في المعادلة التالية :

$$\eta = \frac{m_\omega \cdot L}{\mathrm{I} \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{t}} \qquad (1.4)$$

1. **الكفاءة(η) :**النسبة المئوية لكفاءة المقطر.

2. **كتلة الماء المقطر(m_ω) :**كمية الماء الناتجة ب(kg).

3. **الحرارة الكامنة(L):**الطاقة اللازمة لتحويل الماء من الحالة السائلة إلى البخارية تقريبا (2260KJ/Kg).

4. **شدة لإشعاع الشمسي(I):**مقدار الطاقة الشمسية الساقطة لكل (w/m^2).

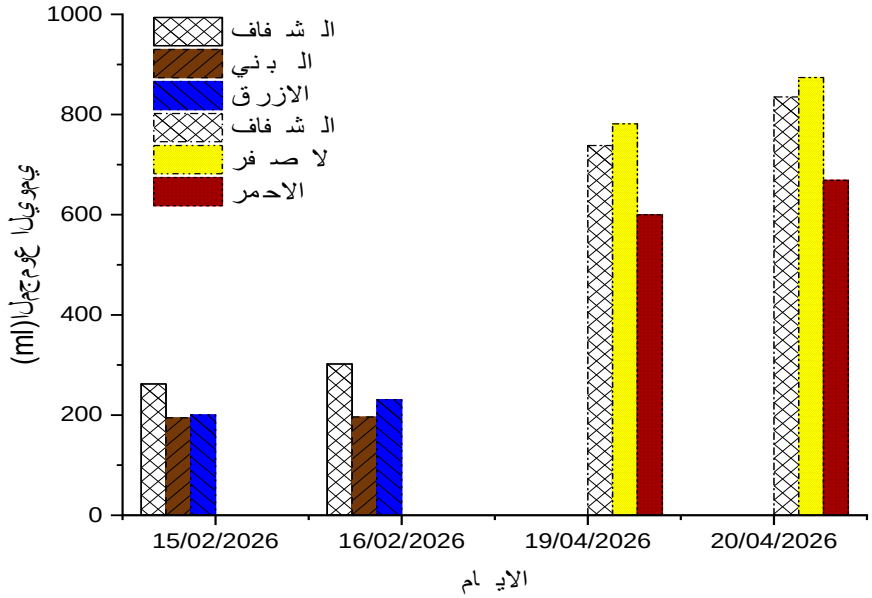
5. **المساحة(A):**مساحة سطح المقطر المعرضة للشمس(m^2) .

6. **الزمن(t):**الفترة الزمنية التي تمت فيها التجربة (h) .

4-10) إنتاجية ماء المقطر للتجربة لكل مقطر الشمسي:

جدول(4-2): إنتاجية ماء المقطر للتجربة لكل مقطر الشمسي

ألوان المقطرات الشمسية المستعملة في التجربة	كمية المياه المنتجة اليومية (ml)	كمية الإنتاجية الليلية (ml)	مجموع اليومي للماء المقطر(ml)
اليوم 2026/02/15			
الشفاف	193,1	69	262.1
البني	110,7	84	194.7
الأزرق	119,5	81	200.5
اليوم 16 /02/ 2026			
الشفاف	272	30	302
البني	121,3	75	196.3
الأزرق	159,7	71	230.7
اليوم 2026/04/19			
الشفاف	456,2	282	738.2
الأصفر	468,3	313	781.3
الأحمر	364,9	235	599.9
اليوم 2026/04/20			
الشفاف	528,2	307	835.2
الأصفر	534	340	874
الأحمر	353,9	315	668.9



