الجمهورية الجزائرية الدمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمة لخضر-الوادي-
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم: الهندسةالميكانيكية

مذكرة تخرج تدخل ضمن متطلبات نيل شهادة الماستر في الهندسة الميكانيكية
تخصص: طاقوية

الموضوع:

دراسة تجريبية لتأثير المرايا العاكسة الداخلية على عملية التقطير الشمسي للمقطر البسيط

إعداد الطالب:

- صالحي الأخضر
- خلو عبد التواب

لجنة المناقشة:

الاسم واللقب	الجامعة	الصفة
أ./د./أ.د مقدود سفيان	جامعة الشهيد حمه لخضر – الوادي	رئيسا
أ./د./أ.د عبد الرحمان خشخوش	جامعة الشهيد حمه لخضر – الوادي	مشرفا ومقررا
أ./د./أ.د أنور بله باسي	جامعة الشهيد حمه لخضر – الوادي	مناقشا

السنة الجامعية: 2026/2025

الاهداء

أهدي هذا العمل إلى من قال فيهما ربي

" واخفض لهما جناح الذل من الرحمة وقل رب ارحمهما كما ربياني صغيرا "سورة الاسراء الاية "24.

إلى الوالدين الكريمين حفظهما الله وأطال في عمرهما،

إلى الإخوة والأخوات، إلى كل الأهل والأقارب،

إلى جميع الأصدقاء،

إلى كل من عرفته من قريب أو بعيد،

إلى من رفعوا رايات العلم والتعليم

أساتذتي الأفاضل،

إلى كل من سقط سهوا من قلمي ولم يسقط من قلبي.

تشكرات

الحمد لله السميع العليم ذي العزة والفضل العظيم والصلاة والسالم على المصطفى الهادي الكريم وعلى إله وصحبه أجمعين، وبعد مصداقا لقوله تعالى "لئن شكرتم ألزيدنكم"، اشكر الله العلي القدير الذي أنار لنا درب العلم والمعرفة وأعاننا على إتمام هذا العمل.

كما نتقدم بالشكر واالمتنان لألستاذ "انور بلة باسي" لقبوله الإشراف على هذا العمل والذي لم يدخر وسعا في تقديم النصيحة والتوجيه لنا طيلة إجراء هذا العمل من خلال إرشاده وتوجيهه في كل خطوات البحث.

كما نتقدم بالشكر والامتنان إلى أساتذتنا الافاضل بكلية العلوم والتكنولوجيا الذين ساهموا بنصائحهم، كما نتقدم بالشكر إلى عائلاتنا وكل من مد يد العون لنا من قريب أو بعيد وساعدنا على إنجاز هذا العمل بتعاونهم وتشجيعهم لنا.

والشكر أيضا إلى اللجنة المناقشة

الذين تفضلوا بقبول مناقشة هذه المذكرة و بذال للوقت والجهد في التدقيق وإثراء هذا البحث شكلا ومضمونا.

فهرس المحتويات

الإهداء..... I
التشكرات..... II
فهرس المحتويات..... III
فهرس الأشكال..... IX
فهرس الجداول..... XIII
المقدمة العامة..... 2

الفصل الاول: عموميات حول الطاقة الشمسية

1-1 مقدمة..... 4
2-1 الطاقة المتجددة..... 4
1-2-1 الطاقة الشمسية..... 4
1-1-2-1 تاريخ استخدام الطاقة الشمسية..... 5
2-1-2-1 استخدامات الطاقة الشمسية..... 5
1-2-1-2-1 توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية..... 6
2-2-1-2-1 الطاقة الشمسية الحرارية..... 6
3-2-1-2-1 تجفيف المحاصيل..... 6
4-2-1-2-1 الطبخ الشمسي..... 7
5-2-1-2-1 تحلية المياه..... 8
6-2-1-2-1 تسخين المياه باستخدام الطاقة الشمسية..... 8
7-2-1-2-1 التدفئة بالطاقة الشمسية..... 9
3-1-2-1 فوائد الطاقة الشمسية..... 9
4-1-2-1 مميزات وعيوب توليد الطاقة بواسطة الشمس..... 10
1-4-1-2-1 مميزات الطاقة الشمسية..... 10
2-4-1-2-1 عيوب الطاقة الشمسية..... 10
5-1-2-1 الاشعاع الشمسي..... 11
6-1-2-1 انواع الاشعاع الشمسي..... 11

1-2-1-6-1 الاشعاع الشمسي المنشر(D) 11
2-2-1-6-1 الاشعاع الشمسي المباشر(S) 11
3-2-1-6-1 الاشعاع الشمسي الكلي(G) 11
7-1-2-1 الثابت الشمسي 12
8-1-2-1 الزوايا الشمسية..... 12
1-8-1-2-1 زاوية الارتفاعh..... 12
2-8-1-2-1 زاوية الذروة(θz)..... 13
3-8-1-2-1 زاوية الميل الشمسيδ 13
4-8-1-2-1 زاوية الساعة الشمسيةw..... 14
5-8-1-2-1 زاوية دائرة العرضϕ 14
6-8-1-2-1 زاوية السمت الرأسيa 14
8-1-2-1 الخاتمة..... 15

الفصل الثاني : الدراسة النظرية على التقطير الشمسي

2 دراسة نظرية على التقطير الشمسي..... 19
2- 1التهميد..... 19
2-2 لمحة تاريخية 20
2-3 تعريف المقطر الشمسي 21
2-4 أنواع المقطرات الشمسية..... 21
2-4-1 المقطرات البسيطة 21
2-4-1-1 مقطربميل واحد 22
2-4-1-2 مقطر بميلين 22
2-4-1-3 مقطر شمسي ارضي..... 22
2-4-2 مقطرات شمسية تعمل بمبدأ التسخين بالبيت الزجاجي..... 23
2-4-2-1 المقطر الشمسي الكروي(sphérique Distillateur) 23
2-4-2-2 المقطر الشمسي الاسطواني23 (cylinder Distillateur) 23
2-4-2-3 المقطر الشمسي المخروطي 24
2-4-2-4 المقطر الشمسي الشلال 24
2-4-3 المقطرات التي تعمل بمبدأ استرجاع الحرارة 24
2-4-3-1 المقطر الشمسي المتعدد الطواب..... 25

2-4-3-2 المقطر الشمسي بالخاصيةالشعيري..... 25
2-4-4 المقطرات متعددت التأثيرات..... 26
2-4-4-1 المقطر بالانتشار 26
2-4-4-2 المقطر بالمدخنة الشمسية 27
2-5 مبدأ عمل المقطر الشمس..... 27
2-6 خصائص المكونات المقطرات الشمسية 28
2-7 معايير المقطرات الشمسية 29
2-7-1 المردودية..... 29
2-7-2 الفعالية 29
2-7-3 مقياس الفعالية 29
2-7-4 أداء المقطر 30
2-8 العوامل الداخلية والخارجية المؤثرة على عمل المقطر 30
2-8-1 العوامل الداخلية 31
2-8-1-1 شدة الاشعاع..... 31
2-8-1-2 سرعة الرياح 31
2-8-1-3 درجة حرارة الهواء المحيط..... 31
2-8-1-4 عوامل اخرى جواية..... 31
2-8-2 العوامل الخارجية..... 31
2-8-2-1 ميل الزجاج على السطح الافقي..... 31
2-8-2-2 ارتفاع مستوى كتلة الماء المقطر 31
2-8-2-3 المسافة التي تقسم السطح الحر الى لاقطين..... 32
2-9 الميزان الطاقوي للمقطر 32
2-10 مميزات المقطرات الشمسية..... 32
2-11 عيوب المقطرات الشمسية..... 33
2-12 الظواهر الفيزيائية في عملية التقطير 33
2-12-1 ظاهرة التبخير 33
2-12-2 ظاهرة التكييف 34
2-13 الطرق المستعملة في تحلية المياه 34
2-13-1 تعريف التحلية 34

2-13-2 التقطير البسيط 34
2-13-3 تقطير متعدد التأثير 35
2-14-4 باستخدام طرق الاغشية 35
2-14-4-1 التناضح العكسي 35
2-14-4-2 الفرز الغشائي الكهربائي 36
2-14-5 باستخدام طريقة البلورة 37
خاتمة الفصل 37

الفصل الثالث : دراسة التحويل الحراري عبر زجاج المقطر الشمسي

تمهيد 42
3-1 المقطر الشمسي البسيط 42
3-1-1تعريفه 42
3-1-2مبدأ عمله 42
3-1-3 طريقة عمله 42
3-1-4 مكوناته 42
3-3 المكونات اللازمة لتصنيع المقطر الشمسى البسيط 43
3-4 خطوات تصنيع المقطر الشمسي البسيط 46
3-5 أجهزة وأدوات القياس المستعملة في التجربة 48
3-5-1 جهاز متعدد القياسات 48
3-5-2 بيرانومتر 48
3-5-4 جهاز قياس الناقلية الكهربائية 49
3-5-5 الأنبوب المدرج 49
3-6 الخطوات التجريبية 49
3-6-1 التجربة الأولى 49
3-7 النتائج التجريبية 50
3-8 تحليل النتائج 51
3-8-1 شدة الإشعاع الشمسي مع تطور درجة حرارة الجو 51
3-8-2 تطور درجة حرارة الزجاج من الخارج 52
3-8-3 تطور درجة حرارة الزجاج من الداخل 53
3-8-4 درجة حرارة الماء 54

3-8-5 تطور كمية الماء المقطر 55
3-8-6 مقارنة مردود المقطرات الشمسية باستخدام المرايا العاكسة وورق الألمنيوم 56
3-9 الخاتمة 57
الخاتمة العامة..... 59

.

ترتيب الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
(1-3)	الأدوات اللازمة لصناعة المقطر	44
(3-2)	مراحل تصنيع المقطر الشمسي البسيط	46
(3-3)	الاحوال الجوية للتجربة	50
(4-3)	نتائج تحليل الماء المستعمل	51

فهرس الاشكال

الفصل الاول

الشكل(1-1): مخطط يبين استخدامات الطاقة الشمسية 5

الشكل (1-2): أنظمة الخلايا الكهروضوئية 6

الشكل(1-3) : استعمال الطاقة الشمسية في التجفيف المحاصيل الزراعية 7

الشكل(1-4): استعمال الطاقة الشمسية للطبخ 7

الشكل(1-5): الية تحلية المياه بالطاقة الشمسية 8

الشكل(1-6): استخدام الطاقة الشمسية لتسخين المياه 8

الشكل(1-7): نظام التدفئة الشمسية في المنازل 9

الشكل (1-8): مكونات الاشعاع الشمسي الكلي الواصل الى سطح الارض 12

الشكل(1-9): حركة الأرض بالنسبة للشمس 13

الشكل(1-10): زاوية الساعة الشمسية ودائرة العرض للمنطقة 14

الشكل(1-11): زاوية الارتفاع الشمسي والذروة والسمت الرأسي (معلم سطح الارضي) 15

الفصل الثاني

الشكل(2-1): رسم تخطيطي لمقطر بسيط بميل واحد 22

الشكل(2-2): المقطر البسيط بميلين 22

الشكل(2-3): مقطر شمسي ارضي 22

الشكل(2-4): مقطر شمسي كروي مزود بماسح للماء 23

الشكل(2-5): المقطر الشمسي الأسطواني 23

الشكل(2-6): المقطر الشمسي المخروطي 24

الشكل(2-7): المقطر الشلال الشمسي 24

الشكل(2-8): المقطر الشمسي متعدد الطوابق 25

الشكل(2-9): المقطر الشمسي بالخاصية الشعرية 26

الشكل(2-10): المقطر بالانتشار 26

الشكل(2-11): المقطر بالمدخنة الشمسية 27

الشكل(2-12): المبدأ الأساسي للمقطر البسيط 28

الشكل(2-13): الميزان الطاقوي للمقطر الشمسي 32

الشكل(2-14) وعاء به ماء سائل تحت التبخير في غياب الحمل الكتلي والحراري 33
الشكل(2-15): التقطير البسيط 34
الشكل(2-16): التقطير متعدد التأثير 35
الشكل(2-17): التقطير بالتناضح العكسي 36
الشكل(2-18): الفرز الغشائي 36

الفصل الثالث:

الشكل(3-1): رسم تخطيطي للهيكل الخارجي 43
الشكل(3-2): جهاز متعدد القياسات 48
الشكل(3-3): جهاز قياس 48
الشكل(3-4): جهاز قياس الناقلية الكهربائية 49
الشكل(3-5): انبوب مدرج 49
الشكل(3-6): تجربة الفصل 50
الشكل(3-7): منحنى تغيرات شدة الإشعاع الشمسي مع تطور درجة حرارة الجو بدلالة الزمن 51
الشكل(3-8): منحنى تغيرات درجة حرارة الزجاج الخارجية للمقطرات (شاهد والمدروسين) بدلالة الزمن 52
الشكل(3-9): منحنى تغيرات درجة حرارة الزجاج الداخلية للمقطرات (شاهد و المدروسين) بدلالة الزمن 53
الشكل(3-10): منحنى تغيرات درجة حرارة الماء المالح داخل المقطرات بدلالة الزمن 54
الشكل(3-11): منحنى تغيرات كمية الماء المقطر المنتجة من المقطرات (شاهد و المدروسين) بدلالة الزمن 55
الشكل(3-12): اعمدة بيانية تمثل مقارنة كمية الماء المقطر المنتجة بين المقطر الشاهد والمقطرات المدروسة 56

المقدمة العامة

المقدمة العامة :

الماء هو أساس الحياة وعنصر لا غنى عنه لبقاء الإنسان، وقد ارتبطت الحضارات منذ القدم بتوفر مصادر المياه. ومع تزايد الطلب على المياه العذبة نتيجة النمو السكاني والتوسع العمراني والتغيرات المناخية، أصبح العالم يواجه نقصًا متزايدًا في هذا المورد الحيوي، خاصة في المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية. لذلك اتجهت العديد من الدول إلى تحلية مياه البحر والمياه المالحة لتوفير مياه صالحة للشرب.

وتوجد عدة تقنيات لتحلية المياه، منها الطرق الحرارية وغير الحرارية، إلا أن معظمها يعتمد على مصادر الطاقة التقليدية التي تتميز بارتفاع تكلفتها وآثارها البيئية. ولهذا ازداد الاهتمام باستغلال مصادر الطاقة المتجددة، وعلى رأسها الطاقة الشمسية، باعتبارها مصدرًا نظيفًا ومتجددًا يمكن الاعتماد عليه في مجال تحلية المياه.

ويُعد التقطير الشمسي من أبسط تقنيات التحلية التي تعتمد على الطاقة الشمسية، إذ يقوم على محاكاة الدورة الطبيعية للماء من خلال تبخير المياه بفعل الإشعاع الشمسي ثم تكثيف البخار للحصول على ماء عذب. وتمتاز هذه التقنية بانخفاض تكلفتها وسهولة تشغيلها، مما يجعلها مناسبة للمناطق النائية التي تعاني من نقص مياه الشرب.

ومن هذا المنطلق، تتمثل إشكالية هذه الدراسة في التساؤل الآتي:

كيف يمكن تحسين مردودية المقطر الشمسي البسيط وزيادة كمية المياه العذبة المنتجة باستعمال المرايا العاكسة وورق الألمنيوم؟

ولهذا سنقسم المذكرة الى ثلاثة فصول على النحو التالي:

الفصل الأول: يتناول هذا الفصل دراسة عامة حول الطاقة الشمسية، من خلال التطرق إلى تاريخ استخدامها، ثم عرض أهم استعمالاتها وفوائدها، إضافة إلى مميزاتها وعيوبها، كما تم التطرق إلى الإشعاع الشمسي وأنواعه المختلفة.

الفصل الثاني: يختص هذا الفصل بدراسة نظرية للتقطير الشمسي، حيث تم تقديم نبذة تاريخية عنه، ثم تعريفه وشرح مكوناته وأنواعه، بالإضافة إلى توضيح مبدأ عمله وخصائصه، مع التطرق إلى العوامل الداخلية والخارجية المؤثرة على مردوده.

الفصل الثالث: يتناول هذا الفصل دراسة التحويل الحراري عبر زجاج المقطر الشمسي، حيث تم تقديم لمحة تاريخية عن المقطر ومبدأ اشتغاله، ثم شرح طريقة تصنيعه مخبريًا والأدوات المستخدمة في التجربة المنجزة على المقطرات (الشاهد والمدروسين)، إضافة إلى عرض النتائج المتحصل عليها ومناقشتها.

وفي الأخير، تناولنا في الخاتمة العامة أهمية المرايا العاكسة المثبتة على مستوى الحوض، لما لها من دور فعّال في زيادة مساحة استقبال الإشعاع الشمسي من جهة، وتعزيز تخزين الطاقة الحرارية لفترة أطول من جهة أخرى، مما ساهم في تحسين عملية انتقال الحرارة عبر زجاج المقطر الشمسي ورفع مردوديته مقارنة بالمقطر الشاهد. في المقابل، لم يُظهر ورق الألمنيوم نفس الفعالية في امتصاص الإشعاع الشمسي، الأمر الذي أدى إلى انخفاض مردودية المقطر مقارنة بالنظام المزود بالمرايا العاكسة.

الفصل الاول :

عموميات حول الطاقة الشمسية

1-1 مقدمة:

أصبحت الطاقة في العصر الحديث ركيزة أساسية تقوم عليها مختلف مظاهر الحياة، ومؤشرًا واضحًا على تطور المجتمعات وتقدمها. وقد شهد الطلب على مصادر الطاقة تزايدًا ملحوظًا منذ بداية القرن العشرين، نتيجة التطور السريع في مجالات الصناعة والتكنولوجيا الحديثة التي يعتمد تشغيلها بشكل رئيسي على الطاقة. غير أن العديد من مصادر الطاقة التقليدية تعاني من مشكلات متعددة، من بينها محدودية الموارد، وارتفاع تكاليف الاستغلال، إضافة إلى الصعوبات التقنية المرتبطة بها.

وأمام هذه التحديات، اتجه الإنسان في الآونة الأخيرة إلى البحث عن بدائل مستدامة، مستفيدًا من نعم الله في الطبيعة، وذلك من خلال استغلال مصادر الطاقة المتجددة التي تتميز بديمومتها واستحالة نفادها. ومن أبرز هذه المصادر الطاقة الشمسية، التي تُعد طاقة نظيفة ومتجددة، إلى جانب طاقات أخرى مثل طاقة الرياح والطاقة المائية، والتي يمكن توظيفها لإنتاج الطاقة بطرق صديقة للبيئة.

كما أدرك الإنسان بشكل متزايد المخاطر البيئية الجسيمة الناجمة عن الاستخدام المكثف لمصادر الطاقة التقليدية كالنفط والغاز الطبيعي، لما تسببه من تلوث بيئي وإضرار بالنظم البيئية. الأمر الذي جعل الطاقات المتجددة والبديلة الخيار الأمثل لتحقيق التنمية المستدامة وحماية البيئة في الوقت الحاضر.

نخصص هذا الفصل لعرض إمكانية استغلال الطاقة المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية.

2-1 الطاقة المتجددة:

تعرَّف الطاقة المتجددة بأنها الطاقة المستمدة من الموارد الطبيعية التي تمتاز بقدرتها على التجدد المستمر، مما يجعلها طاقة غير قابلة للنفاد. ويُطلق عليها كذلك مصطلح الطاقة المستدامة، في إشارة إلى قدرتها على التعويض الذاتي كلما أوشكت على الانتهاء، لكون مصادرها نابعة من الطبيعة.

وتتميز الطاقة المتجددة بكونها طاقة نظيفة وصديقة للبيئة، إذ لا يترتب عن استخدامها أي آثار سلبية على المحيط البيئي، ولا تنتج عنها مخلفات أو انبعاثات غازية ضارة تسهم في تفاقم ظاهرة الاحتباس الحراري. وتشمل مصادرها الرئيسية طاقة الشمس، والرياح، والمياه، إضافة إلى الطاقة الحرارية الجوفية، فضلاً عن إمكانية إنتاجها من بعض المحاصيل الزراعية والأشجار المنتجة للزيوت [1] .

وقد شهدت الطاقة المتجددة في السنوات الأخيرة تطورًا ملحوظًا في مجال الاستثمار والتجارة، حيث أصبحت تمثل نشاطًا اقتصاديًا يسهم في تحويل هذه الطاقات إلى مصادر دخل وتسويقها على نطاق واسع. ورغم وجود العديد من التحديات التقنية والاقتصادية التي تعيق انتشارها، وعلى رأسها ارتفاع تكاليف الاستثمار الأولية ، إلا أن الاهتمام العالمي بها في تزايد مستمر[2].

وفي هذا السياق، تشير الإحصاءات إلى أن نحو 65 دولة وضعت سياسات وخططًا استراتيجية تهدف إلى تشجيع الاستثمار في الطاقات المتجددة وتطويرها. وتُستمد هذه الطاقات من مصادر طبيعية سخّرها الله تعالى للإنسان لاستغلالها بالشكل الأمثل بما يلبي احتياجاته المختلفة، وفيما يلي أهم أنواع الطاقة المتجددة.