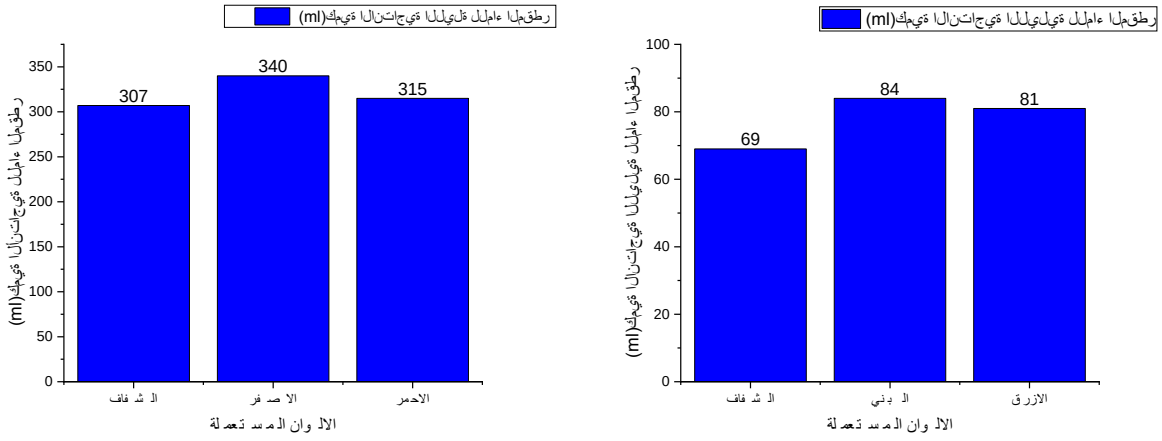
الشكل (4–10): منحنى يوضح أعمدة البيانية لمجموع اليومي للماء المقطر بدلالة الأيام

تحليل الأعمدة البيانية لمجموع اليومي للماء المقطر بدلالة الأيام وألوان المستعملة في التجربة لشكل(4–10):

يمثل الشكل(4–10) منحنى أعمدة بيانية تبيّن المجموع اليومي للماء المقطر بدلالة الأيام، مع مقارنة بين عدة ألوان (الشفاف، البني، الأزرق، الأصفر، الأحمر).

حيث نلاحظ أن الإنتاجية في شهر فيفري (2026/02/15 و 2026/02/16) ضعيفة نسبيًا، حيث تتراوح تقريبًا بين(200 ml و300 ml)، مع تفوق طفيف للغطاء الشفاف يليه الأزرق ثم البني. في المقابل، ترتفع الإنتاجية بشكل واضح في شهر أفريل (2026/04/19 و 2026/04/20)، حيث تصل القيم إلى ما بين (750ml و 900 ml ، ويظهر اللون الأصفر كأفضل أداء يليه الشفاف ثم الأحمر.

هذا الارتفاع الملحوظ بين فيفري و أفريل يمكن تفسيره بزيادة شدة الإشعاع الشمسي وارتفاع درجة الحرارة الجو في فصل الربيع، مما يؤدي إلى زيادة معدل التبخر وبالتالي تحسين إنتاج الماء المقطر. كما أن اختلاف الألوان يؤثر على امتصاص الطاقة الشمسية؛ فاللون الأصفر (والشفاف) يسمح بنفاذ أو امتصاص أفضل للإشعاع مقارنة بباقي الألوان، مما يفسر كفاءته الأعلى.



15/02/2026 20/04/2026

الشكل (4-11):منحنى يوضح أعمدة البيانية لكمية الإنتاجية الليلية للماء المقطر بدلالة الألوان

تحليل الأعمدة البيانية لمجموع لكمية الانتاجية الليلية المقطر بدلالة الأيام وألوان المستعملة في التجربة لشكل(4-11):

يمثل الشكل (4-10) منحنى أعمدة البيانية لكمية إنتاج الماء المقطر بدلالة الألوان المستعملة في التجربة، وذلك في تاريخين مختلفين (2026/02/15 و2026/04/20).

في منحنى الأول (2026/02/15)، نلاحظ أن الإنتاجية تختلف حسب اللون؛ حيث يسجل اللون البني أعلى قيمة تقارب 84 ml، يليه اللون الأزرق بحوالي 81 ml، بينما يسجل اللون الشفاف أدنى قيمة في حدود 69 ml ، هذا ما يدل على أن الألوان الداكنة خاصة باللون البني تخزن الإشعاع الشمسي على شكل حرارة، مما يزيد من عملية التبخر وبالتالي زيادة في الإنتاجية اليومية.

أما في المنحى الثاني (2026/04/20)، فنلاحظ زيادة في القيم مقارنة بالشكل الأول، حيث يسجل اللون الأصفر حوالي 340 ml، يليه الأحمر بقيمة قريبة حوالي 315 ml، في حين ينخفض اللون الشفاف إلى أدنى قيمة تقارب 307 ml ،يشير ذلك إلى تأثير العوامل المناخية أو الموسمية (مثل شدة الإشعاع أو درجة الحرارة الجو) على مردود التقطير.