"تستمد الطاقة المتجددة من عدة موارد وفرتها لنا قدرة الله تعالى، لنتمكن من استغلالها بشكل مناسب وفق احتياجاتنا، وفيما يلي أبرز أنواع هذه الطاقة:"

1-2-1 الطاقة الشمسية:

هي الطاقة المستمدة من الشمس، وتشمل الحرارة والضوء، والتي تصل إلى الأرض على شكل إشعاع شمسي. لا يصل هذا الإشعاع بشكل كامل إلى سطح الأرض، إذ ينعكس جزء منه قبل الوصول نتيجة الغلاف الجوي، بينما يصل الجزء المتبقي إلى سطح الأرض.

تُعد الطاقة الشمسية واحدة من أهم أنواع الطاقات المتجددة، حيث يمكن استغلالها بشكل مستمر دون أن تنتج عنها غازات أو مخلفات ضارة بالبيئة، مقارنةً بمصادر الطاقة الأخرى. ففكرة استخدام الطاقة الشمسية في التسخين أو تشغيل الآلات ليست جديدة، فقد استُخدمت منذ القدم في تسخين المياه وتجفيف المحاصيل لحفظها من التلف.

في الوقت الحاضر، تعتبر الطاقة الشمسية "أم الطاقات" كما يسميها البعض، فهي طاقة نظيفة لا تنضب ما دام وجود الشمس مستمرًا. وقد أصبح استخدام الطاقة الشمسية يشمل إنتاج الكهرباء والتدفئة وتشغيل الآلات، خاصة مع ارتفاع أسعار الوقود وزيادة الطلب على الطاقة، مما يجعل الشمس بديلًا واعدًا للبترول بعد نضوبه، ومن المتوقع أن تحقق الألواح الشمسية نجاحًا كبيرًا في إنتاج الكهرباء[3].

تستقبل الطبقات العليا من الغلاف الجوي للطاقة الشمسية ما يقارب 174 بيتا واط (1 بيتا واط = 1510 واط). يُعكس منها حوالي 30% إلى الفضاء بفعل الغلاف الجوي، بينما يمتص الباقي، البالغ نحو122 بيتا واط، من قبل الغيوم والمحيطات وسطح الأرض، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارتها.

1-2-1-1 تاريخ استخدام الطاقة الشمسية:

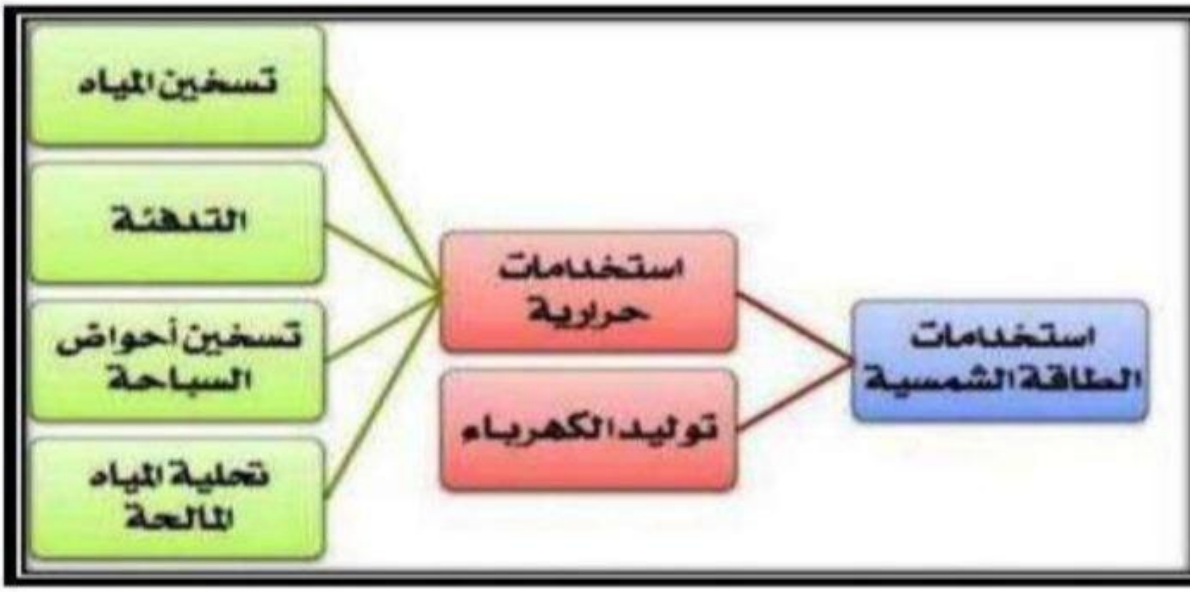
بدأ استغلال الطاقة الشمسية خلال القرن العشرين، حيث شهد هذا القرن تطورًا كبيرًا في تطبيقاتها. في نفس الفترة تم تصنيع أول ماكينة بخار تعمل بالطاقة الشمسية، وبين عامي 1902 و1908 تم بناء ماكينة شمسية في ولاية كاليفورنيا قدرتها 20 حصان. كما تم في عام 1911 بمدينة فيلادلفيا تم تصميم جهاز يستخدم الطاقة الشمسية لأغراض زراعية، وتم تشغيله في صحراء مصر على بعد 16 كم من القاهرة، حيث أنتج قوة تصل إلى 100 حصانًا لتغذية مساحة تقارب 4200 مترًا مربعًا[4].

بعد ذلك بدأت تظهر المساكن الشمسية الأولى، والتي لم تُصمَّم اعتمادًا على قيم إجمالية دقيقة، بل كانت ترتكز بشكل مباشر على تطبيقات الطاقة الشمسية نفسها. ومن أبرز الأمثلة، تصميم أول مسكن شمسي من قبل مجموعة تابعة لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا عام 1939م[5].

وفي عام 1973، أي قبل أزمة النفط بشهور قليلة، عقدت اليونسكو مؤتمرًا في باريس بعنوان "الشمس في خدمة الإنسان"، حضره 822 عالمًا من 60 دولة. وفي سبعينيات القرن العشرين، تحولت الطاقة الشمسية من مجرد فضول علمي إلى حركة ثقافية واسعة، حيث اعتبرها النشطاء رمزًا بديلًا للوقود[6].

2-1-2-1 استخدامات الطاقة الشمسية:

تكتسب الطاقة الشمسية أهميتها من كونها مصدراً هائلاً للطاقة يمكن استغلاله في أي مكان، كما أنها توفر وقوداً مجانياً لا ينفد، وتعد طاقة صديقة للبيئة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدامها في مجالات متعددة، أبرزها:



الشكل(1-1) :مخطط يبين استخدامات الطاقة الشمسية [7].

1-2-1-2-1 توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية:

هي عملية تحويل الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية باستخدام الألواح الشمسية الضوئية. تُصنع هذه الألواح من مواد قادرة على إجراء عملية التحويل الكهروضوئي، والتي تعتمد على ظاهرة تحرير الإلكترونات من سطح بعض المواد شبه الموصلة، مثل الجرمانيوم[8].

الشكل (1-2): أنظمة الخلايا الكهروضوئية[8].

2-2-1-2-1 الطاقة الشمسية الحرارية:

تعتمد الطاقة الشمسية الحرارية على جمع واستغلال أشعة الشمس وتحويلها إلى طاقة حرارية باستخدام المجمعات الشمسية والمواد الماصة للحرارة. عند تعرض جسم داكن اللون ومعزول للإشعاع الشمسي، يمتص الجسم الحرارة مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته.

وتوجد ثلاثة أنواع رئيسية من المجمعات الشمسية الحرارية، لكل منها استخدامات محددة:

المجمعات الشمسية المسطحة

المجمعات الشمسية المفرغة

المجمعات الشمسية المركزة

يتم توظيف الطاقة الشمسية الحرارية في عدة تطبيقات عملية، منها تجفيف المحاصيل، الطبخ الشمسي، تحلية المياه، تسخين المياه، وأنظمة التدفئة[10 9].

3-2-1-2-1 تجفيف المحاصيل:

يُعد التجفيف عملية إزالة السوائل، بما في ذلك الماء، من المواد المختلفة. قديمًا، كان الناس يعتمدون على هذه الطريقة لحفظ الأغذية والخضروات والفواكه التي تتلف بسرعة أو التي يكون موسم توفرها قصيرًا. ويُعتبر تجفيف المحاصيل أحد أقدم استخدامات الطاقة الشمسية، إذ يساعد على تقليل محتوى السوائل في المحاصيل، مما يمنع تلفها ويجعلها قابلة للتخزين لفترات طويلة[10].

الشكل(1-3) :استعمال الطاقة الشمسية في التجفيف المحاصيل الزراعية[10].

1-2-1-2-4 الطبخ الشمسي:

يُعد استخدام الطاقة الشمسية في الطهي حلًا فعّالًا للتقليل من الاعتماد على الحطب، خاصةً أن تكلفته منخفضة والحصول عليه سهل جدًا. يعتمد الطبخ الشمسي على مبدأ الاحتباس الحراري، حيث يتم حجز أشعة الشمس داخل صندوق معزول حراريًا من جميع الجوانب، باستثناء الجانب العلوي الموجه نحو الشمس والمغطى بالزجاج. كما تُطلى الأسطح الداخلية للصندوق باللون الأسود لزيادة امتصاص أشعة الشمس.

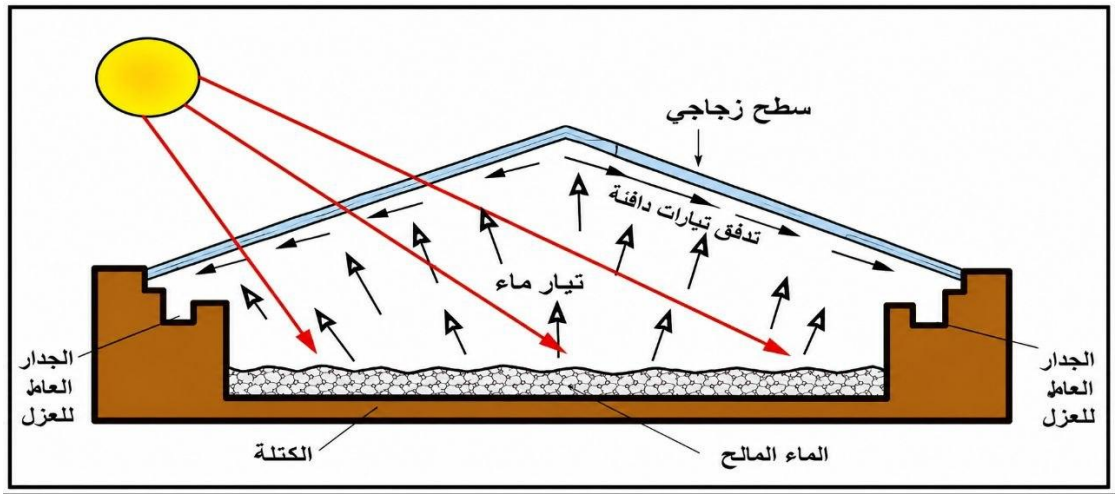
تختلف مدة طهي الطعام حسب نوع الوجبة؛ فمثلًا يحتاج طهي الأرز إلى حوالي ساعتين، بينما يحتاج اللحم إلى ثلاث ساعات تقريبًا. وفي حال الرغبة بتسخين الطعام بدل الطهي الكامل، يمكن تعديل زاوية انحراف الصندوق لتقليل درجة الحرارة.

ولتسريع عملية الطهي، تم تطوير أنواع متعددة من الطباخات الشمسية، منها ما يحتوي على مرآة واحدة، أو مرآتين، أو ثلاث مرايا، بالإضافة إلى الطباخات ذات المجمع البؤري، التي يمكنها رفع درجة الحرارة إلى مستويات أعلى بكثير[11].

الشكل(1-4): استعمال الطاقة الشمسية للطبخ

5-2-1-2-1 تحلية المياه:

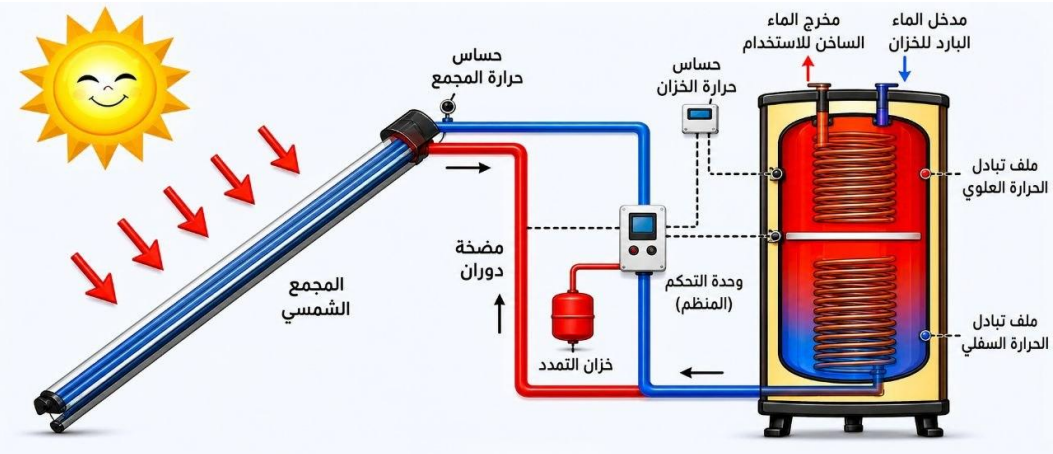
تحلية المياه هي عملية تحويل المياه المالحة إلى مياه صالحة للشرب عن طريق استخدام المقطرات الشمسية المختلفة. تعتمد هذه العملية على استغلال الطاقة الشمسية مباشرة كمصدر للحرارة، حيث يتم تسخين المياه المالحة حتى تتبخر، ثم يتم تكثيف البخار على أسطح باردة للحصول على مياه عذبة. ونظرًا لأهمية المياه العذبة في المناطق الصحراوية والساحلية والجزر الصغيرة، وصعوبة الحصول على الطاقة التقليدية فيها، أصبح من الضروري استخدام تقنيات التحلية المعتمدة على الطاقة الشمسية[12].



الشكل(1-5): الية تحلية المياه بالطاقة الشمسية[12].

6-2-1-2-1 تسخين المياه باستخدام الطاقة الشمسية:

تم استخدام أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية منذ عدة سنوات في المنازل، القواعد العسكرية، والمرافق الصناعية. تُعتبر هذه الأنظمة حلاً مثالياً في الأماكن التي يصعب فيها الاعتماد على الغاز الطبيعي أو الكهرباء لتسخين المياه. تتميز معظم منظومات تسخين المياه الشمسية بالبساطة وقلة التكلفة عند التركيب. تعمل هذه الأنظمة عن طريق مرور أشعة الشمس عبر المجمع الشمسي حيث تُمتص وتحول إلى حرارة بواسطة سائل ناقل للحرارة، كما يمكن أيضاً استخدام الأشعة الشمسية لتسخين المياه بشكل مباشر[12].



الشكل(1-6): استخدام الطاقة الشمسية لتسخين المياه [12].

1-2-1-7 التدفئة بالطاقة الشمسية:

هي عملية نقل الحرارة المستمدة من الطاقة الشمسية إلى المكان المراد تدفئته. وتختلف أنظمة التدفئة الشمسية بحسب الطريقة وكفاءة الأداء، فهناك التدفئة المباشرة التي تعتمد على تعريض واجهات المنازل المصنوعة من الزجاج الشفاف لأشعة الشمس، وهناك أنظمة تستخدم الهواء أو الماء لنقل الحرارة، وذلك عبر مجمعات شمسية وأجهزة خاصة تنقل الحرارة من المجمع إلى المكان المطلوب تدفئته[12].

الشكل(1-7): نظام التدفئة الشمسية في المنازل [13].

1-2-1-3 فوائد الطاقة الشمسية:

- الحفاظ على الموارد غير المتجددة مثل النفط والفحم، عبر تقليل الاعتماد عليها واستبدالها بالطاقة الشمسية المتجددة.
- الحد من التلوث البيئي الناتج عن حرق الوقود الأحفوري في إنتاج الطاقة، مما يساهم في حماية البيئة وصحة الإنسان.
- توفير فرص عمل جديدة من خلال تصنيع وتركيب وصيانة أنظمة الطاقة الشمسية ومعدّاتها.
- تقليل التكاليف على المدى البعيد، إذ رغم ارتفاع كلفة التركيب في البداية، إلا أن مصاريف الصيانة قليلة وتساعد على خفض فواتير الكهرباء والوقود.
- تحقيق قدر أكبر من الاستقلالية في مجال الطاقة للدول التي تعتمد على استيراد الوقود، مما يقلل من التبعية الاقتصادية للدول المصدّرة للطاقة.
- التقليل من الاعتماد على الطاقة النووية التي تُعد قليلة التلوث الهوائي، لكنها تنتج نفايات خطرة على الإنسان والبيئة[14].

4-1-2-1 مميزات وعيــوب توليد الطاقة بواسطة الشمس:

1-4-1-2-1 مميـــــزات الطاقة الشمسية:

تتمتع الطاقة الشمسية بعدد كبير من المزايا التي جعلتها من أهم مصادر الطاقة المتجددة في العصر الحديث، ومن أبرز هذه المزايا ما يأتي:

- **صديقة للبيئة:** تعد الطاقة الشمسية من أنظف مصادر الطاقة، إذ لا ينتج عن استخدامها انبعاثات ضارة أو ملوثات تؤثر في البيئة مقارنة بالوقود الأحفوري، مما يجعلها آمنة للإنسان وبقية الكائنات الحية.
- **مصدر دائم ومتجدد:** تعتمد على أشعة الشمس التي تُعد مورداً طبيعياً متجدداً وغير قابل للنفاد، بخلاف مصادر الطاقة التقليدية مثل النفط والغاز والفحم التي تتناقص مع مرور الزمن.
- **تحقيق الاكتفاء الذاتي:** تساعد الطاقة الشمسية الدول والأفراد على إنتاج الطاقة بشكل مستقل، لأن أشعة الشمس متوفرة في مختلف مناطق العالم، ما يقلل من الاعتماد على مصادر الطاقة المستوردة.
- **الحفاظ على المياه:** لا تتطلب عملية توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية كميات كبيرة من المياه، ولا تؤدي إلى تلويثها، على عكس بعض محطات الطاقة التقليدية أو النووية التي تستهلك المياه بكثرة.
- **أثر اقتصادي إيجابي:** أسهم التوسع في استخدام الطاقة الشمسية في خفض تكاليف إنتاج الطاقة تدريجياً، وأصبحت قادرة على منافسة مصادر الطاقة التقليدية، مما انعكس إيجاباً على الاقتصاد العالمي.
- **توفير فرص العمل:** أدى انتشار تقنيات الطاقة الشمسية إلى خلق وظائف جديدة في مجالات التصنيع والتركيب والصيانة، نظراً لإمكانية استخدامها في مختلف البيئات.
- **تقليل النفقات على المدى البعيد:** رغم أن تكاليف تركيب الألواح الشمسية قد تكون مرتفعة في البداية، فإنها تساعد في تقليل فواتير الكهرباء مع مرور الوقت، وقد تغطي الاحتياجات الكهربائية بشكل شبه كامل.
- **الاستقلالية في الطاقة:** تمكّن الأنظمة الشمسية من إنتاج الكهرباء وتخزينها لاستخدامها عند الحاجة، مما يضمن استمرار تزويد المنازل بالطاقة حتى في حال انقطاع التيار الكهربائي.
- **انخفاض تكاليف الصيانة:** تتميز أنظمة الطاقة الشمسية ببساطة مكوناتها وقلة حاجتها إلى الصيانة المكلفة، ما يجعل تشغيلها ميسوراً على المدى الطويل.
- **فوائد إضافية:** يسهم تركيب الألواح الشمسية في رفع قيمة العقارات، كما يمنح المستخدم شعوراً بالراحة والمساهمة في حماية البيئة والحفاظ على كوكب الأرض[14].

2-4-1-2-1 عيوب الطاقة الشمسية:

على الرغم من المزايا العديدة التي تتمتع بها الطاقة الشمسية، إلا أن استخدامها قد يواجه بعض التحديات والسلبيات، من أهمها:

- كفاءة تحويل الألواح الشمسية للإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية ما تزال محدودة نسبيًا، إذ لا تتجاوز في الغالب نحو 20%، وذلك رغم ارتفاع تكاليف تركيبها.
- يعتمد إنتاج الطاقة الشمسية بشكل مباشر على شدة الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار، كما تتأثر كمية الطاقة المنتجة بتغيّر الفصول واختلاف أوقات اليوم، مما يؤدي إلى تذبذب في الإنتاج.
- تختلف فعالية الأنظمة الشمسية باختلاف الموقع الجغرافي؛ فكلما ابتعدت المناطق عن خط الاستواء تقل قدرة الألواح على توليد الطاقة نتيجة انخفاض شدة الإشعاع الشمسي.
- تتراجع كفاءة الخلايا الشمسية عند وجود الغيوم أو الضباب أو الأمطار، إذ تؤثر هذه العوامل الجوية في كمية الإشعاع الواصل إلى الألواح.

- قد تتعرض الألواح الشمسية للتلف أو التدهور مع مرور الوقت بسبب تعرضها المستمر للظروف البيئية الخارجية مثل الرياح والأتربة ودرجات الحرارة المرتفعة والأمطار والثلوج، كونها تُركّب في أماكن مكشوفة ومعرضة لأشعة الشمس بشكل دائم[15].

1-2-1-5 الاشعاع الشمسي:

الإشعاع الشمسي هو الطاقة التي تصدرها الشمس وتنتشر في جميع الاتجاهات، ويشمل ذلك الإشعاع المرئي وغير المرئي، أي الطاقة الضوئية والحرارية التي تصل إلى سطح الأرض وبقية الكواكب [16]. ويُعد هذا الإشعاع مورداً متجدداً يتوافر بكميات كبيرة، إلا أن شدته تتغير خلال ساعات النهار؛ إذ تبلغ قيمتها القصوى عند منتصف النهار عندما تسقط أشعة الشمس بشكل شبه عمودي على سطح الأرض. كما أن تغيّر زاوية السقوط وارتفاع الشمس في السماء يؤدي إلى انخفاض كمية الحرارة المتجمعة في الأنظمة الحرارية الشمسية، إضافة إلى أن شدة الإشعاع تختلف باختلاف الموقع الجغرافي من منطقة إلى أخرى [17].

وتتباين أيضاً مدة سطوع الشمس باختلاف الفصول، حيث تطول ساعات النهار في فصل الصيف ويزداد معها مستوى الإشعاع ودرجات الحرارة، الأمر الذي يوفر إمكانية استغلال هذه الطاقة بشكل علمي لخدمة الإنسان. ويمكن قياس شدة الإشعاع الشمسي عملياً باستخدام جهاز البيرانومتر المرتبط بجهاز تكامل الإشعاع الشمسي، وهو جهاز يتكون عادة من كرة زجاجية حساسة تمكّنه من قياس مختلف الموجات الإشعاعية الواصلة إلى سطح الأرض [18].

1-2-1-6 انواع الاشعاع الشمسي:

تُعدّ الشمس المصدر الرئيس للطاقة، إذ تبعث إشعاعًا شمسيًا ينتقل عبر الغلاف الجوي للأرض. وخلال مروره يتعرّض جزء من هذا الإشعاع للانعكاس نحو الفضاء الخارجي، بينما يتشتت جزء آخر داخل طبقات الغلاف الجوي. أمّا الكمية المتبقية فتتمكّن من النفاذ والوصول إلى سطح الأرض، لذلك فإن الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض يتكوّن أساسًا من ثلاثة أنواع رئيسية.

1-6-1-2-1 الإشعاع الشمسي المنتشر (D):

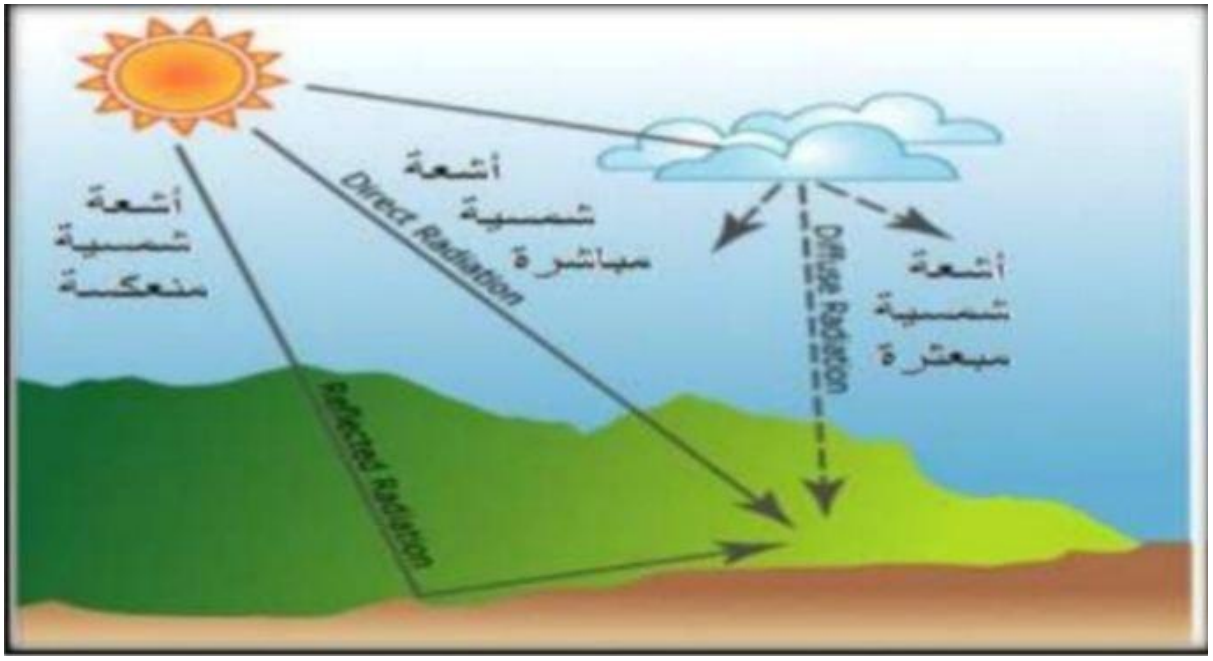
هو الجزء من الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض بعد أن يتعرض لعدة ظواهر في الغلاف الجوي، مثل تشتت الأشعة بفعل الجزيئات الدقيقة العالقة في الهواء، وامتصاصها من طرف بخار الماء وبعض الغازات كغاز ثاني أكسيد الكربون، إضافة إلى انعكاسها نتيجة وجود السحب والشوائب المختلفة في طبقات الجو [19].

2-6-1-2-1 الإشعاع الشمسي المباشر (S):

هو الجزء من الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض قادمًا مباشرة من قرص الشمس دون أن يتعرض للانعكاس أو التشتت في الغلاف الجوي، حيث ينتقل على شكل حزمة ضوئية مستقيمة محافظةً على شدتها تقريبًا دون فقدان يُذكر[19].

3-6-1-2-1 الإشعاع الشمسي الكلي (G):

هو مقدار الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى نقطة معينة على سطح الأرض، وينتج عن مجموع الإشعاع الشمسي المباشر القادم من الشمس والإشعاع المنتشر في الغلاف الجوي[20].



الشكل (1-8): مكونات الاشعاع الشمسي الكلي الواصل الى سطح الارض[20].

1-2-1-7 الثابت الشمسي:

هو مقدار القدرة الإشعاعية الصادرة من الشمس التي تستقبلها وحدة المساحة خارج الغلاف الجوي للأرض، عندما تسقط الأشعة الشمسية بشكل عمودي على تلك المساحة، وذلك عند متوسط المسافة بين الأرض والشمس خلال السنة. وقد قُدِّرت قيمة الثابت الشمسي بحوالي $I_o = 1366.1\ W/m^2$

وفقًا لما أورده Gueymard سنة 2004.

وبسبب تغيّر المسافة بين الأرض والشمس على مدار السنة، تُطبَّق علاقة تصحيحية لحساب قيمة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي لكل يوم من أيام السنة كما يلي:

$$I = I_o\,[1 + 0.034\cos((Nj - 2)(360/365))] \qquad (1\text{-}1)$$

حيث يمثّل Nj رقم اليوم في السنة الشمسية (من 1 إلى 365)[21].

1-2-1-8 الزوايا الشمسية:

عند تثبيت الخلايا الكهروضوئية في أي منطقة، يجب أولاً حساب مقدار الإشعاع الشمسي المتاح فيها من أجل تحديد أفضل طريقة لتوجيه الألواح وتركيبها. إذ إن شدة الإشعاع الشمسي الساقط على نقطة معينة من سطح الأرض تتأثر بالحركة النسبية للأرض حول الشمس، والتي يتم التعبير عنها بما يُعرف بالزوايا الشمسية. وفيما يلي سيتم التعرف على أهم هذه الزوايا[22].

1-2-1-8-1زاوية الارتفاعh:

زاوية الارتفاع الشمسي (h):

هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الشمسي الساقط على نقطة من سطح الأرض والمستوى الأفقي المار بتلك النقطة. وتكون قيمة هذه الزاوية صفرًا عند شروق الشمس وغروبها. ويمكن حسابها من العلاقة:

$$\sinh = \sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos\omega \qquad (1\text{-}2)$$

حيث تمثل ϕ زاوية خط العرض للموقع، وω زاوية الساعة الشمسية، وδ زاوية ميل الشمس.

1-2-1-8-2زاوية الذروة (θz):

هي الزاوية بين اتجاه الشعاع الشمسي الواصل إلى نقطة على سطح الأرض والعمود المقام على المستوى الأفقي عند تلك النقطة. وترتبط بزاوية الارتفاع بالعلاقة:

$$\theta z+h=90^{o} \qquad (1\text{-}3)$$

1-2-1-8-3زاوية الميل الشمسي δ :

تدور الأرض حول الشمس في مدار إهليلجي وتتم دورة كاملة خلال حوالي 365.25 يومًا. وخلال هذه الدورة تتغير المسافة بين الأرض والشمس، حيث تبلغ أصغر قيمة لها تقريبًا 1.47×10^{11} m في حدود 21 ديسمبر، بينما تصل إلى أكبر قيمة تقدر بحوالي 1.52×10^{11} m في حدود 21 جوان.

يميل محور دوران الأرض حول نفسها بالنسبة لمستوى مدارها حول الشمس بزاوية تسمى زاوية الميل وتساوي تقريبًا $23.45°$. وبسبب هذا الميل تتغير زاوية ميل الشمس خلال أيام السنة، فتتراوح بين $+23.45°$ و $-23.45°$.

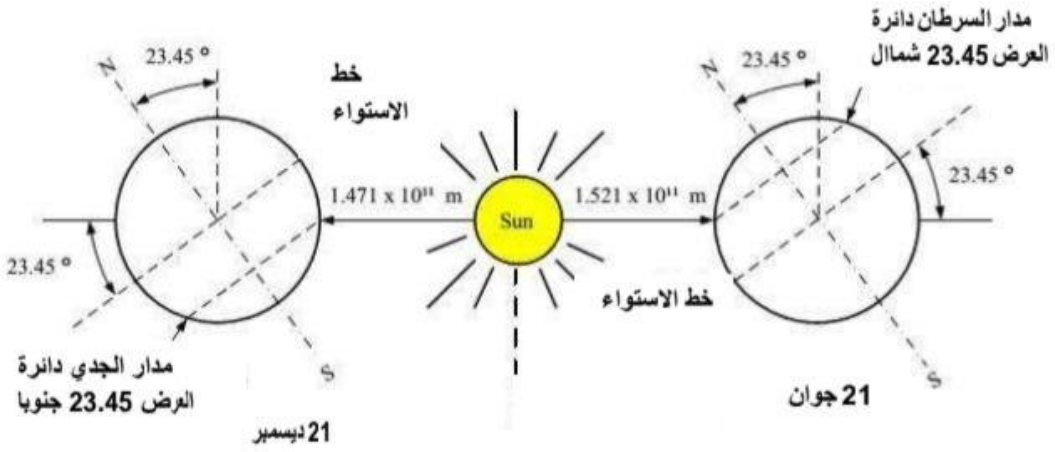
تعبر زاوية الميل الشمسي δ عن موضع الشمس الظاهري شمالًا أو جنوبًا بالنسبة لخط الاستواء، ويمكن حسابها لأي يوم من أيام السنة بالعلاقة التالية:

$$\delta = 23.45° \sin[(360/365)(284 + Nj)] \qquad (1\text{-}4)$$

حيث Nj يمثل رقم اليوم في السنة.

تبلغ زاوية الميل الشمسي أقصاها ($+23.45°$) يوم 21 جوان عند الانقلاب الصيفي، وتبلغ أدناها ($-23.45°$) يوم 21 ديسمبر عند الانقلاب الشتوي. أما في يومي الاعتداليين (21 مارس و23 سبتمبر) فإن زاوية الميل تكون معدومة حيث **$\delta = 0°$.**

يمكن تحديد مسار الشمس من لحظة الشروق إلى غاية الغروب في نقطة معيّنة على سطح الأرض بالاعتماد على زاويتين أساسيتين، هما زاوية الارتفاع h وزاوية السمت a.



الشكل(1-9): حركة الأرض بالنسبة للشمس[23].

1-2-1-8-4زاوية الساعة الشمسية w:

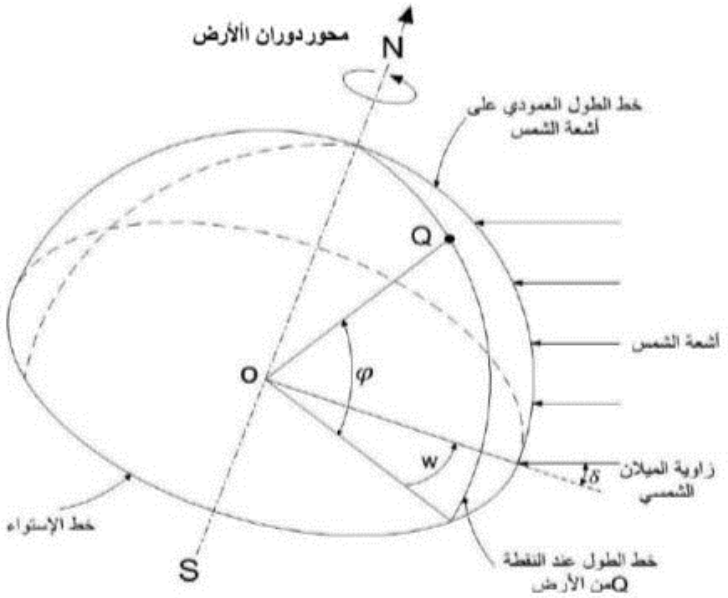
بسبب دوران الأرض حول محورها، يتحرك الشعاع الشمسي ليكمل دورة قدرها 360° خلال 24 ساعة حسب دائرة العرض، أي بمعدل 15° لكل ساعة. عند الزوال، تُعتبر زاوية الساعة الشمسية صفرًا (W = 0). يمكن حساب زاوية الساعة الشمسية باستخدام الصيغة:

$$W = 15(TVs - 12) \quad (1\text{-}5)$$

حيث يمثل TVs التوقيت الشمسي الفعلي.

1-2-1-8-5زاوية دائرة العرضϕ:

زاوية دائرة العرض ϕ هي الزاوية المتكوّنة بين اتجاه النقطة الواقعة على سطح الأرض نحو مركزها، وبين إسقاط هذا الاتجاه على مستوى خط الاستواء. وتتراوح قيمتها بين 90°− و 90°+، بحيث تكون موجبة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية (ϕ > 0)، وسالبة في النصف الجنوبي (ϕ < 0)[22].



الشكل(1-10): زاوية الساعة الشمسية ودائرة العرض للمنطقة[23].

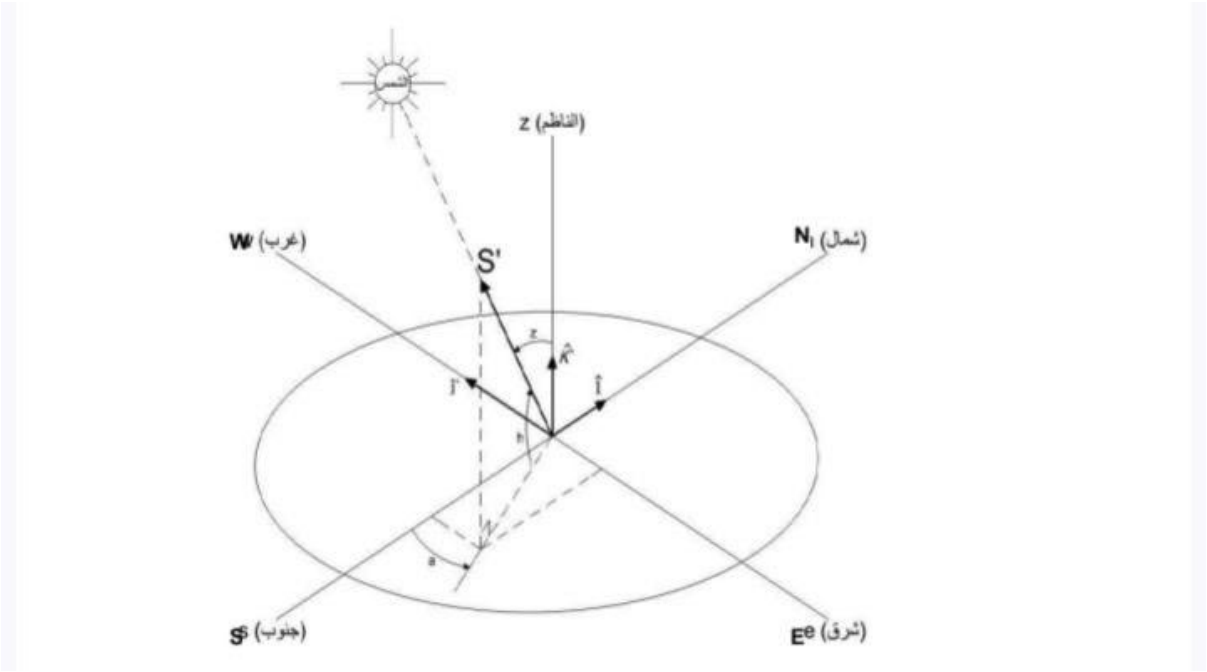
1-2-1-8-6زاوية السمت الرأسيa:

هي الزاوية بين إسقاط الشعاع القادم من الجرم السماوي على المستوى الأفقي وبين اتجاه الجنوب عند موقع الرصد.

تكون هذه الزاوية موجبة إذا كان اتجاهها نحو الغرب، وتكون سالبة إذا كان نحو الشرق.

وتُحسب زاوية السمت الرأسي بالعلاقة التالية:

$$\cos \alpha = (\sin h \times \sin \phi - \sin \delta) / (\cos h \times \cos \phi) \quad (1\text{-}6)$$



الشكل(1-11): زاوية الارتفاع الشمسي والذروة والسمت الرأسي (معلم سطح الارضي)[23].

1-2-1-8الخاتمة:

وفي ختام هذا الفصل، تمّ التعرّف على مفهوم الطاقات المتجددة باعتبارها من أهم الحلول المستدامة لمواجهة التحديات الطاقية والبيئية المعاصرة، مع التركيز على الطاقة الشمسية كأحد أبرز مصادرها وأكثرها انتشارًا. وقد تم استعراض التطور التاريخي لاستخدام الطاقة الشمسية وأهم استخداماتها العملية في مختلف المجالات، إلى جانب إبراز مميزاتها وفوائدها البيئية والاقتصادية، مع التطرق كذلك إلى العيوب والتحديات التقنية والاقتصادية التي ما تزال تحدّ من انتشارها الواسع.

كما تناول الفصل الإشعاع الشمسي وأنواعه المختلفة، لما له من دور أساسي في تحديد مردودية الأنظمة الشمسية، إضافة إلى دراسة الثابت الشمسي والزوايا الشمسية . وقد شكّلت هذه المفاهيم قاعدة نظرية ضرورية لفهم الجوانب التطبيقية التي سيتم تناولها في الفصول اللاحقة من هذه المذكرة.

قائمة مراجع الفصل الأول :

[1]Katekar, V. P., & Deshmukh, S. S. (2020). A review on research trends in solar still designs for domestic and industrial applications. Journal of Cleaner Production, 257, 120544.

[2]S. Singh, S. C. Kaushik, V. Tyagi, and S. K. Tyagi, "Comparative Performance and Parametric Study of Solar Still: A Review," Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 47, p. 101541, 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101541.

[3]Essa, F. A., Abdullah, A., Majdi, H. S., Basem, A., & Dhahad, H. A. (2022). Parameters Affecting the Efficiency of Solar Stills—Recent Review. Sustainability, 14(17), 10668.

[4] د. مجدي جرعتلي، اهمية اعتماد الطاقة المتجددة ودورها في المحافظة على صحة الانسان والبيئة.

[5] بولقرينات سليمة، لشهب مسعود، "الطاقات المتجددة كوسيلة لتحقيق التنمية المستدامة: دراسة تحليلية لحالة الطاقة الشمسية بالجزائر"، مجلة التمويل والاستثمار والتنمية المستدامة، المجلد 8، العدد 1، ص ص 199–217، 2023.

[6] موسى عبد القادر، مسعودي محمد، "تطوير الطاقة الشمسية كطاقة متجددة لتحقيق التنمية المستدامة والانتقال الطاقوي في الجزائر"، مجلة تنمية الموارد البشرية، المجلد 17، العدد 2، ص 302–325، 2022.