ترجع هذه الفروقات في كمية الماء المنتج إلى اختلاف خاصية امتصاص الألوان للإشعاع الشمسي؛إذ تتميز الألوان الداكنة بقدرتها العالية على احتباس الحرارة وامتصاص كمية اكبر من إشعاع الشمسي،مما يؤدي ارتفاع درجة حرارة الماء وزيادة من معدل التبخر، بينما اللون الشفاف تخزن جزءًا من الإشعاع فتكون كمية الحرارة المحتبسة منخفضة فتقل كفاءتها.

اللون الأصفر و البني هما الأكثر كفاءة في إنتاج الماء المقطر، بينما اللون الشفاف يعطي إنتاجية أقل.

أي أن الأشعة تحت الحمراء الصادرة من الماء و الأسطح تصطدم بالزجاج (الأصفر و البني)فيعكسها ولا يسمح بمرورها إلي الخارج وتنعكس مرة أخرى نحو الماء فتبقى محبوسة داخل المقطر(احتباس حرارة) ،مما يرفع درجة حرارة الماء و يزيد من كفاءة التقطير، و الزجاج الشفاف يسمح بمرور الأشعة في كل الجهات .

تؤثر طبيعة اللون المستعمل بشكل مباشر على مردود المقطر الشمسي، كما أن الظروف المناخية تلعب دورًا مهمًا في تحديد كمية الإنتاج، مما يستدعي اختيار ألوان ذات قدرة امتصاص عالية مع مراعاة الظروف المناخية لتحقيق أفضل كفاءة.

الخلاصة

الخلاصة

يُعدّ المقطر الشمسي وسيلة فعّالة وبسيطة ومنخفضة التكلفة لتحلية المياه، حيث تعتمد كفاءته أساسًا على استغلال الطاقة الشمسية في عمليتي التبخر والتكاثف. وقد ركزت هذه الدراسة على تأثير لون المكثّف على كفاءة التقطير الشمسي، من خلال مقارنة عدة ألوان مختلفة (الشفاف، الأزرق، البني، الأحمر، والأصفر).

تم إجراء التجارب باستخدام مقطرات شمسية متماثلة من حيث الأبعاد ونوع المواد، وتحت نفس الظروف الجوية، لضمان دقة المقارنة. وأظهرت النتائج وجود فروق واضحة في كمية الماء المنتجة تبعًا لاختلاف لون المكثّف، حيث سُجّل أعلى كفاءة في بعض الحالات مقارنة بغيرها، سواء في المقطر المرجعي (الشاهد) أو المقطرات المعدّلة.

كما بيّنت الدراسة أن لون المكثّف يؤثر بشكل مباشر على امتصاص الطاقة الحرارية، وبالتالي على كفاءة عملية التبخر والتكاثف. وفي ضوء هذه النتائج، تم استخلاص مجموعة من الاستنتاجات التي يمكن اعتمادها كأساس لدراسات مستقبلية تهدف إلى تحسين أداء المقطرات الشمسية، مع اقتراح بعض التوصيات لتطوير هذا المجال.

➢ نتائج التجربة:

- الإشعاع الشمسي يتحكم في زيادة درجات حرارة أجزاء المقطر الشمسي.
- في النهار كمية الماء المقطر المجمعة في المقطر الشمسي ذو المكثف الشفاف أكبر بنسبة كبيرة من كمية الماء المقطر المجمعة في المقطرات المحسنة لأن درجة حرارة الماء و درجة حرارة السطح الزجاجي في المقطر ذو المكثف الشفاف أكبر مما هي عليه في المقطر الشمسي ذو المكثف الشفاف أي أن الفرق في درجة الحرارة بين الماء و السطح الزجاجي في المقطر المحسن وذلك يرجع إلي أن المكثف الشفاف اكبر نفاذية لإشعاع الشمسي ، ثم يليه الأصفر و من بعده الأزرق ثم البني وفي الأخير الأحمر .
- في الليل كمية الماء المقطر المجمعة في المقطر الشمسي ذو المكثف الأصفر و البني أكبر من كمية الماء المقطر المجمعة في المقطر ذو المكثف الشفاف و الأزرق و الأحمر لأن المكثف ذو اللون الأصفر و البني يحزنان حرارة مقارنة بالمكثفات الآخرة .
- المكثف الشفاف والمكثف الأصفر لهما كفاءة عالية شبه متساوية لكن المكثف الأصفر يحافظ على عدم ضياع في حرارة في الليل مقارنة بالشفاف.
- المكثف الأحمر ضعيف جدا من ناحية امتصاص الإشعاع الشمسي وعليه كفاءة ضعيفة