[7]M. A. Tony and H. A. Nabwey, "Recent advances in solar still technology for solar water desalination," Applied Water Science, vol. 14, Art. no. 147, 2024.
[8] F. A. Essa, A. Abdullah, H. S. Majdi, A. Basem, and H. A. Dhahad, "Parameters Affecting the Efficiency of Solar Stills—Recent Review," Sustainability, vol. 14, no. 17, Art. no. 10668, 2022, doi: 10.3390/su141710668.

[9] M. A. Tony and H. A. Nabwey, "Recent advances in solar still technology for solar water desalination," Applied Water Science, vol. 14, Art. no. 147, 2024, doi: 10.1007/s13201-024-02188-1.

[10] M. Bhargva and A. Yadav, "Factors Affecting the Performance of a Solar Still and Productivity Enhancement Methods: A Review," Environmental Science and Pollution Research, vol. 28, pp. 54383–54402, 2021, doi: 10.1007/s11356-021-15983-z.
[11] M. A. Tony and H. A. Nabwey, "Recent advances in solar still technology for solar water desalination," Applied Water Science, vol. 14, Art. no. 147, 2024, doi: 10.1007/s13201-024-02188-1.

[12] S. K. Singh, S. C. Kaushik, V. V. Tyagi, and S. K. Tyagi, "Comparative Performance and Parametric Study of Solar Still: A Review," Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 47, Art. no. 101541, 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101541.

[13] F. A. Essa, A. Abdullah, H. S. Majdi, A. Basem, and H. A. Dhahad, "Parameters Affecting the Efficiency of Solar Stills—Recent Review," Sustainability, vol. 14, no. 17, Art. no. 10668, 2022, doi: 10.3390/su141710668.

[14] https://tsf7.com/%D9%85%D9%85%D8%AA%D8%A7%D8%B2-%D9%88%D8%B9%D9%8A%D9%88%D8%A8-%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B4%D9%85%D8%B3%D9%8A%D8%A9-pdf/#google_vignette

investopedia.com. Solar Energy: Benefits and Drawbacks 2023/02/03. L'heure à laquelle il a été visionné 05/04/2023, 11:09.

[15] https://tsf7.com/%D9%85%D9%85%D8%AA%D8%A7%D8%B2-%D9%88%D8%B9%D9%8A%D9%88%D8%A8-%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B4%D9%85%D8%B3%D9%8A%D8%A9-pdf/#google_vignette
bakerhomeenergy.com. The benefits of home solar energy 2023/02/03. L'heure à laquelle il a été visionné 05/04/2023, 11:09.

[16] A. Razmjoo, A. Kaigutha, Y. Rad, M. Marzband, A. Davarpanah, and M. Denai, "A Technical Analysis Investigating Energy Sustainability Utilizing Reliable Renewable Energy Sources to Reduce CO_2 Emissions in a High Potential Area," Renewable Energy, vol. 164, pp. 46–57, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2020.09.042.

[17] M. I. Al-Shetwi, M. Z. Sujod, Y. Yang, A. A. Alzaidi, and M. A. Al-Hinai, "A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation," Energy Reports, vol. 8, pp. 13906–13926, 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.10.377.

[18] T. M. Letcher, Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet, 3rd ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2020.

[19] V. P. Katekar and S. S. Deshmukh, "A review on research trends in solar still designs for domestic and industrial applications," Journal of Cleaner Production, vol. 257, Art. no. 120544, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120544.

[21] M. I. Al-Shetwi, M. Z. Sujod, Y. Yang, A. A. Alzaidi, and M. A. Al-Hinai, "A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation," Energy Reports, vol. 8, pp. 13906–13926, 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.10.377.

[22] F. A. Essa, A. Abdullah, H. S. Majdi, A. Basem, and H. A. Dhahad, "Parameters Affecting the Efficiency of Solar Stills—Recent Review," Sustainability, vol. 14, no. 17, Art. no. 10668, 2022, doi: 10.3390/su141710668.

[22] F. A. Essa, A. Abdullah, H. S. Majdi, A. Basem, and H. A. Dhahad, "Parameters Affecting the Efficiency of Solar Stills—Recent Review," Sustainability, vol. 14, no. 17, Art. no. 10668, 2022, doi: 10.3390/su141710668.

[23] A. Kumar, O. Prakash, and A. Kaviti, "Solar thermal energy technologies and its applications for process heating and power generation – A review," Journal of Cleaner Production, vol. 282, Art. no. 124541, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124541.

.

الفصل الثاني:

الدراسة النظرية على التقطير الشمسي

2 دراسة نظرية على التقطير الشمسي:

2-1. تمهيد:

يُعتبر التقطير الشمسي من أبرز التطبيقات العملية للطاقة الشمسية الحرارية، إذ يقوم على توظيف الإشعاع الشمسي لتبخير المياه المالحة أو غير الصالحة للشرب، ثم إعادة تكثيف البخار الناتج للحصول على مياه نقية صالحة للاستخدام. وتزداد أهمية هذه التقنية بشكل خاص في المناطق الصحراوية والجافة، بسبب وفرة أشعة الشمس من جهة، ومحدودية مصادر المياه العذبة التقليدية من جهة أخرى [1].

يعتمد عمل المقطر الشمسي البسيط على مجموعة من الظواهر الفيزيائية الأساسية، أبرزها انتقال الحرارة، وعملية التبخر، ثم التكاثف، مما يجعله جهازًا بسيط التركيب، سهل الاستخدام، ومنخفض التكلفة مقارنة بغيره من تقنيات تحلية المياه [2]. ومع ذلك، فإن انخفاض كمية المياه المنتجة يوميًا يُعد من أهم التحديات التي تحدّ من انتشاره على نطاق واسع، الأمر الذي دفع العديد من الباحثين إلى التركيز على دراسة العوامل المؤثرة في أدائه الحراري وإنتاجه المائي بهدف تحسين كفاءته [3].

في هذا الفصل، سيتم تناول الجانب النظري للتقطير الشمسي من خلال التعريف بمفهومه، واستعراض مكوناته الأساسية، وشرح الآلية الفيزيائية التي يقوم عليها، إلى جانب إبراز أهم العوامل المؤثرة في مردوديته. ويهدف هذا الإطار النظري إلى بناء أساس علمي يُمهد للجزء التطبيقي، الذي يركز على دراسة أثر استخدام المرايا العاكسة وورق الألمنيوم في تحسين أداء المقطر الشمسي البسيط تحت الظروف المناخية السائدة في الجنوب الشرقي للجزائر، لا سيما في منطقة الوادي.

2-2. لمحة تاريخية

منذ أقدم العصور، استفاد الإنسان من أشعة الشمس في تطبيقات بسيطة مثل تجفيف الأغذية وتبخير مياه البحر لاستخراج الملح، وهو ما شكّل البداية لفكرة توظيف الطاقة الشمسية في الاستخدامات العملية [4].

وخلال القرن التاسع عشر، بذل العلماء جهودًا متواصلة لتحويل هذه الطاقة إلى أشكال أخرى قابلة للاستعمال، حيث تمكّنوا من إنتاج بخار منخفض الضغط يُستخدم في تشغيل الآلات البخارية [5].

وفي سنة 1875، حققت شركة موشو (Mouchot) تطورًا ملحوظًا من خلال تصميم عاكس شمسي مخروطي الشكل يهدف إلى تجميع الإشعاع الشمسي، كما قامت شركة (A.G. Eneas) بإنجاز جهاز تجميع شمسي بقطر بلغ 10 أمتار، مما أتاح تشغيل معدات مخصصة لضخ المياه [6].

وعلى مدار النصف الثاني من القرن العشرين، شهدت تقنيات استغلال الطاقة الشمسية تطورًا كبيرًا، حيث تم إنشاء العديد من الأنظمة التي تعتمد على تسخين السوائل لتشغيل التجهيزات الميكانيكية، إلى جانب الانتشار الواسع لسخانات المياه الشمسية منذ بداية الخمسينيات في مختلف دول العالم [7].

وبالنظر إلى مشكلة ندرة المياه المستمرة، برزت فكرة استخدام الطاقة الشمسية في تحلية مياه البحر كحل منطقي. وقد ظل التقطير الشمسي من أكثر الطرق فعالية لفترة طويلة، حيث استُخدمت المكثفات لتجميع بخار الماء وتسهيل عملية الحصول على المياه النقية. وفي عام 1928، قام باستور باستخدام مكثف لتركيز الأشعة الشمسية على غلاية نحاسية مملوءة بالماء، في تجربة تهدف إلى تحسين كفاءة هذه العملية [8].

2-3. تعريف المقطر الشمسي:

تُعتبر وحدة التقطير الشمسي جهازًا متكاملاً يُستخدم لاستغلال الطاقة الشمسية في تحلية المياه المالحة أو تنقية مياه الأمطار غير الصالحة للشرب، وذلك بطريقة طبيعية تتميز بكونها صديقة للبيئة ومنخفضة التكلفة [9]. وتعتمد هذه الوحدة في عملها على مبدأ فيزيائي بسيط يتمثل في تسخين الماء بفعل الإشعاع الشمسي حتى يتبخر، ثم تكثيف هذا البخار للحصول على ماء نقي صالح للاستهلاك [10]. لذا تُعد من الحلول العملية والفعّالة في المناطق التي تعاني من ندرة المياه أو صعوبة الوصول إلى مصادر مياه نظيفة [11].

المكونات الأساسية للوحدة: تتكون وحدة التقطير الشمسي عادةً من عدة عناصر رئيسية، وهي:

الصندوق الخارجي: يُصنع غالبًا من الخشب أو المعدن، ويعمل كهيكل أساسي لدعم باقي المكونات، كما يساهم في تقليل فقدان الحرارة بفضل خصائصه العازلة [12].

حوض الماء : يحتوي على المياه المراد تحليتها، ويفضل أن يكون ذا لون أسود لزيادة امتصاص الطاقة الشمسية وتحسين كفاءة التسخين [9].

الغطاء الزجاجي: يسمح بمرور أشعة الشمس إلى داخل الوحدة، ويُعد السطح الذي يحدث عليه تكاثف بخار الماء وتحوله إلى ماء مقطر [10].

قناة جمع المياه المقطرة: تقوم بتجميع المياه الناتجة عن عملية التكثيف وتوجيهها لتكون جاهزة للاستخدام [11].

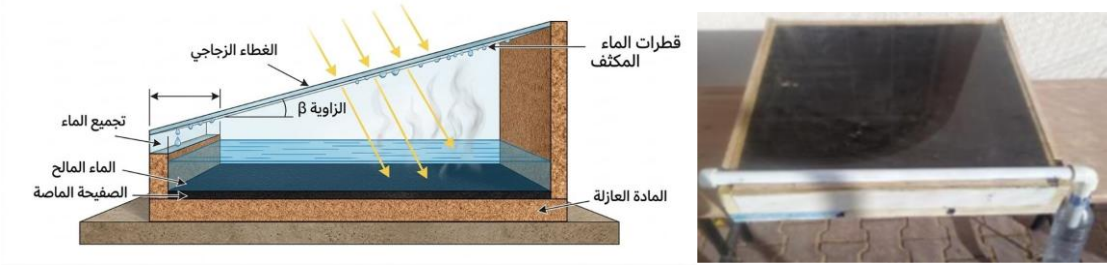
2-4 أنواع المقطرات الشمسية:

2-4-1 المقطرات البسيطة:

يُعدّ هذا النوع من أكثر أنواع المقطرات الشمسية انتشارًا واستخدامًا على مستوى العالم، حيث يتكوّن من حوض يحتوي على الماء المالح، تعلوه صفيحة ماصّة مطلية باللون الأسود بهدف امتصاص أكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي. ويُغطّى هذا الحوض بغطاء زجاجي مائل يسمح بتكاثف بخار الماء على سطحه الداخلي ثم انسيابه وجمعه. ويتميّز هذا النظام ببساطة تركيبه وسهولة صيانته، إضافة إلى تكلفته المنخفضة نسبيًا [13]. ويتفرع عن هذا النوع عدة نماذج، من أبرزها:

2-1-4-1 مقطر بميل واحد(Distillateur à pent unique)

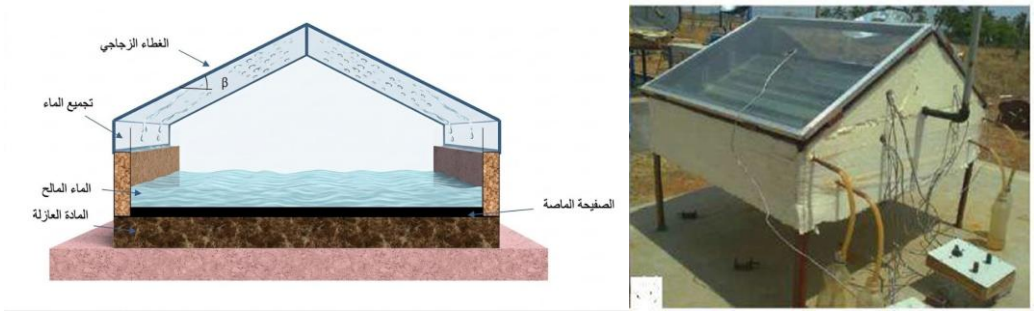
هو مقطر بلاقط واحد مائل بزاوية، (β) وهو سهل التنظيف نظرا لسهولة تركيبه [14].



الشكل (2-1):رسم تخطيطي لمقطر بسيط بميل واحد [14].

2-1-4-2 مقطر بميلين (distillateur à double pontes)

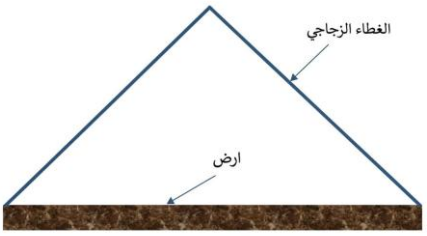
ويسمى كذلك مقطر بلاقطين بحيث كل واحد منهما يميل بزاوية(β) ، ومن ميزاته أنه إحداها يوجه للشمس والآخر للظل لتسريع عملية التكثيف [15].



الشكل 2. 2: المقطر البسيط بميلين [15].

2-1-4-3 مقطر شمسي أرضي (distillateur Solaire terre-eau)

يتميز هذا النموذج بامتلاكه نفس بنية المقطر ذي السطحين المائلين، إلا أنه يختلف عنه في كونه يعتمد على التربة بدل الحوض الأسود. ويُستخدم هذا النوع للاستفادة من كميات الرطوبة المرتفعة المخزنة في الأرض، والتي تتبخر وتعود إلى الغلاف الجوي خلال فصل الصيف [14].



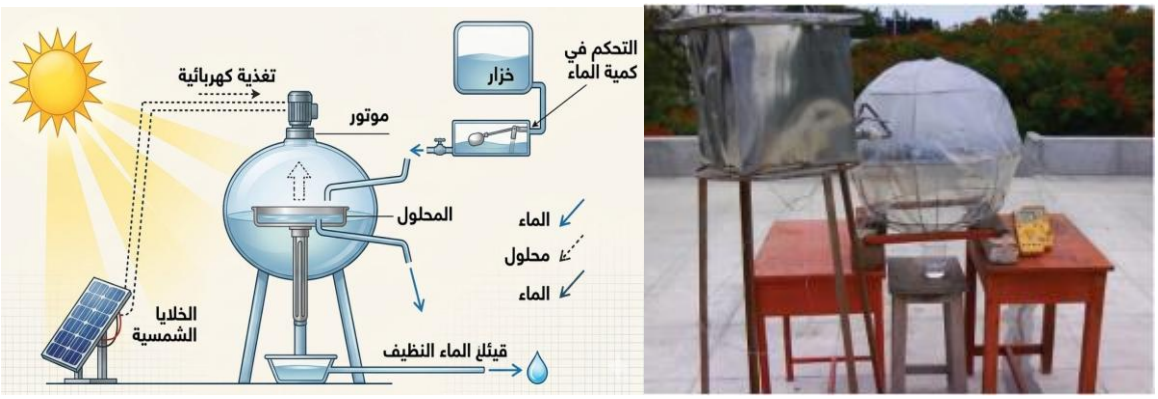
الشكل (2-3): **مقطر شمسي ارضي [14].**

2-4-2 مقطرات شمسية تعمل بمبدأ التسخين بالبيت الزجاجي:

معظم المقطرات تعمل بهذا المبدأ مع بعض الاختلاف في الشكل ومن بينها:

2-4-2-1 المقطر الشمسي الكروي (Distillateur sphérique):

يكون على شكل كرة شفافة من الزجاج ويوجد داخلها حوض دائري له لون اسود يعمل كماص للإشعاع الحراري يوضع فيه الماء المالح لتبخيره ثم يتكاثف البخار المتصاعد إلى أن يمس السطح الداخلي للزجاج ثم يجمع في أسفل الشكل الكروي ولجعل الزجاج شفاف يستعمل في السطح الداخلي للزجاج ماسح يدور بواسطة محرك كهربائي في أعلى المقطر [16] كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل (2-4): مقطر شمسي كروي مزود بماسح للماء [16].

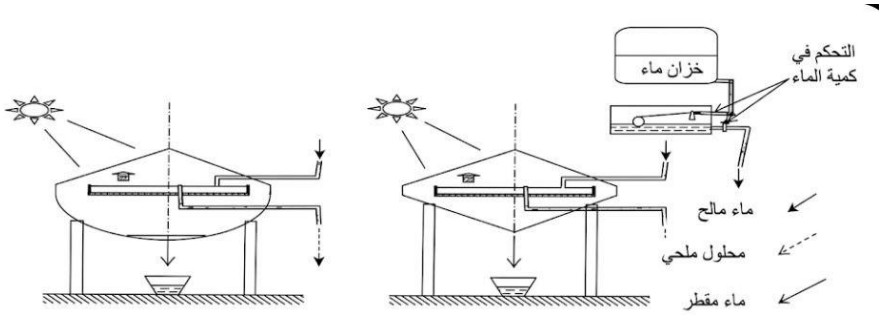
2-4-2-2 المقطر الشمسي الاسطواني (Distillateur cylinder).

هو جهاز بسيط يُستخدم لتحلية المياه بالاعتماد على الطاقة الشمسية، حيث يعمل على تحويل المياه المالحة إلى مياه عذبة صالحة للاستخدام. يتكوّن هذا الجهاز من غطاء زجاجي شفاف ذو شكل أسطواني، إضافةً إلى حوض مطلي باللون الأسود لزيادة امتصاص الإشعاع الشمسي، ويُملأ بالماء المالح كما هو موضح في الشكل. تسمح أشعة الشمس بالنفاذ عبر الغطاء الزجاجي فتؤدي إلى تسخين الماء وارتفاع درجة حرارته، مما يسبب تبخّره وتحوله إلى بخار ينتقل داخل المقطر بفعل الحمل الحراري الطبيعي، فيتشبع الهواء المحيط بالبخار. وعند ملامسة هذا الهواء المشبع للسطح الداخلي البارد للغطاء الزجاجي، يتكاثف البخار ويتحوّل إلى قطرات ماء تنساب نحو الأسفل، ليتم تجميعها خارج المقطر على شكل مياه عذبة في وعاء مخصص لذلك [16].

الشكل (2-5):المقطر الشمسي الأسطواني [16].

3-2-4-2 المقطر الشمسي المخروطي (Distillateur enforme de cone):

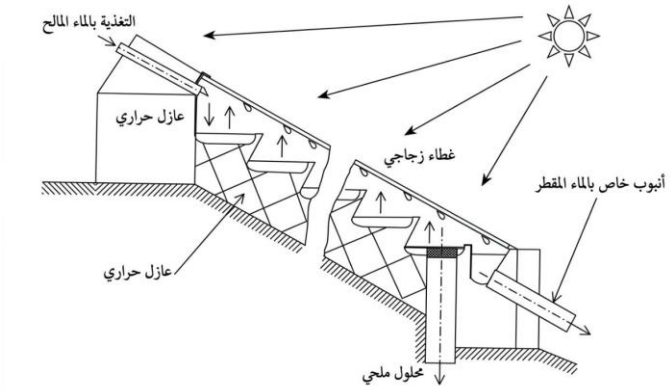
يتكوّن هذا النظام من غطاء زجاجي مخروطي الشكل في الجزء العلوي يسمح بنفاذ الإشعاع الشمسي، إضافةً إلى قمع مخروطي في الجزء السفلي مخصّص لتجميع المياه المقطّرة [16].كما يوضحه الشكل التالي:



الشكل (2-6): المقطر الشمسي المخروطي [16].

4-2-4-2 المقطر الشمسي الشلال(Distillateur Solaire cascade)

يتألف من عدة مستويات من الأحواض ذات اللون الأسود تحتوي على ماء مالح، حيث يتم تمرير الماء من كل حوض إلى الحوض الذي يليه في الأسفل بشكل متدرج، إلى أن يصل في النهاية إلى الطابق السفلي [17] كما هو موضح في الشكل التالي:



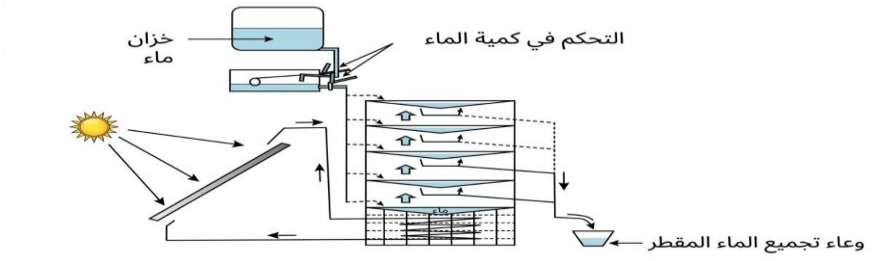
الشكل (2-7): المقطر الشلال الشمسي [17].