الخلاصة

- انخفاض الضياع الحراري في المقطر المحسن لأنه يخزن الحرارة أكبر من الشفاف.
- المقطر الشمسي ذو المكثف الشفاف سهولة نفاذية الإشعاع الشمسي
- الزجاج الشفاف يسمح بمرور الأشعة في كل الجهات و الزجاج الأصفر و البني و الأزرق والاحمر يسمح بمرور الأشعة المرئية و يعكس الأشعة تحت الحمراء
- الأشعة تحت الحمراء الصادرة من الماء و الأسطح تصطدم بالزجاج (الأصفر و الأزرق و البني و الاحمر) فيعكسها ولا يسمح بمرورها الي الخارج وتنعكس مرة أخرى نحو الماء فتبقى محبوسة داخل المقطر(احتباس حرارة) ،مما يرفع درجة حرارة الماء و يزيد من كفاءة التقطير في الليل
- كمية الماء تزداد مع الزمن لجميع المكثفات، لكن تختلف الكفاءة بينها حسب النوع، حيث يكون الترتيب: في النهار المكثف البني <المكثف الأزرق <المكثف الشفاف

  المكثف الأحمر < المكثف الأصفر < المكثف الشفاف

  في الليل المكثف الشفاف <المكثف الازرق < المكثف البني

  المكثف الشفاف < المكثف الاحمر < المكثف الأصفر
- لون المكثف يُعد عاملاً مؤثرًا في كفاءة التقطير الشمسي، وأن اختيار اللون المناسب يمكن أن يساهم بشكل كبير في تحسين كفاءة النظام.، وأن استخدام المكثف الأصفر أو الشفاف يُحسن بشكل ملحوظ من كمية الماء المنتجة مقارنة بالمكثف الأحمر. حيث يُعد المكثف الشفاف الأكثر كفاءة، يليه الأصفر في النهار ، بينما يبقى المكثف الأحمر الأقل فعالية.
- كفاءة عملية التقطير الشمسي يتأثر بشكل مباشر بكل من العوامل المناخية، خاصة شدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة، بالإضافة إلى طبيعة السطح أو اللون المستعمل، مما يجعل اختيار الشروط المناسبة عاملًا حاسمًا في تحسين إنتاج الماء المقطر.
- بلغت نسبة التحسين في الليل للمكثف البني % 21.74 و للمكثف الأصفر % 10.99 ، وكانت نسبة التحسين خلال النهار بالنسبة للمكثف الأصفر 5.87% .

➢ **التوصيات :**

إن الجانب النظري و التجريبي لتجارب في الفصل الثالث و الفصل الرابع به معادلات خاصة بالتوازن الحراري لمستويات المقطر المحسن (المكثف) (الغطاء الزجاجي) لكل من التجارب و نظرا للنتائج المحصل عليها في التجارب و المشاكل التي واجهت هذه التجارب ، يجب الأخذ بعين الاعتبار التوصيات التالية :

- في التجارب المستقبلية استغلال خصائص الزجاج الأصفر و البني لتقليل من الضياع الحراري داخل المقطر .
- يجب الأخذ بعين الاعتبار في حالة تحسين المقطر الشمسي في عملية التكثيف أن لا تؤثر سلبا في عملية التبخير و العكس صحيح.
- استغلال النتائج التجريبية و النظرية و التحكم في أبعاد المقطر (تسخين الماء) ، وفقاً للظروف الجوية لمنطقة ورقلة .
-

➢ **الصعوبات وبعض المشاكل:**

من بين الصعوبات التي واجهتنا خلال أدائنا للعمل التجريبي:

- عدم ثبات أو استقرار المناخ طيلة أيام التجربة.
- صعوبة العمل في الجنوب خاصة في فصل صيف لارتفاع درجات حرارة خاصة في وقت الظهيرة .
- عدم توفر الأجهزة اللازمة لانجاز التجربة خاصة من ناحية المزدوجات الحرارية لعدم توافرها وصعوبة الحصول عليها لارتفاع ثمن تكلفها من اجل عمل تجريبي ناجح .