3-4-2 المقطرات التي تعمل بمبدأ استرجاع الحرارة.

تعاني جميع أنواع المقطرات من فقدان حراري على مستوى مختلف مكونات الجهاز، بغضّ النظر عن نوعه، ويُعد مقدار هذا الفقد عاملاً أساسياً في تحديد كفاءة عملية التقطير. ومن أجل الاستفادة من هذه الحرارة المهدورة، يتم اعتماد تصاميم وتقنيات خاصة تسمح باسترجاعها، ومن بين هذه الحلول نذكر ما يلي:

2-3-4-1 المقطر الشمسي المتعدد الطوابق:

يتكوّن هذا النظام من عدة طوابق، يحتوي كل طابق على كمية من الماء المالح. يتم تسخين الطابق العلوي بواسطة مبادل حراري يستقبل الحرارة من مائع تم تسخينه عبر اللاقط الشمسي، مما يؤدي إلى تبخر الماء المالح. بعد ذلك يتكاثف البخار على سطح بارد مقابل، وتُستغل حرارة التكاثف في إعادة تسخين الماء الموجود في الطابق الأعلى فوق سطح التكاثف. وتستمر هذه الدورة بشكل متسلسل من طابق إلى آخر حتى الوصول إلى الطابق الأخير [14].

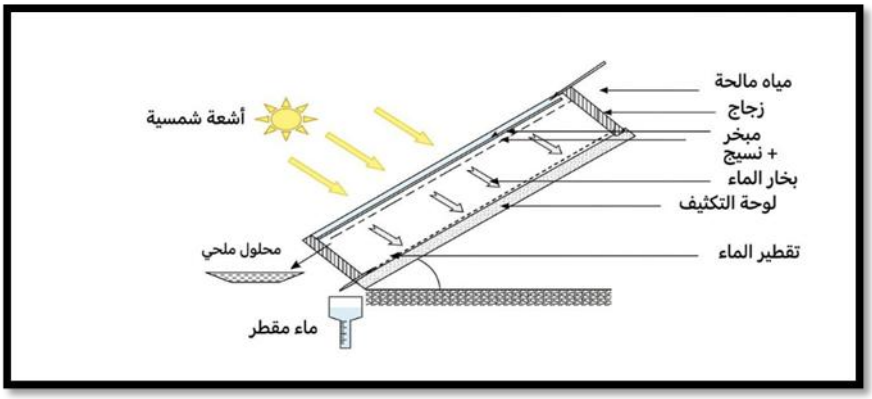


الشكل (2-8): المقطر الشمسي متعدد الطوابق [14].

2-3-4-2 المقطر الشمسي بالخاصية الشعيرية:

يتكوّن هذا النظام من مجموعة من الطوابق المصنوعة من معدن مثل الألمنيوم، تكون متقابلة ومرتبة بشكل عمودي ومتوازي، وتُثبت داخل هيكل خشبي معزول حرارياً من الجوانب. كما يُغطى من الأعلى بغطاء زجاجي يسمح بمرور الإشعاع الشمسي.

يكون الطابق الأول مطلياً باللون الأسود لزيادة امتصاص الحرارة، مما يؤدي إلى تبخر الماء بفعل الطاقة الحرارية المكتسبة من الإشعاع الشمسي. ثم يتكاثف البخار على السطح البارد المقابل، حيث تُستغل حرارة التكاثف في تسخين الماء الموجود على طبقة الشاش الملتصقة خلف سطح التكاثف. وتستمر هذه الدورة بشكل متكرر من طابق إلى آخر حتى الوصول إلى الطابق الأخير [18].



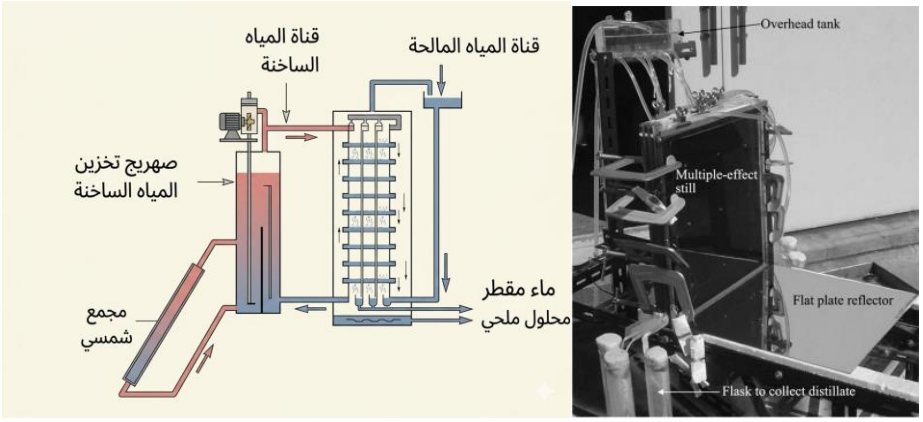
الشكل (2–9): المقطر الشمسي بالخاصية الشعرية. [18]

4-4-2 المقطرات متعددة التأثيرات

يتكون المقطر الشمسي متعدد التأثيرات من عدة مبخرات موضوعة في سلسلة، تعمل في ضغط متناقص وهي عدة انواع:

1-4-4-2 المقطر بالانتشار:

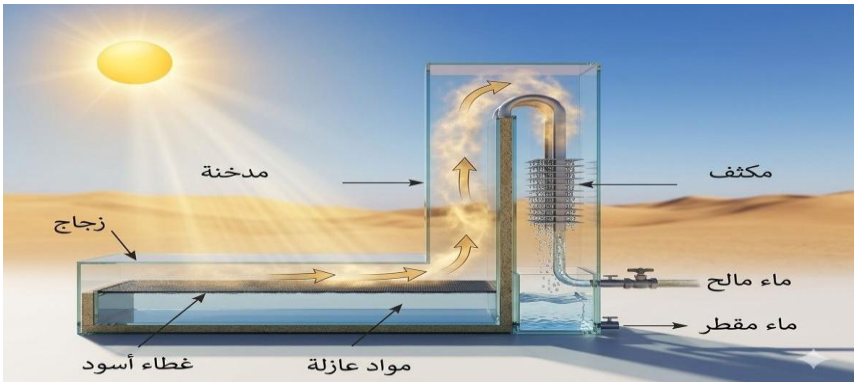
يتكون هذا الجهاز من خزانٍ للتخزين مرتبط بحساس، إضافةً إلى مجموعة من الصفائح المعدنية المتوازية والمثبتة بشكل عمودي. يقوم الماء الساخن القادم من الخزان بتسخين الصفيحة الأولى، مما يؤدي إلى تبخر الماء المتدفق على الجهة اليمنى منها. ثم يتكاثف بخار الماء على الجهة اليسرى من الصفيحة الثانية، وتُستغل الحرارة الناتجة عن عملية التكاثف في تبخير المياه الجارية على الجهة اليمنى من الصفيحة نفسها. وبهذه الطريقة تُسهم حرارة التكاثف في التسخين المسبق للمياه المالحة الداخلة إلى النظام، مما يحسن من كفاءة العملية [19].



الشكل (2-10): المقطر بالانتشار [19].

2-4-4-2 المقطر بالمدخنة الشمسية:

يتميز هذا المقطر عن الأنواع التقليدية بإضافة مدخنة مرتبطة بالمبادلات الحرارية، كما يعتمد على قناة مسطحة مغطاة بغطاء زجاجي لالتقاط الطاقة الشمسية من خلال الإشعاع الشمسي. حيث تتدفق المياه المالحة داخل هذه القناة فتتعرض للتسخين والتبخر، ثم يصعد البخار نحو المدخنة حيث يحدث التكاثف. ويمكن استغلال الحرارة الناتجة عن عملية التكاثف في تسخين المياه الداخلة إلى النظام [19].



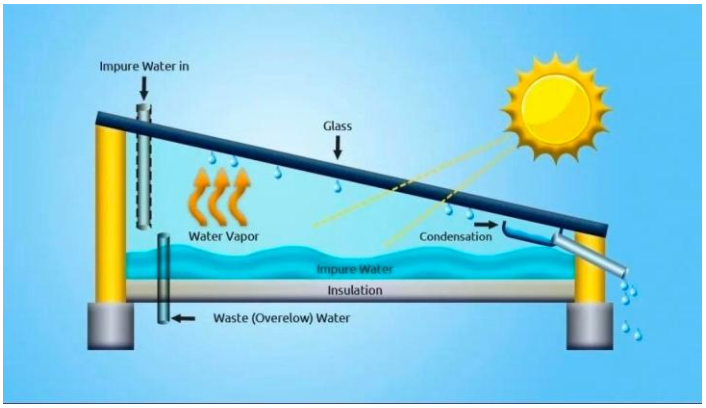
الشكل (2-11): المقطر بالمدخنة الشمسية

2-5 مبدأ عمل المقطر الشمسي

عند سقوط أشعة الشمس على الماء الموجود داخل الحوض، تزداد درجة حرارته تدريجيًا مما يؤدي إلى تبخره [10]. ثم يرتفع بخار الماء داخل الوحدة إلى أن يلامس السطح الداخلي للغطاء الزجاجي، حيث يبرد ويتحول إلى قطرات ماء متكثفة [12]. بعد ذلك تنساب هذه القطرات نحو قناة التجميع للحصول على ماء مقطر صالح للشرب أو للاستعمالات الزراعية والصناعية [11].

ويؤثر تصميم وحدة التقطير بشكل مباشر على كفاءتها، إذ إن اختيار زاوية مناسبة للغطاء الزجاجي يساعد على استقبال كمية أكبر من الإشعاع الشمسي، كما أن طلاء القاعدة باللون الأسود يزيد من امتصاص الحرارة، بينما يساهم العزل الحراري الجيد في تقليل الفواقد الحرارية ورفع إنتاجية الماء المقطر [20]. ويمكن كذلك تحسين أداء الوحدة باستعمال أسطح معدنية سوداء أو مواد لتخزين الحرارة مثل الزنك والجرافيت، مما يساعد على زيادة كمية المياه المنتجة خلال ساعات النهار [9].

وتتميز هذه الوحدة ببساطتها وفعاليتها، لذلك تُستخدم على نطاق واسع في التطبيقات الأكاديمية والصناعية، مع إمكانية تصنيعها بأحجام متعددة حسب الاحتياجات اليومية من المياه [10]. كما يمكن تطويرها بإضافة تقنيات حديثة تهدف إلى تحسين عملية التبخر وتقليل ضياع الحرارة، مثل استخدام المكثفات المزدوجة أو الغرف المعزولة حرارياً [20].



الشكل (2-12): المبدأ الأساسي للمقطر البسيط [20].

6-2 خصائص المكونات المقطرات الشمسية

1-6-2. الزجاج

يختلف الزجاج حسب خصائصه (السمك، اللون: يجب أن يكون شفافا، الانعكاس: يجب ان يكون من (5–22%)، الامتصاص: يجب ان يكون على الاقل ما5%، العبور: أكثر من 95% [21].)

2-6-2 الصفيحة المعدنية

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

- السمك .
- التوصيلية: يجب أن نختار صفيحة توصيلية حرارية مرتفعة ان أمكن .
- مقاومة التآكل: الصفيحة المعدنية تكون في تلامس مع الماء، من أجل هذا يجب اختيار صفيحة تقاوم ظاهرة التآكل [21].

3-6-2 العازل

العازل في المقطر هو العنصر الرئيسي، ولاختيار عازل جيد يجب معرفة كل الخصائص التالية: التوصيلية الحرارية: التوصيلية الحرارية للعازل يجب أن تكون قليلة ليكون عزل حراري جيد. [21]

امثلة

Le polyuréthane : k1 = 2.25.10-5 kW / m. C

Le polystyrène : k2 = 0.364.10-5 kW / m. C °

La laine de verre : k3= 4.10-5kW/m. C °

العازل الافضل من بين الثلاثة هوpolystyrene

7-2 معايير المقطرات الشمسية

هناك عدة مقادير لتحديد انتاج المقطرات الشمسية نعتمد على:

1-7-2. المردودية

وهي عبارة عن كمية الماء المقطر الناتجة من المقطر الشمسي لوحدة السطح للصفيحة السوداء في اليوم [21].

2-7-2 الفعالية

الفعالية الكلية: حاصل قسمة التدفق الحراري بالتبخير على الطاقة الشمسية الكلية الواردة الى السطح الافقي وفق العبارة التالية:

$$\eta_g = \frac{Q_{evP}}{G * S} = \frac{m_d}{G * S} Lv \qquad (1.II)$$

$QevP$:التدفق الحراري بالتبخير : w/m^2.

G: الطاقة الشمسية الواردة الى السطح الافقي: w/m^2 .

S:سطح الغطاء الزجاجي m^2.

m_d :تدفق الماء المقطر kg/s.

Lv : الحرارة الكامنة لتبخير الماء J/kg .

الفعالية الداخلية: هي حاصل قسمة الفعالية الكلية على كمية الماء المنتج بفعل الطاقة الشمسية الساق على السطح الافقي[21].

$$n_i = \frac{Q_{evp}}{Q_{eau}} = \frac{m_d}{\alpha_t \cdot G \cdot G} L_v \qquad (2.II)$$

α_t :معامل الامتصاص الفعال للمقطر.

Q_{eau}:التدفق الكتلي للماء.

3-7-2 مقياس الفعالية

يعرف Satcunathan و Hansen أن أنواع عوامل الفعالية هي معامل الفعالية الإجمالية (FPB)، ومعامل الفعالية الساعية (FPH)، معامل الفعالية اللحظية (FP)[21]

- معامل الفعالية الاجمالي

$$FPB = \frac{quantite\ d\ eau\ produite\ au\ bout\ de\ 24h}{quantite\ d\ energie\ entree\ au\ bout\ de\ 24h} \quad (3.II)$$

- ومعامل الفعالية الساعية

$$PH = \frac{quantite\ d\ eau\ prouduite\ au\ bout\ d\ une\ heure}{quantite\ d\ energie\ entree\ au\ bout\ d\ une\ heure} \quad (4.II)$$

- معامل الفعالية اللحظية

$$F_p = \frac{m_d}{\alpha_t \cdot G \cdot S} \quad (5.II)$$

4-7-2 أداء المقطر

هي النسبة بين الحرارة الكامنة لتبخير 1 كيلوغرام من الماء المالح الى الطاقة اللازمة لتقطير 1كيلوغرام من الماء العذب، والعيب الرئيسي من هذا المعيار هو انه لا يذكر الطاقة الشمسية التي تدخل في التقطير، والمحسوبة من النتائج التجريبية كالاتي:

$$r_p = \frac{Q_{distilatiom}}{Q_{slab}} \quad (6.II)$$

$$Q_{distilatiom} = m_d \times L_v \quad (7.II)$$

$$Q_{slab} = mC_{ps}(T_{final} - T_{initial}) \quad (8.II)$$

حيث أن:

r_p: نسبة الاداء.

m_d: كتلة الماء المقطر.

m: الكتلة.

Q_{slab}: الطاقة اللازمة لتقطير واحد كيلو غرام من الماء العذب.

C_{ps}: الحرارة النوعية للماء.

8-2 العوامل الخارجية والداخلية المؤثرة على عمل المقطر

توجد عوامل مختلفة تؤثر في عمل المقطر الشمسي يمكن تصنيفها إلى نوعين: عوامل خارجية وأخرى داخلية:

2-8-1 العوامل الخارجية

2-8-1-1. شدة الاشعاع الشمسي

تُعدّ الشمس والإشعاع الشمسي من أهم العوامل المؤثرة في أداء المقطر الشمسي، إذ تصل الطاقة الشمسية إلى الأرض على شكل جسيمات دقيقة عديمة الكتلة تُعرف بالفوتونات. وتتميز هذه الفوتونات بخصائص مشابهة للموجات الكهرومغناطيسية، حيث تمتلك طولًا موجيًا وترددًا وطاقة محددة. وعند اصطدام الفوتونات بالخلايا الكهروضوئية، تنتقل طاقتها إلى الإلكترونات فتؤدي إلى إثارتها وتحريكها. وتُعتبر طاقة الفوتونات طاقة كهرومغناطيسية تشمل مختلف الأطوال الموجية والترددات الممكنة [22].

2-8-1-2. سرعة الرياح

يؤدي الحمل الحراري المؤثر على الغطاء الزجاجي دورًا أساسيًا في أداء المقطر الشمسي، إذ ترتبط سرعة الرياح بالحمل الحراري القسري الناتج عن حركة الهواء المحيط بالزجاج، مما ينعكس بشكل مباشر على درجة حرارة الغطاء الزجاجي [22].

2-8-1-3. درجة حرارة الهواء المحيط

تُعدّ درجة حرارة الهواء المحيط عاملاً مهماً في تحديد التبادلات الحرارية بين داخل المقطر والوسط الخارجي، إذ ترتبط بشكل مباشر بالحمل الحراري الطبيعي عند سطح الزجاج، ويزداد تأثيرها بازدياد درجة حرارة الزجاج [22].

2-8-1-4 .عوامل أخرى جوية:

إلى جانب تأثير كلٍّ من سرعة الرياح ودرجة حرارة الهواء المحيط، توجد عوامل جوية وتشغيلية أخرى، مثل رطوبة الهواء والموقع الجغرافي وظروف التشغيل، تسهم بدورها في التأثير على إنتاجية عملية التقطير [22].

2-8-2. العوامل الداخلية:

2-8-2-1 ميل الزجاج على السطح الأفقي

يؤدي ميل الغطاء الزجاجي دورًا أساسيًا في كفاءة عمل المقطر الشمسي، لذلك يجب اختيار زاوية ميل مناسبة تسمح بانسياب قطرات الماء المتكثف دون عودتها إلى حوض الماء المالح. وقد بينت الدراسات التي أُجريت على عدة زوايا ميل أن القيمة المثلى لميل الزجاج تتراوح تقريبًا بين 10° و50° [23].

2-8-2-2 . ارتفاع مستوى كتلة الماء المقطر

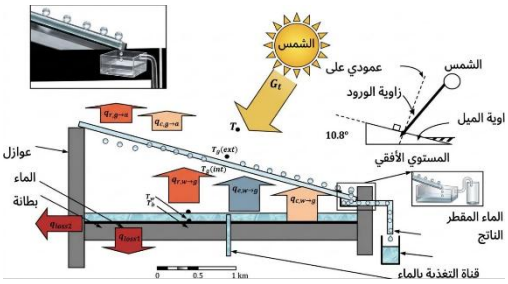
تناولت دراسة Cooper سنة 1969 تأثير تغيّر سمك طبقة الماء المالح داخل الحوض، حيث بيّنت وجود تأثير واضح لهذا العامل خاصة عند استخدام عازل حراري أسفل الحوض أو عند غيابه، بينما لا يكون تأثير السمك ملحوظًا عند انخفاض ارتفاع طبقة الماء. كما أشارت عدة دراسات أخرى إلى أن سمك طبقة الماء في الحوض يؤثر مباشرة في كمية الإنتاج اليومي للماء المقطر، إذ تتفق النتائج على أن مردود المقطر الشمسي ينخفض كلما ازداد سمك الماء داخل الحوض [23].

2-8-2-3 المسافة التي تقسم السطح الحر إلى لاقطين

ترتبط هذه العوامل بشكل مباشر بالضغط الداخلي للمقطر، إذ إن زيادة حجم المقطر تؤدي إلى انخفاض الضغط داخله، مما يؤثر في التبادلات الحرارية وينتج عنه انخفاض في درجات حرارة مكونات المقطر [24].

2-9 الميزان الطاقوي للمقطر

ترتكز مختلف التبادلات الحرارية التي تحدث داخل المقطر الشمسي البسيط على أربع نقاط أساسية، تتمثل في: الميزان الحراري بين الزجاج والهواء، والميزان الحراري بين الماء والزجاج، إضافة إلى الميزان الحراري بين العازل والوسط الخارجي، فضلاً عن تدفق الماء المقطر [25].



الشكل (2-13): الميزان الطاقوي للمقطر الشمسي [25].

2-10 مميزات المقطرات الشمسية

تتميز المقطرات الشمسية بما يلي:

-تساهم تقنيات المقطر الشمسي في تحسين جودة المياه ورفع نقاوتها.

-تساعد في التقليل من مشكلة نقص المياه الصالحة للشرب.

-تساهم في تحسين الوضع الاقتصادي من خلال تقليل التكاليف.

-تعتمد بشكل مباشر على الطاقة الشمسية في تسخين المياه داخل حوض المقطر.