المراجع باللغة العربية

[6] محسن زوبيدة ، "إشكالية الماء الشرب في ولاية ورقلة "، مجلة الباحث ،جامعة قاصدي مرباح ورقلة الجزائر، (2011)،ص235-242

[7] شلغام منيرة "تحسين أداء المقطر الشمسي البسيط بإستعمال لاقط الشمسي" ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2023

[17] عبد السلام محمد، الفيزياء العامة (الحرارة والخواص الحرارية) در الفكر العرب

[20] سوداني محمد البار/مذكرة تحقيق علمي لمركز شمسي اسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي/جامعة ورقلة (2018/2017)

[29] الدكتور احمد احمد، الإشعاع الشمسي: أجهزته وأنواعه21افريل2010.

المراجع باللغة الانجليزية

[1] Velmurugan V and Srithar K 2011 Performance analysis of solar stills based on various factors affecting the productivity—a review *Renewable and sustainable energy reviews***15** 1294–304

[2] Velmurugan V, Gopalakrishnan M, Raghu R and Srithar K 2008 Single basin solar still with fin for enhancing productivity *Energy Conversion and Management***49** 2602–8

[3] Sadi A and Kehal S 2003 Retrospectives and potential use of saline water desalination in Algeria *Desalination***152** 51–6

[4] Ayoub G M and Malaeb L 2012 Developments in Solar Still Desalination Systems: A Critical Review *Critical Reviews in Environmental Science and Technology***42** 2078–112

[5] Chandrashekara M and Yadav ,Water desalination system using solar heat: A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews* A 2017 **67** 1308–30

[6] Dr. Chelgham Mounira. "Solar Distillation for Sustainable Drinking Water Production" SARAHMED éditions .December (2025)

[7] Gude V G 2017 Desalination and water reuse to address global water scarcity *Rev Environ Sci Biotechno l***16** 591–609

[8] Sharma M, Tiwari A K and Mishra D R 2016 A review on desalination of water using single slope passive solar still *International Journal of Development Research***6** 10002–12

[9] Khedim A, Schwarzer K, Faber C and Müller C 2004 Production décentralisée de l'eau potable à l'énergie solaire *Desalination***168** 13–20

[15] Manokar A M, Murugavel K K and Esakkimuthu G 2014 Different parameters affecting the rate of evaporation and condensation on passive solar still–A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews***38** 309–22

[16] J.W. Rose "Condensation Heat Transfer Fundamentals" Trns Chem .Vol 76.Part A .(1998).

[18] Encyclopedia Britannica, Distillation –condensation process

[19] McCabe ,W.L.,smith, J.C.,& Harriott, P. unit operations of chemical Engineering ,McGraw-Hill

[21] Boualati , yamina , "investigation sur la performance d'un distillateur solaire ", Thèse de Magistère, Universitède Ouargla ,Algèrie ,2004

[22] sodha, M.et S,. al (1981):Effect of various dyes on solar distillation.

[23] Tiwari ,G.N(2002): solar Energy fundamentals ,design ,modelling and Applications.

[25] Raymond A . Serway & John W. Jewett ,physics for scintists and Engineers, cengage learning

[26] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons.

[27] Tiwari, G. N., & Sahota, L. (2017). Advanced Solar-Distillation Systems: Basic Principles, Thermal Modeling, and Its Application. Springer.

المراجع باللغة الفرنسي

[10] Anon Ministère des Ressources en Eau (Algérie) | CARI

[11] Kettab A 2001 Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision *Desalination***136** 25–33

[14] J.F. SACADURA "Initiationaux transfert thermique" France -1977

[28] Ahmed Khedim, Klemens Schwarzer, Christian Faber, Christoph Mtiller"Production de centralisée de l'eau potable l'énergie solaire", Desalination 168(2004) 13-20.