-يُعد المقطر الشمسي ذو الانحدار المنفرد من أبسط الأنواع من حيث التركيب، وهو الأكثر انتشاراً عالمياً.

-لا يحتاج إلى رأس مال كبير لتصميم أو تنفيذ هذه التقنية.

-من أهم مميزاته أنه يعتبر تقنية صديقة للبيئة [26].

11-2 عيوب المقطرات الشمسية

-تؤثر التغيرات المناخية ودرجات الحرارة بشكل سلبي على أداء المقطر الشمسي.

-يعتمد المقطر على توفر طاقة شمسية مرتفعة، لذلك تنخفض إنتاجيته خلال فصل الشتاء.

-من عيوب المقطر العمودي حدوث تراكم للأملاح على قطعة القماش، مما يقلل من كفاءتها في امتصاص وتوزيع الماء بشكل منتظم.

-لذلك يحتاج الجهاز إلى صيانة دورية تشمل تنظيف القماش أو استبداله أو إعادة تركيبه للحفاظ على الأداء الجيد. [26]

12-2 الظواهر الفيزيائية في عملية التقطير:

1-12-2 ظاهرة التبخير

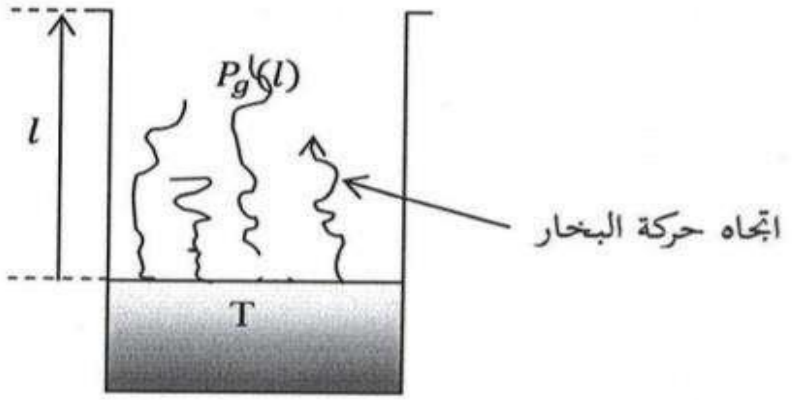
تُفسَّر ظاهرة التبخر بوجود جزيئات السائل قرب سطحه، فعند تسخين الماء يحدث تحول في حالته من سائل إلى بخار يتكوّن مباشرة فوق السطح، ثم يرتفع هذا البخار إلى الأعلى نتيجة فرق الضغط.

بشكل عام، يمكن أن تكون عملية انتقال المادة إلى البخار بطيئة أو سريعة حسب طريقة التسخين، وهي ظاهرة فيزيائية معقدة تتضمن ظاهرتين أساسيتين: الأولى حرارية تتمثل في التبخر، والثانية ميكانيكية تتمثل في الغليان.

وتتطلب عملية التبخر وجود سائل يلامس سطحًا صلبًا ساخنًا تكون درجة حرارته أعلى من درجة حرارة السائل، وبذلك تنقسم عملية التبخر (Evaporation) إلى عمليتين متزامنتين هما [27]:

العملية الأولى (حرارية): وهي التبخر (Vaporization)، حيث يتحول السائل إلى بخار تدريجيًا عند السطح.

العملية الثانية (ديناميكية): وهي الغليان (Ebullition)، حيث تتكوّن فقاعات بخارية داخل كتلة السائل نفسه وتتصاعد إلى السطح.



الشكل (2-14): وعاء به ماء سائل تحت التبخير في غياب الحمل الكتلي والحراري [27].

2-12-2. ظاهرة التكثيف

تُعد هذه الظاهرة عملية فيزيائية عكسية لعملية التبخر، وتنقسم إلى مرحلتين أساسيتين: مرحلة حرارية تتمثل في الإسالة، ومرحلة ميكانيكية تتمثل في التقطير. كما تتطلب عملية التكاثف وجود سطح صلب بارد تكون درجة حرارته أقل من درجة حرارة البخار حتى تتم عملية التحول بكفاءة [27].

2-13 الطرق المستعملة في تحلية المياه

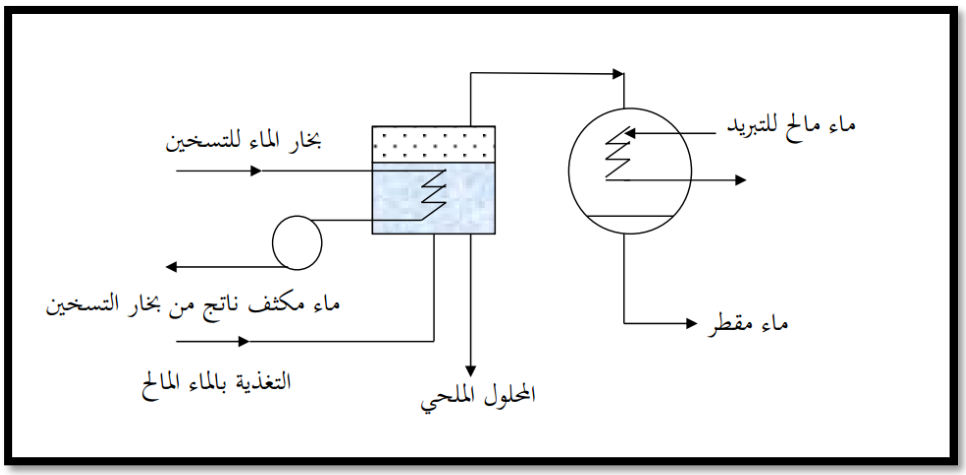
2-13-1 تعريف التحلية

هي عملية تهدف إلى تحويل المياه المالحة إلى مياه عذبة خالية من الأملاح، بحيث تصبح صالحة للاستهلاك البشري أو الاستخدامات المختلفة، وتُعتمد هذه العملية بعدة تقنيات خاصة في المناطق القاحلة والقرى الصغيرة التي تعاني من ندرة المياه [28].

وتقوم عملية تحلية المياه أساسًا على توفير الطاقة اللازمة لتشغيل وحدات التحلية، وغالبًا ما يتم الاعتماد على الطاقة الشمسية التي تُحوَّل إلى أشكال مختلفة مثل الطاقة الحرارية أو الكهربائية أو الميكانيكية، وذلك من أجل تشغيل محطات التحلية بكفاءة. ومن أهم الطرق المستخدمة في هذا المجال نذكر [29]:

2-13-2 التقطير البسيط

إن حركة البخار داخل المبخر تتيح تسخين المياه المالحة، حيث يتبخر الماء تحت ضغط أعلى قليلاً من الضغط الجوي، مما يؤدي إلى تكاثف البخار مباشرة على سطح المكثف. وتتم هذه العملية دون استرجاع الحرارة المفقودة أو الاستفادة منها. بعد ذلك يتجه البخار المتكوّن نحو المكثف ليتم تكثيفه، حيث يُستخدم مبدل حراري يمر داخله ماء مالح بارد مثل ماء البحر أو المياه الجوفية الباردة. وتُعد هذه التقنية غير مناسبة للتطبيقات الصناعية بسبب ارتفاع استهلاكها للطاقة، كما هو موضح في الشكل التالي [30].



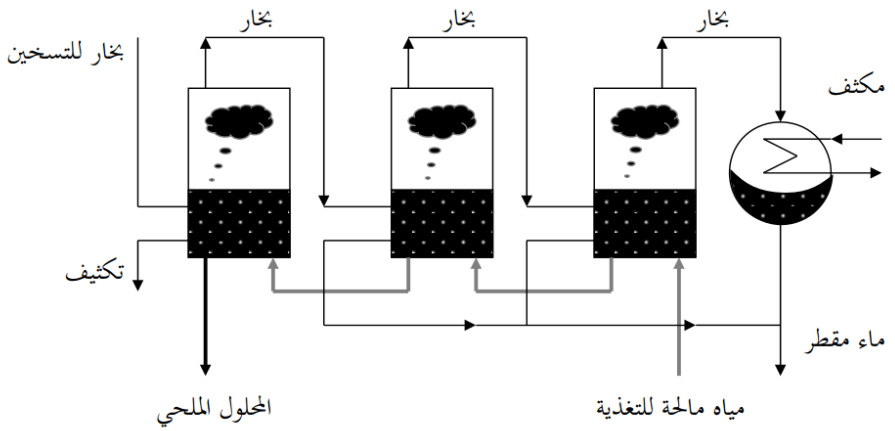
الشكل (2-15) : التقطير البسيط [30].

يمكن أن يسرع تبخير جزيئات الماء بواسطة تسخين مياه البحر إلى نقطة الغليان وتخفيض الضغط فوق سطح الماء [29].

2-13-3. التقطير متعدد التأثير

من أجل تحسين مردود عملية التقطير، يتم استغلال الحرارة الضائعة في المكثف وإعادة استخدامها كحرارة تسخين مسبق. ويتم ذلك عبر نظام متعدد المراحل (طوابق التقطير)، حيث يُكثَّف البخار الناتج من المبخر الأول داخل المبخر الثاني، مما يؤدي إلى توليد بخار ذي ضغط أقل، وتتكرر نفس العملية في باقي المراحل وفق المبدأ نفسه.

كما يمكن استثمار الحرارة المتبقية في تسخين المياه الخام أو توجيهها للاستخدامات الصناعية. ويُستخدم عادةً في هذا النظام من 6 إلى 7 مبخرات ومكثفات تعمل بالطريقة نفسها، وقد تم اعتماد هذا المبدأ لأول مرة في أوائل القرن التاسع عشر. الشكل التالي يوضح ذلك [30].



الشكل (2-16) : التقطير متعدد التأثير [30].

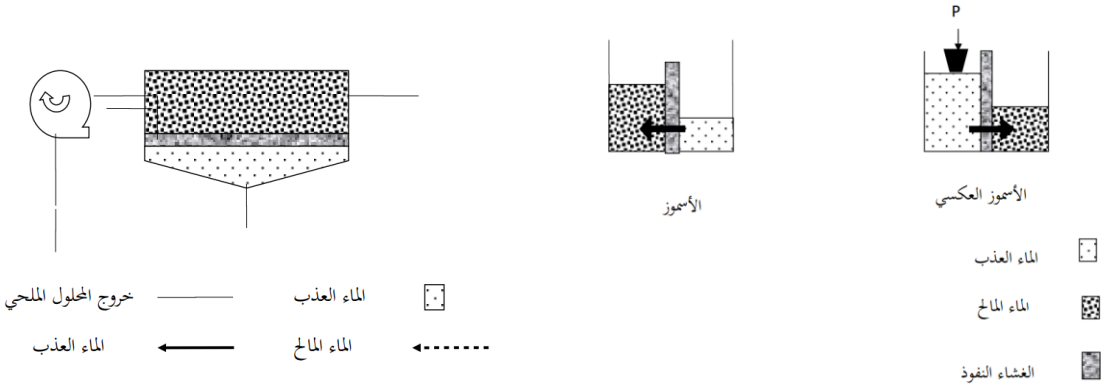
2-13-4 باستخدام طرق الأغشية

2-13-4-1 التناضح العكسي

في هذه التقنية يُوضَع الماء المالح على أحد جانبي غشاء شبه منفذ، بينما يوجد على الجانب الآخر ماء عذب. ومن المعروف أن الماء ينتقل طبيعياً من الوسط الأقل تركيزاً (الماء العذب) نحو الوسط الأعلى تركيزاً (المحلول الملحي) بهدف تحقيق حالة من التوازن في التركيز، وهي الظاهرة المعروفة باسم التناضح أو الأسموزي.

وبناءً على ذلك، تُعرَّف عملية التناضح العكسي بأنها طريقة لفصل الماء العذب عن المحلول الملحي باستعمال غشاء شبه منفذ، حيث يُطبَّق على المحلول الملحي ضغط يفوق الضغط الأسموزي، والذي يتحدد بدوره بعدة عوامل مثل تركيز الأملاح، نوعية المواد الذائبة، ودرجة الحرارة. في هذه الحالة لا تكون هناك حاجة إلى التسخين أو تغيير الحالة الفيزيائية للماء، وإنما يكفي تجاوز الضغط الأسموزي لحدوث الفصل [31].

وتتم هذه العملية بوضع الماء المالح في حجرة مفصولة بغشاء شبه منفذ عن حجرة أخرى، ثم يُسلَّط عليه ضغط بواسطة مضخة خاصة، مما يدفع جزيئات الماء للمرور عبر الغشاء نحو الحجرة الأخرى، بينما تبقى الأملاح. وبهذه الطريقة نحصل على ماء أقل ملوحة، أي أننا نعكس اتجاه الظاهرة التناضحية كما هو موضح في الشكل التالي.



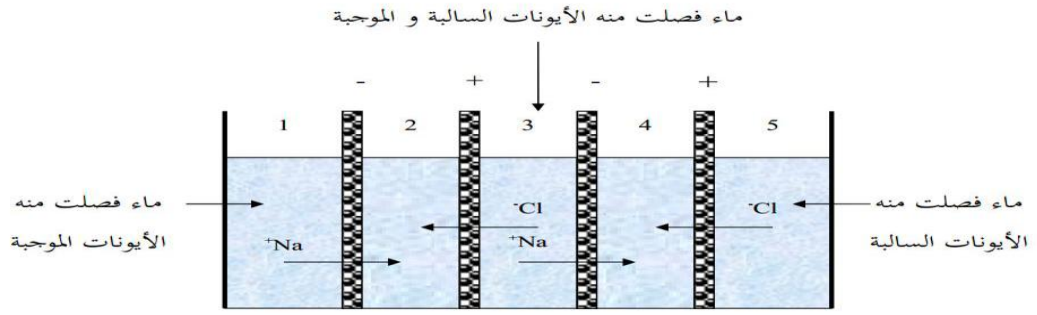
الشكل (2-17) :التقطير بالتناضح العكسي [31].

2-3-14-2 الفرز الغشائي الكهربائي

يُعتبر الفرز الغشائي الكهربائي (Electrodialysis) من التقنيات الحديثة المستخدمة في معالجة المياه، ويعتمد على مبدأ انتقال الأيونات داخل محلول مائي تحت تأثير مجال كهربائي، وذلك عبر أغشية انتقائية تسمح بمرور أنواع محددة من الأيونات. حيث توجد نوعان من هذه الأغشية: أغشية تسمح بمرور الأيونات الموجبة (الكاتيونات)، وأخرى تسمح بمرور الأيونات السالبة (الأيونات)، ويتم ترتيبها بشكل متبادل بين قطبين كهربائيين هما الأنود والكاثود.

عند تشغيل النظام وتطبيق فرق جهد كهربائي، تتحرك الأيونات في اتجاه الأقطاب ذات الشحنة المعاكسة، مما يؤدي إلى تكوين قنوات أو حجرات مائية، بعضها يصبح منخفض التركيز بالأملاح (مياه مخففة)، وبعضها الآخر يزداد فيه تركيز الأملاح (مياه مركزة).

تُستعمل هذه التقنية بشكل واسع في تحلية المياه ذات الملوحة المنخفضة إلى المتوسطة، وكذلك في معالجة بعض أنواع المياه الصناعية، وتمتاز باستهلاك طاقوي أقل مقارنة بطرق التحلية الحرارية، لكنها تصبح أقل كفاءة عند التعامل مع المياه عالية الملوحة مثل مياه البحر [32].



الشكل (2-18) : الفرز الغشائي الكهربائي [32].

4-14-2 باستخدام طريقة البلورة

تُعتبر تحلية المياه بالتجميد أو ما يُعرف بعملية البلورة (Freeze Desalination) إحدى التقنيات الفيزيائية الحديثة، وتعتمد على مبدأ أن الماء النقي يتجمد قبل الماء المالح، حيث تتكوّن بلورات جليدية شبه خالية من الأملاح، في حين تبقى المكونات الذائبة والشوائب في الطور السائل. يتم تبريد الماء المالح إلى درجات حرارة منخفضة حتى تبدأ بلورات الجليد في التكوّن تدريجيًا، ثم تُفصل هذه البلورات عن المحلول الملحي وتُغسل لإزالة أي بقايا من الأملاح العالقة، وبعد ذلك تُذاب للحصول على ماء عذب. تمتاز هذه الطريقة بأنها أقل استهلاكًا للطاقة من عمليات التقطير الحراري من الناحية النظرية، لأن الطاقة اللازمة للتجميد أقل من تلك المطلوبة للتبخير، كما أنها تحد من مشكلات التآكل والترسبات داخل الأجهزة. رغم ذلك، لا تزال هذه التقنية محدودة التطبيق على نطاق واسع بسبب الصعوبات التقنية المتعلقة بكفاءة فصل البلورات وضبط تكاليف التشغيل [33]

خاتمة الفصل الثاني

في ختام هذه الدراسة النظرية، تم التطرق إلى مختلف الجوانب المتعلقة بالمقطرات الشمسية، من حيث تعريفها وآلية عملها، بالإضافة إلى أنواعها المتعددة، فضلاً عن دراسة أهم العوامل التي تؤثر على أدائها، مثل شدة الإشعاع الشمسي، درجة الحرارة، مساحة سطح التبخر، وخصائص المياه المعالجة. كما تم إبراز الدور المهم لهذه التقنية باعتبارها حلاً مستداماً وصديقاً للبيئة في مجال تحلية المياه، خصوصاً في المناطق التي تعاني من شح الموارد المائية، وذلك لاعتمادها على مصدر طاقة متجدد ونظيف.

ورغم بساطة تصميم المقطر الشمسي وانخفاض تكاليف تشغيله، إلا أن إنتاجيته تبقى محدودة نسبياً، مما يجعل تحسين أدائه وزيادة مردوديته موضوعاً ذا أهمية كبيرة للبحث والدراسة. وفي هذا السياق، يتم التركيز على مجموعة من العوامل الفيزيائية والكيميائية التي قد يكون لها تأثير مباشر على عمليتي التبخر والتكثيف داخل المقطر.

وانطلاقاً من ذلك، يُخصص الفصل الثالث من هذه المذكرة للدراسة التجريبية، حيث سيتم تحليل تأثير استخدام المرايا العاكسة وورق الألمنيوم على إنتاجية المقطر الشمسي البسيط، مع مناقشة النتائج المتحصل عليها بهدف تقييم مدى مساهمة هذه الإضافات في تحسين الأداء الحراري وزيادة كمية الماء المقطر المنتج.

المراجع

[13] جغوبي، رحماني، "دراسة تجريبية وتحليلية لتحسين أداء المقطر الشمسي البسيط في منطقة ورقلة"، مذكرة ماستر، جامعة ورقلة، كلية الرياضيات وعلوم المادة، قسم الفيزياء، (2017).

[14] بن سليمان نور الهدى، شلغام منيرة، "دراسة تجريبية لتحسين أداء المقطر الشمسي البسيط باستعمال المضخة الحرارية"، مذكرة تخرج، جامعة قاصدي مرباح ورقلة.

[15] بشكي جمال، بوقطاية حمزة، تخة محمد، "دراسة تجريبية ونظرية لتحسين أداء المقطر الشمسي البسيط (دراسة خاصة بمنطقة ورقلة)"، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، قسم الفيزياء، 2022.

[24] بالحاج محمد مصطفى، شلغام منيرة،"إستعمال اللاقط الشمسي لتحسين أداء المقطر الشمسي"، أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، قسم الفيزياء الطاقوية، 2023.

[26] بن قدور إيهاب، برادعي عبد الفتاح، بلغيت عدلان، "دراسة تجريبية للمقطر الشمسي بالقماش"، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الوادي، (2022).

[27] سعيدي سعاد، بن شريف مارية، "دراسة تجريبية لتحسين مردود المقطر الشمسي في منطقة ورقلة"، (2020).

[29] أحمد عاشور، عبد الباسط فريد، خير الدين لبزة،"معالجة نقص إنتاجية التقطير الشمسي التقليدي باستعمال المبادل الحراري في المناطق الجافة"، جامعة الوادي، الجزائر، (2021).

[31] F. A. Essa, A. Abdullah, H. S. Majdi, A. Basem, and H. A. Dhahad, "Parameters Affecting the Efficiency of Solar Stills—Recent Review," Sustainability, vol. 14, no. 17, Art. no. 10668, 2022, doi: 10.3390/su141710668.

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

[2]Soteris A. Kalogirou, Solar Energy Engineering: Processes and Systems, 3rd Edition, Academic Press, Elsevier, 2023.

[3]Advanced Solar-Distillation SystemsTiwari, G. N., & Sahota, L., Advanced Solar-Distillation Systems: Basic Principles, Thermal Modeling, and Its Application, Springer, Singapore, 2017.

[4] J. A. Duffie, W. A. Beckman, and N. Blair, Solar Engineering of Thermal Processes, 5th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2020.

[5]Perlin, J., A History of Solar Power, New World Library, (2013).

[6]Perlin, J., Let It Shine: The 6000-Year Story of Solar Energy, New World Library, (2013).

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

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

“ [16]Renewable Energy from Hydroelectricity (Hydro Power)”, Climate Change Challenge, [Online: sotor.com], (2023).

[17] V. P. Katekar and S. S. Deshmukh, "Techno-economic review of solar distillation systems: A closer look at the recent developments for commercialisation," Journal of Cleaner Production, vol. 294, Art. no. 126289, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126289.

[18]Belhadj, M. M., Bouguettaia, H., Marif, Y., & Zerrouki, M. (2015)

Numerical study of a double-slope solar still coupled with capillary film condenser in south AlgeriaEnergy Conversion and Management, 94, 245–252

[19]Hadoud, Z., & Chebabhi, S. (2020).Distillation de l’eau par énergie solaire et étude de l’influence du gradient de température sur le rendement d’un distillateur solaire à effet de serre.Mémoire de Master, Université de M’sila, Faculté de Technologie, Algérie.

[9] J. A. Duffie, W. A. Beckman, and N. Blair, Solar Engineering of Thermal Processes, 5th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2020.

[10] T. M. Letcher, Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet, 3rd ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2020.

[11] World Health Organization (WHO), Guidelines for Drinking-water Quality, 4th ed., incorporating the 1st and 2nd addenda. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2022.

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

[20] M. A. Tony and H. A. Nabwey, "Recent advances in solar still technology for solar water desalination," Applied Water Science, vol. 14, Art. no. 147, 2024, doi: 10.1007/s13201-024-02188-1.

“ [21]Hydroelectric Power Water Use”, USGS, [Online: sotor.com], (2023).

[22] F. A. Essa, A. Abdullah, H. S. Majdi, A. Basem, and H. A. Dhahad, "Parameters Affecting the Efficiency of Solar Stills—Recent Review," Sustainability, vol. 14, no. 17, Art. no. 10668, 2022, doi: 10.3390/su141710668.

[23]Article, "INCI Solar: Solar Water Heater & PV Manufacture Company", (2023).

[25]Article, "INCI Solar: Solar Water Heater & PV Manufacture Company", (2023).

[32]Cournoyer, A., & Bazinet, L. (2023).
Electrodialysis processes: An answer to industrial sustainability and eco-circular economy? A review.
Membranes, 13(2), 205.

[33]Rahman, M. S. (Ed.), Handbook of Food Preservation, 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2020.

الفصل الثالث

دراسة التحويل الحراري
عبر زجاج المقطر الشمسي

تمهيد:

يتناول هذا الفصل عرض النتائج المتوصل إليها من الدراسة التجريبية التي أُجريت على ثلاث مقطرات شمسية، أحدها مقطر شاهد، في حين خضع المقطران الآخران لبعض التحسينات المقترحة. كما يشمل هذا الفصل مختلف البروتوكولات التجريبية وأدوات القياس المعتمدة أثناء إجراء التجارب، حيث سيتم إجراء مقارنة بين كميات الماء المقطر الناتجة عن المقطرات الثلاث، سواء المقطرين المدروسين أو المقطر الشاهد. وقد تمثلت التحسينات المطبقة في إضافة الألمنيوم إلى المقطر الأول، بينما زُوّد المقطر الثاني بمرايا جانبية، وذلك بهدف دراسة تأثير كل من الألمنيوم والمرايا الجانبية على مردود المقطر الشمسي. واستنادًا إلى النتائج المتحصل عليها، سيتم تمثيلها بيانياً على شكل منحنيات قصد تحليلها ومناقشتها ضمن هذا الفصل.

1-3 المقطر الشمسي البسيط :

1-1-3 تعريفه:

هو المقطر الأكثر استعمالا في العالم، حيث يحتوي على حوض به ماء مالح مطلي باللون الأسود من أجل التقاط أكبر كمية من الإشعاع الشمسي، ويغطى هذا الصندوق بغطاء شفاف من الزجاج ويجب أن يكون هذا الأخير مائلا لتكثيف البخار في الجزء الداخلي للغطاء [2، 25، 32].

2-1-3 مبدأ عمله.

التقطير الشمسي هو ظاهرة تجريبية لها نفس مبدأ عمل الظواهر الطبيعية. فعندما تنبعث الأشعة الشمسية على ماء البحر أو المحيطات أو الأنهار فإنها تسخن هذا الماء وهذا الأخير يتبخر ويرتفع إلى الأعلى، ثم ينتقل البخار بالرياح حتى يصل إلى مكان أكثر برودة فيتكثف وتتشكل السحب، وبعد ذلك ينزل مطرا أو ثلجا أوبردا [28]

3-1-3 طريقة عمله:

- يسخن الإشعاع الشمسي الساقط الماء المالح الموجود داخل المقطر.

- يتبخر الماء المالح.

- ينتقل البخار بالحمل الحراري نحو سقف المقطر الزجاج).

- يتكاثف البخار على سطح الزجاج مشكلا قطرات ماء عذب تنزلق بتأثير ثقلها في وعاء تجميع الماء المقطر

4-1-3 مكوناته

المقطر الشمسى المستعمل في هذه التجربة هو المقطر ذو الميل الواحد ويتكون مما يلي

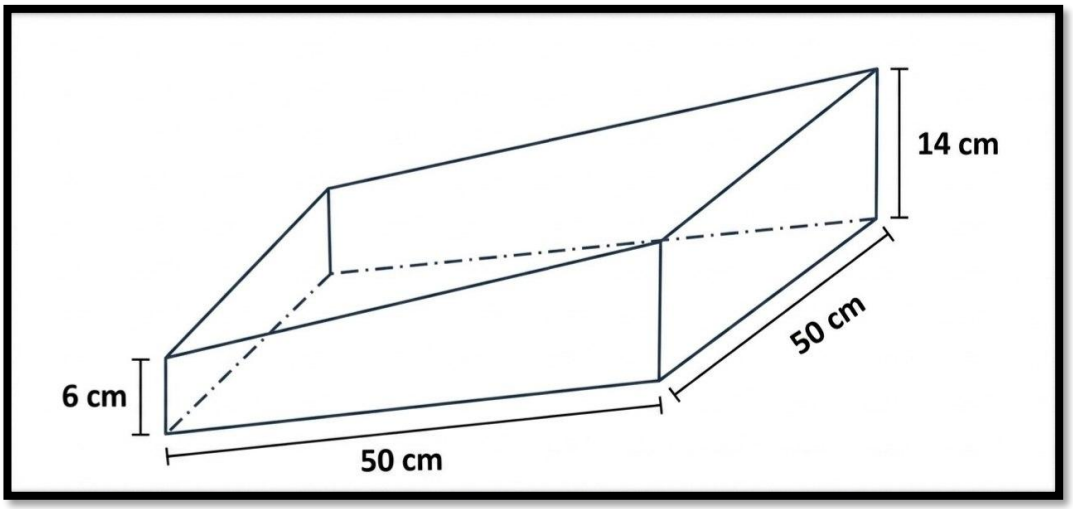
❖ الهيكل الخارجي (الصندوق):

يكون مصنوع من مادة عازلة الخشب)، وهو أحد أهم المكونات يتم على مستواه وضع الماء المراد تقطيره وتطلى قاعدته وجوانبه باللون الأسود.

ويكون وفق الأبعاد التالية:

- الطول 50cm
- العرض 50cm

- مساحة الحوض $2500cm^2$
- السمك : 2cm
- الارتفاع الأماميcm6 :
- الارتفاع الخلفي: 14cm
- زاوية الميل 10°



الشكل (3-1): رسم تخطيطي للهيكل الخارجي.

❖ الغطاء الزجاجي

يكون من الزجاج العادي الموجود في أسواق المنطقة، شفاف يسمح بتمرير أكبر قدر من الإشعاع الشمسي وتكون أبعاده كالتالي:

- الطول : 51cm
- العرض 50cm
- السمك 3mm

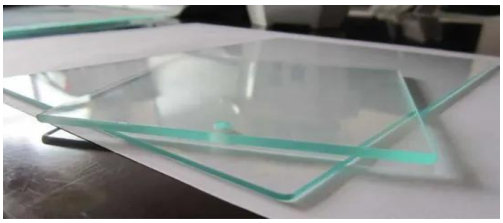
❖ أنبوب تجميع المياه

هو عبارة عن أنبوب بلاستيكي قطره 2.5 cmيكون مثقوب طوليا، يسمح بدخول جزء من الزجاج لتنزل قطرات الماء المتكاثفة على مستوى الأنبوب وتتجمع فيه لتعبر إلى إناء خاص بتجميع الماء المقطر.

3-3 المكونات اللازمة لتصنيع المقطر الشمسى البسيط :

الجدول التالي يحتوي على المواد الأولية لصنع المقطر الشمسي البسيط بميل واحد، وقد تم اختيار هذه المكونات بناء على وفرتها في السوق المحلي وانخفاض تكلفتها.

الجدول (3-1): الأدوات اللازمة لصناعة المقطر.

الصورة	الاسم	الابعاد	الكمية
	صندوق من الخشب	L=50cm H1=14cm H2=6cm 50cmx50cm E=2cm	5 ألواح
	قطعة زجاجية	51cm×50cm E=3mm	01
	أنبوب pvc	L=60cm Diam=25mm	01
	كوع 90° مع أنبوبين pvc	Diam=25mm Diam=25mm L=10cm	01
	صمغ عادي أسود اللون		01
	علبة طلاء سوداء وعلبة طلاء بيضاء		01

	قارورة		01
	قمع		01
	مسامير		100g
	غراء لاصق		01
	ميزان مائي		01
	مطرقة		01
	منشار		01
	مثقاب كهربائي		01

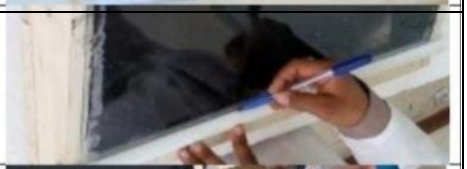
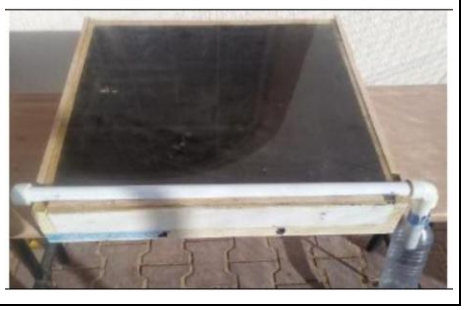
	منشار كهربائي		01
	كلابة ،مفك،أداة برد		01
	فرشاة		01

4-3 خطوات تصنيع المقطر الشمسي البسيط:

صنع مقطر شمسي ليس بالأمر الصعب لأن المواد اللازمة لصنعه متوفرة في السوق المحلية الجدول (13)، والجدول التالي يوضح خطوات التصنيع

الجدول (3-2): مراحل تصنيع المقطر الشمسي البسيط.

الصورة	الشرح
	بعد قطع الأخشاب وفق القياسات المطلوبة نقوم بتركيبها بالمسامير لتشكيل صندوق خشبي كما هو موضح في الشكل المقابل.
	نقوم بطلاء قاعدة الصندوق الخشبي والجوانب باللون الأسود لامتصاص أكبر قدر من الإشعاع الشمسي.
	نقوم بإحداث ثقبين على مستوى الاتجاه الأمامي الجانبين بواسطة ثاقبة الخشب ويكون على شكل نصف دائرة بحيث يمكن تثبيت الأنبوب على مستواه.
	نقوم بوضع أنبوب التجميع في الثقبين بالتوازي مع اللوحة المواجهة.

نستعمل الميزان المائي لأجل معرفة مدى توازن الأنبوب على الثقبين.	
نقوم بوضع الغطاء الزجاجي داخل أنبوب التجميع وذلك بجعل فتحة في الأنبوب على طول الزجاج	
نضع الأنبوب في موضعه ونزيح إليه الزجاج ثم نسطر خطين متباعدين قليلا بحيث يمكن أن يدخل الغطاء الزجاجي على مستواه بعد ثقبه.	
نقوم بثقب الأنبوب البلاستيكي كي يدخل فيه الماء المتكاثف عبر السطح الداخلي للغطاء الزجاجي.	
ندخل الغطاء الزجاجي داخل الأنبوب البلاستيك لكي تنزلق قطرات الماء المتكاثفة وتسقط ثقلها داخل الأنبوب.	
نقوم بتركيب كوع في آخر الأنبوب بالإضافة إلى أنبوب آخر صغير لكي يسمح بانتقال الماء من المقطر إلى الإناء.	
نقوم بطلاء المقطر من الخارج بأي لون يرغب به الصانع.	
وأخيرا نتحصل على المقطر الشمسي بميل واحد.	

3-5أجهزة وأدوات القياس المستعملة في التجربة:

3-5-1 جهاز متعدد القياسات:

هو عبارة عن جهاز يمكن بواسطته قياس كل من التوتر، شدة التيار الكهربائي، المقاومة بالإضافة إلى وظائف أخرى تختلف من جهاز إلى آخر كتعيين درجة الحرارة، قياس التردد، تحديد نوعية الترانزيستور، كشف الصمام الثنائي... يلعب هذا الجهاز دور الفولط متر، الأمبير متر والأوم متر ... كما هو موضح في الصورة التالية:

الشكل(3-2): جهاز متعدد القياسات

3-5-2 بيرانومتر:

هو عبارة عن جهاز يستعمل لقياس شدة الإشعاع الشمسي.

3-5-3 جهاز الـ PH متر:

الشكل (3-3): جهاز قياس pHمتر

4-5-3 جهاز قياس الناقلية الكهربائية:

الشكل(3-4): جهاز قياس الناقلية الكهربائية

5-5-3 الأنبوب المدرج:

نستعمل الأنبوب المدرج لقياس كمية الماء المقطر الناتج عند كل ساعة.

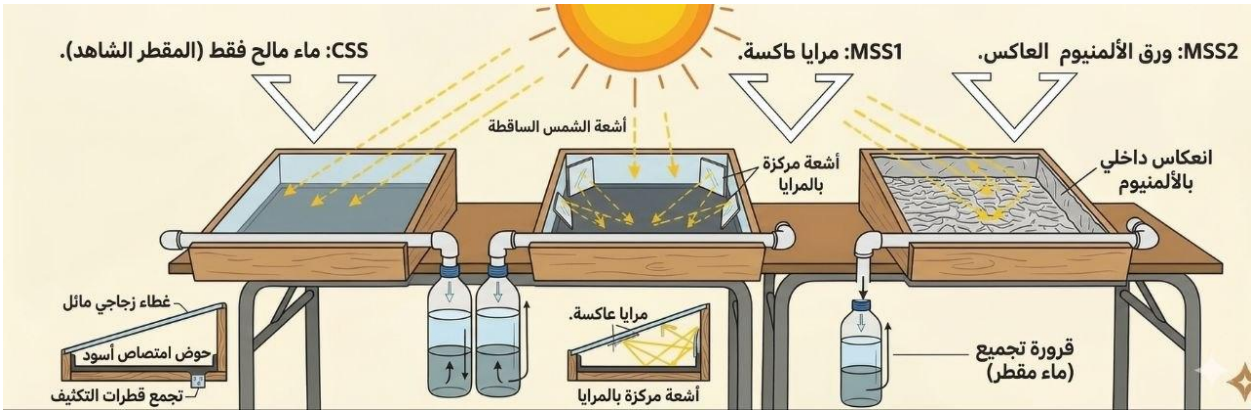
الشكل(3-5): انبوب مدرج

6-3 الخطوات التجريبية:

1-6-3 التجربة الأولى:

أُجريت التجربة الأولى بتاريخ 26 أفريل 2026 بولاية الوادي، حيث تم تعريض ثلاث مقطرات شمسية مسطحة لأشعة الشمس تحت نفس الظروف المناخية، بعد تزويد كل مقطر بكمية ماء قدرت بـ 2.5 لتر. وتم خلال التجربة قياس كل من درجة حرارة الغطاء الزجاجي الداخلي والخارجي، ودرجة حرارة الماء والهواء المحيط، بالإضافة إلى قياس كمية الماء المقطر المنتجة، وذلك على فترات زمنية منتظمة كل ساعة ابتداءً من الساعة 08:00 صباحًا إلى غاية 18:00 مساءً.

وهدفت هذه التجربة إلى التحقق من مدى تشابه أداء المقطرات الثلاث، حيث أظهرت النتائج المتحصل عليها أن مردودها متقارب بدرجة كبيرة، مما يسمح باعتماد أحدها كمقطر شاهد، في حين يتم إدخال تحسينات على المقطرين الآخرين، وذلك بإضافة مرايا جانبية لأحدهما وأوراق الألمنيوم للآخر، قصد دراسة تأثير هذه التعديلات على مردود المقطر الشمسي.



الشكل (3-6) : تجربة الفصل

3-7 النتائج التجريبية:

الجدول (3-3): الأحوال الجوية للتجربة.

شروق الشمس	05 :24
غروب الشمس	07 :37
درجة حرارة الجو	24 C° - 38 C°
الرطوبة	20%
الرياح	6 Km/h

ولقد تم أيضا قياس pH و الناقلية الكهربائية للماء المستعمل قبل وبعد التجربة في ولاية الوادي ويلخص الجدول (3-4) النتائج المتحصل عليها.

الجدول (3-4): نتائج تحليل الماء المستعمل.

الماء المالح	الماء المقطر
pH=7.92	pH=7.05
$\sigma = 10185\ \mu s/cm$	$\sigma = 28\ \mu s/cm$

3-8 تحليل النتائج :

تم خلال هذه التجربة أخذ القياسات التالية وذلك خلال يوم كامل من 08 :00 إلى غاية الساعة 18 :00

- الإشعاع الشمسي.
- درجات الحرارة لكل من السطحين الداخلي والخارجي للزجاج، والماء المالح في الحوض.
- كمية الماء المقطر الناتجة.

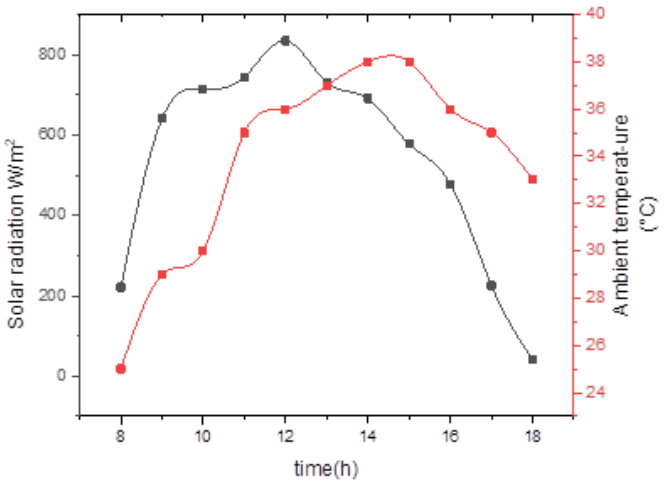
3-8-1 شدة الإشعاع الشمسي مع تطور درجة حرارة الجو :

يمثل الشكل (3-7) منحنى تغيرات شدة الإشعاع الشمسي مع تطور درجة حرارة الجو بدلالة الزمن يوم التجربة، حيث نلاحظ أن قيمة الإشعاع عند الساعة 8:00 صباحا كانت $220.9\ w/m^2$ ثم بدأت في الزيادة إلى أن وصلت إلى قيمة أعظمية $835.1\ w/m^2$ وذلك عند الساعة 12 :00 حيث كانت أشعة الشمس في أوجها ثم تناقصت مع مرور الزمن إلى أن بلغت $40.7\ w/m^2$ وذلك عند الساعة 18:00

ولدرجة حرارة الجو تأثير كبير في عملية التقطير، حيث يكمن تأثيرها الكبير على الزجاج الخارجي وعلى عملية الانتقال الحراري بالحمل الطبيعي و القسري أو معا. حيث نلاحظ أن درجة الحرارة عند الساعة 8:00 كانت 25 C° ثم تزداد مع مرور الزمن إلى أن بلغت قيمة أعظمية في حدود 38 C° عند الساعة 14 :00 لأن أشعة الشمس كانت قوية ثم تناقصت عند الساعة 18 :00 إلى 33 C°

يفسر هذا السلوك بأن شدة الإشعاع الشمسي ترتفع تدريجياً من الصباح إلى غاية الظهيرة بسبب ازدياد ارتفاع الشمس في السماء، مما يؤدي إلى زيادة كمية الطاقة الشمسية الساقطة على السطح، لذلك بلغت قيمتها العظمى عند منتصف النهار. بعد ذلك تبدأ بالانخفاض تدريجياً نتيجة انخفاض زاوية سقوط الأشعة واقتراب غروب الشمس.

أما درجة حرارة الجو فترتفع تبعاً لارتفاع شدة الإشعاع الشمسي، لكن وصولها إلى القيمة العظمى يكون متأخراً نسبياً بسبب القصور الحراري، حيث يستمر الهواء والأسطح المحيطة في امتصاص وتخزين الحرارة حتى بعد انخفاض الإشعاع. كما أن درجة حرارة الجو تؤثر مباشرة على عملية التقطير من خلال تأثيرها على انتقال الحرارة وعلى درجة حرارة الزجاج الخارجي، مما ينعكس على كفاءة التبخر والتكاثف داخل المقطر الشمسي .



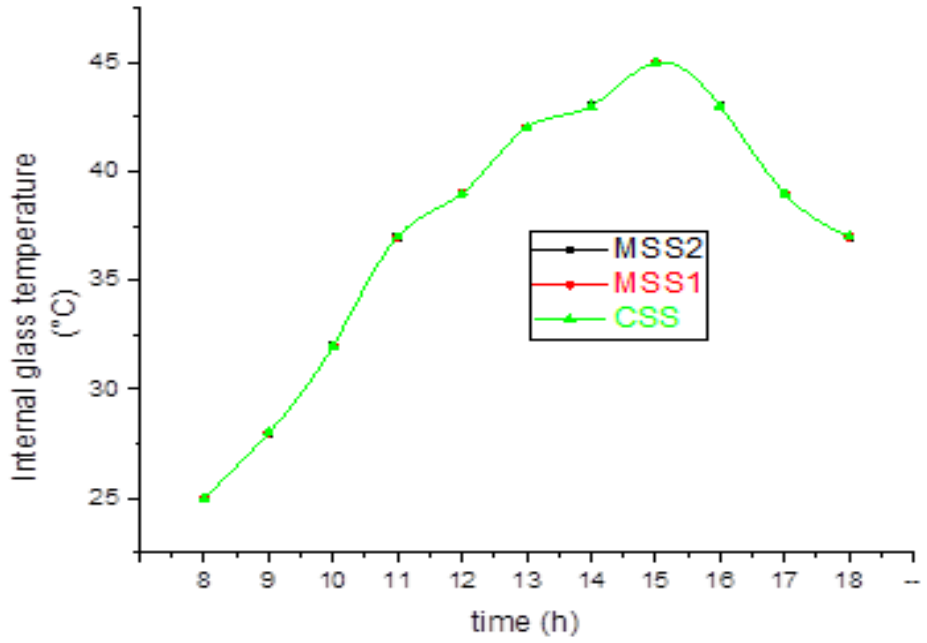
الشكل (3-7): منحنى تغيرات شدة الإشعاع الشمسي مع تطور درجة حرارة الجو بدلالة الزمن

2-8-3 تطور درجة حرارة الزجاج من الخارج :

درجة حرارة الجو عامل من العوامل المؤثرة في عملية التقطير الشمسي.

يمثل الشكل (3-8) تغيرات درجة حرارة الزجاج الخارجية للمقطرات (شاهد والمدروسين) بدلالة الزمن، حيث نلاحظ في بداية التجربة عند الساعة 8:00 كانت درجة الحرارة 25 C° بالنسبة للمقطرات، ثم تبدأ هذه القيمة في الزيادة مع مرور الزمن لتبلغ قيمة أعظمية عند الساعة 14:00فتكون 38 C° بالنسبة للمقطرات الثلاثة ثم تتناقص إلى أن تصل 33 C° نلاحظ عموما أن درجة حرارة الزجاج الخارجية متقاربة إلى حد كبير بالنسبة للمقطرات مع تطابق درجات الحرارة عند الساعة 8:00 و 9:00 واختلاف طفيف عند الساعة 10:00.

يرجع ارتفاع درجة حرارة الزجاج الخارجية للمقطرات مع الزمن إلى زيادة شدة الإشعاع الشمسي وارتفاع درجة حرارة الجو خلال ساعات النهار، حيث تمتص الأسطح الزجاجية كمية أكبر من الحرارة فتزداد حرارتها تدريجيًا إلى غاية بلوغ القيمة العظمى عند الساعة 14:00. بعد ذلك تبدأ درجة الحرارة في الانخفاض نتيجة تناقص شدة الإشعاع الشمسي وفقدان الحرارة نحو الوسط الخارجي. كما أن تقارب درجات الحرارة بين المقطرات يدل على تعرضها لنفس الظروف المناخية، أما الاختلاف الطفيف المسجل عند الساعة 10:00 فيعود إلى اختلاف بسيط في امتصاص وانتقال الحرارة بين المقطرات

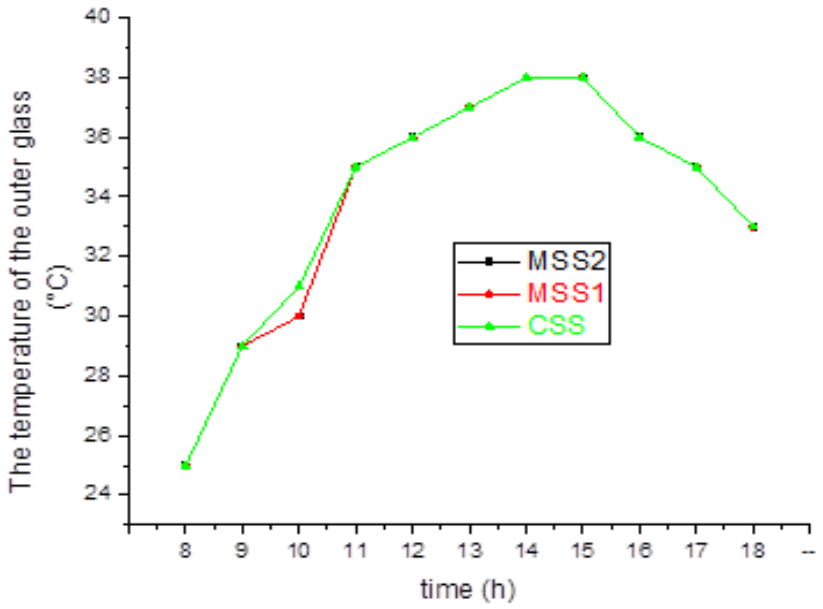


الشكل (3-8) : منحنى تغيرات درجة حرارة الزجاج الخارجية للمقطرات(شاهد والمدروسين) بدلالة الزمن.

3-8-3 تطور درجة حرارة الزجاج من الداخل :

يمثل الشكل (3-9) تغيرات درجة حرارة الزجاج الداخلية للمقطرات (شاهد و المدروسين) بدلالة الزمن، حيث نلاحظ في بداية التجربة عند الساعة 8:00 كانت درجة الحرارة 25 C° بالنسبة للمقطرات، ثم تبدأ هذه القيمة في الزيادة مع مرور الزمن لتبلغ قيمة أعظمية عند الساعة 15:00 فتكون 45 C° بالنسبة للمقطرات الثلاثة ثم تتناقص إلى أن تصل 37 C° . نلاحظ عموما أن درجة حرارة الزجاج الخارجية للمقطرين المدروسين أكبر منها عند المقطر الشاهد. تنتقل الحرارة عبر الزجاج بالتوصيل الحراري الذي يعتمد على علاقة Fourier تنتقل الحرارة ما بين الماء بظاهرة الحمل وفق مبدأ Newton، وقد يكون هذا الحمل طبيعي أو قسري أو معا.

يرجع ارتفاع درجة حرارة الزجاج الداخلية مع الزمن إلى زيادة شدة الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الماء والهواء داخل المقطر وبالتالي تسخين الزجاج الداخلي. وتبلغ درجة الحرارة قيمتها العظمى عند الساعة 15:00 بسبب تراكم الطاقة الحرارية داخل المقطر. بعد ذلك تبدأ درجة الحرارة في الانخفاض نتيجة انخفاض شدة الإشعاع الشمسي وفقدان الحرارة نحو الوسط الخارجي. كما أن ارتفاع درجة حرارة الزجاج الداخلية في المقطرين المدروسين مقارنة بالمقطر الشاهد يدل على كفاءة أكبر في امتصاص وتخزين الحرارة داخل المقطرين المدروسين.

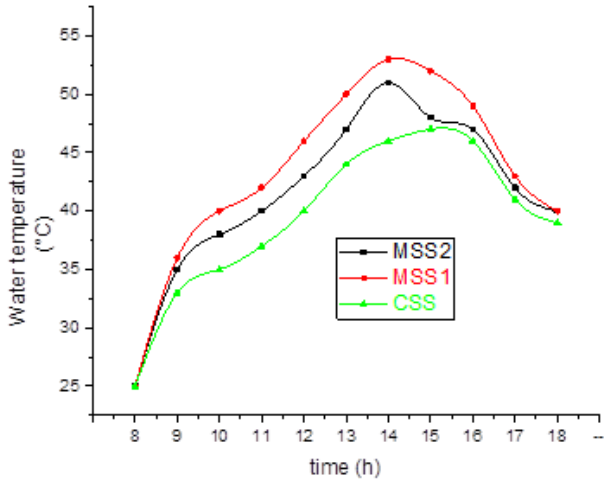


الشكل (3-9): منحنى تغيرات درجة حرارة الزجاج الداخلية للمقطرات (شاهد و المدروسين) بدلالة الزمن.

4-8-3 درجة حرارة الماء :

يمثل الشكل (3-10) تغيرات درجة حرارة الماء المالح داخل المقطرات بدلالة الزمن حيث نلاحظ أنهم انطلقو من نفس درجة الحرارة ، ثم تبدأ هذه القيمة في الزيادة مع مرور الزمن لتبلغ قيمة أعظمية عند الساعة 14:00 فتكون 53 C° بالنسبة للمقطر المدروس الاول و 51 C° بالنسبة للمقطر المدروس الثاني و 46 C° بالنسبة للمقطر الشاهد ثم تتناقص إلى أن تصل 40 C° بالنسبة للمدروسين و39 C° بالنسبة للشاهد. نلاحظ عموما أن درجة حرارة الماء المالح للمقطرين المدروسين أكبر منها عند المقطر الشاهد ويعود هذا لوجود المرايا العاكسة وورق الالمنيوم المثبتة على المقطرين المدروسين والتي لها مميزات في زيادة مساحة التقاط الإشعاع الشمسي من جهة ومضاعفة فترة تخزين الطاقة الحراري من جهة أخرى، فبذلك تزداد درجة حرارة ماء المقطر المدروس.

يعود ارتفاع درجة حرارة الماء المالح داخل المقطرات مع الزمن إلى زيادة شدة الإشعاع الشمسي خلال النهار، حيث تمتص المياه كمية أكبر من الطاقة الحرارية فتزداد درجة حرارتها تدريجياً إلى غاية الساعة 14:00، ثم تنخفض بعد ذلك بسبب تناقص الإشعاع الشمسي وفقدان الحرارة نحو الوسط الخارجي. كما أن ارتفاع درجة حرارة الماء المالح في المقطرين المدروسين مقارنة بالمقطر الشاهد يرجع إلى وجود المرايا العاكسة وورق الألمنيوم اللذين يساهمان في زيادة امتصاص وتخزين الطاقة الحرارية وتقليل ضياعها، مما يؤدي إلى تسخين الماء بدرجة أك



الشكل (3-10): منحنى تغيرات درجة حرارة الماء المالح داخل المقطرات بدلالة الزمن.

5-8-3 تطور كمية الماء المقطر:

يمثل الشكل (3-11) منحنى تغيرات يوضح تغير كمية الماء المقطر المنتجة من طرف المقطرات الثلاثة (المقطر الشاهد والمقطران المدروسان) بدلالة الزمن. نلاحظ أنه عند الساعة 8:00 لم يتم تسجيل أي كمية من الماء المقطر بالنسبة لجميع المقطرات. ابتداءً من الساعة 9:00 بدأت كمية الماء المقطر في الارتفاع تدريجيًا مع مرور الوقت.

بالنسبة للمقطر المدروس الأول، استمرت كمية الماء المقطر في التزايد إلى غاية الساعة 14:00 حيث بلغت القيمة العظمى المقدرة بـ 135، ثم بدأت في الانخفاض تدريجيًا لتصل إلى 90 ml عند الساعة 18:00.

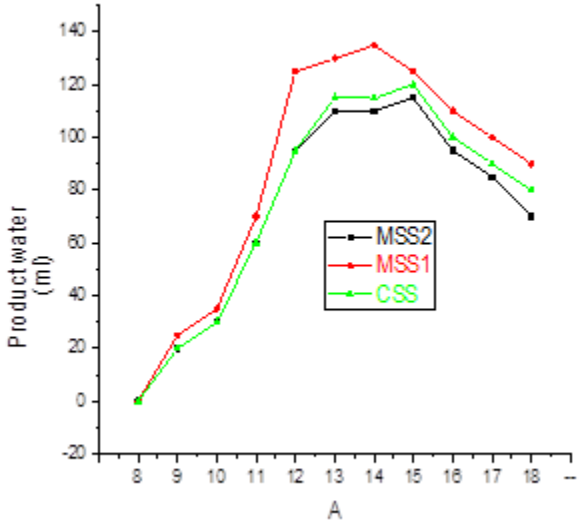
أما المقطر المدروس الثاني فقد سجل قيمة عظمى قدرت بـ 115 ml عند الساعة 15:00، وبعدها بدأت كمية الماء المقطر في التناقص تدريجيًا حتى بلغت 70 ml عند الساعة 18:00.

في حين أن المقطر الشاهد سجل قيمة قصوى بلغت 120 ml عند الساعة 15:00، وهي قيمة أقل من تلك المسجلة للمقطر المدروس الأول، لكنها أكبر من القيمة المسجلة للمقطر المدروس الثاني، ثم انخفضت كمية الماء المقطر تدريجيًا لتصل إلى 80ml عند الساعة 18:00.

وبصفة عامة، يتضح أن إنتاجية المقطر المدروس الأول كانت الأعلى مقارنة بالمقطر الشاهد، في حين كانت إنتاجية المقطر المدروس الثاني أقل من إنتاجية المقطر الشاهد.

يُفسَّر ازدياد كمية الماء المقطر مع مرور الزمن بارتفاع شدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة داخل المقطرات، مما يؤدي إلى تسخين الماء المالح وزيادة معدل التبخر، وبالتالي تزداد كمية بخار الماء المتكاثف والمجمع على شكل ماء مقطر. وتبلغ الإنتاجية قيمتها العظمى خلال فترة الظهيرة بسبب وصول درجات الحرارة وشدة الإشعاع إلى أعلى مستوياتها، ثم تبدأ في الانخفاض تدريجيًا مع تراجع الإشعاع الشمسي وانخفاض درجات الحرارة في المساء، مما يقلل من معدل التبخر والتكاثف.

كما يُلاحظ أن المقطر المدروس الأول حقق أعلى إنتاجية مقارنة بالمقطرين الآخرين، ويعود ذلك إلى فعالية التعديلات أو الخصائص المدروسة فيه، والتي ساعدت على تحسين امتصاص الحرارة ورفع درجة حرارة الماء وبالتالي زيادة معدل التبخر. أما المقطر المدروس الثاني فقد كانت إنتاجيته أقل من المقطر الشاهد، مما يدل على أن التعديل المطبق فيه لم يكن بنفس الكفاءة، أو أنه ساهم في فقدان جزء من الطاقة الحرارية، الأمر الذي انعكس سلبًا على كمية الماء المقطر المنتجة.



الشكل (3-11) : منحنى تغيرات كمية الماء المقطر المنتجة من المقطرات(شاهد و المدروسين) بدلالة الزمن.

6-8-3 مقارنة مردود المقطرات الشمسية باستخدام المرايا العاكسة وورق الألمنيوم:

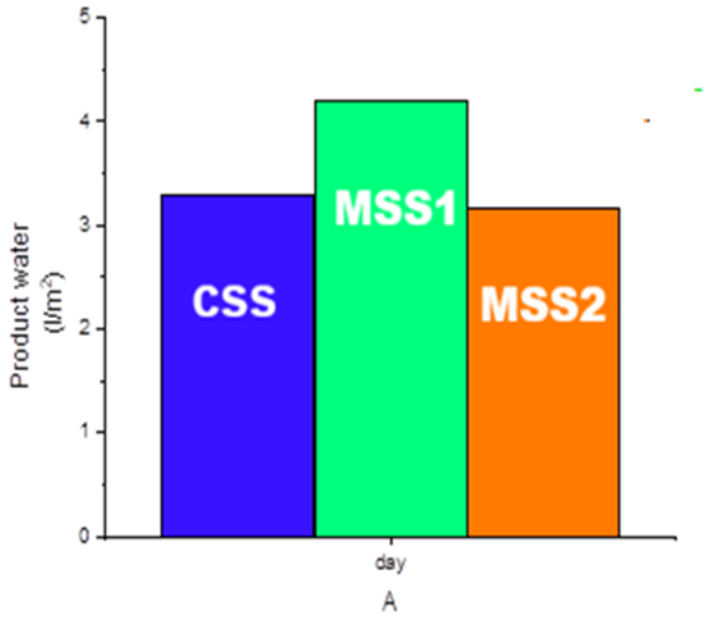
تُظهر النتائج التجريبية وجود اختلاف واضح في كمية الماء المقطر المنتجة بين أنواع المقطرات الشمسية الثلاثة. فقد حقق المقطر الشمسي الأول المدروس المزود بالمرايا العاكسة أعلى إنتاجية للماء المقطر مقارنة بالمقطر الشاهد، حيث ساهمت المرايا العاكسة في زيادة تركيز الإشعاع الشمسي ورفع درجة حرارة الحوض، مما أدى إلى زيادة معدل التبخر وبالتالي تحسين مردود التقطير.

أما المقطر الشمسي الشاهد فقد سجل إنتاجية متوسطة، إذ اعتمد فقط على الإشعاع الشمسي المباشر دون أي وسائل إضافية لتحسين امتصاص أو انعكاس الحرارة.

في المقابل، أظهر المقطر الشمسي الثاني المدروس المزود بورق الألمنيوم إنتاجية أقل من المقطر الشاهد، ويُفسَّر ذلك بأن ورق الألمنيوم لم يحقق انعكاسًا حراريًا فعالًا بالشكل المطلوب، مما أدى إلى انخفاض كمية الحرارة الممتصة داخل المقطر وبالتالي تقليل معدل التبخر وإنتاج الماء المقطر.

وبالتالي يمكن ترتيب أداء المقطرات من حيث الإنتاجية كما يلي:

المقطر بالمرايا العاكسة (MSS1) > المقطر الشاهد (CSS) > المقطر بورق الألمنيوم (MSS2).



الشكل (3-12): اعمدة بيانية تمثل مقارنة كمية الماء المقطر المنتجة بين المقطر الشاهد والمقطرات المدروسة.

9-3 الخاتمة:

بعد تحليل النتائج التجريبية المتحصل عليها، يمكن استنتاج أنه كلما ازداد امتصاص الإشعاع الشمسي، يزداد الفرق الحراري بين الماء والزجاج الداخلي للمقطر، مما يؤدي بدوره إلى ارتفاع كمية الماء المقطر المنتَج.

وقد بينت التجربة أن إضافة المرايا العاكسة وورق الألمنيوم كان لها تأثير متفاوت؛ حيث ساهمت المرايا العاكسة في تحسين أداء المقطر بشكل واضح من خلال زيادة مساحة استقبال الإشعاع الشمسي وتعزيز تخزين الطاقة الحرارية. في المقابل، لم يُظهر ورق الألمنيوم تأثيرًا إيجابيًا ملحوظًا في زيادة امتصاص الإشعاع أو تحسين القدرة على التخزين.

وبناءً على ذلك، نستنتج أن المقطر المدروس الأول (المزود بالمرايا العاكسة) كان أفضل من المقطر الشاهد بنسبة تقارب 27%، بينما كان أداء المقطر المدروس الثاني (ورق الألمنيوم) أقل من المقطر الشاهد بنسبة تقارب 4-%.

-المدروس الثاني القيمة بالسالب الان الالمنيوم لايعكس الاشعاع و لايمتص الحرارة في حين ان الشاهد مغلف بالسيلكون الأسود يمتص الحرارة .

قائمة مراجع الفصل الثالث :

[2]Kumar, H. A., Venkateswaran, H., Kabeel, A. E., Chamkha, A. J., Athikesavan, M. M., Sathyamurthy, R., & Kasi, K. (2021). Recent advancements, technologies, and developments in inclined solar still: A comprehensive review. Environmental Science and Pollution Research, 28(27), 35346–35375.

[25] د. سهيل فاضل، الياس الكبة، "الطاقة الشمسية وتطبيقاتها"، دار الحداثة للطباعة والنشر والتوزيع، بيروت، لبنان، ص ب 5636/14.

[28]Singh, S. K., Kaushik, S. C., Tyagi, V. V., & Tyagi, S. K. (2021). Comparative Performance and Parametric Study of Solar Still: A Review. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 47, 101541.

[32] Al-Obaidi, M. A., Zubo, R. H. A., Rashid, F. L., Dakkama, H. J., Abd-Alhameed, R., & Mujtaba, I. M. (2022). Evaluation of Solar Energy Powered Seawater Desalination Processes: A Review. Energies, 15(18), 6562.

الخاتمة العامة

يُعدّ التقطير الشمسي من أبسط التقنيات المستخدمة في تحلية المياه، إذ يتميز بسهولة استعماله وفعاليته وانخفاض تكلفته، خاصة في المناطق التي تعاني من ندرة المياه الصالحة للشرب. وتتأثر مردودية المقطر الشمسي بعدة عوامل داخلية وخارجية، ومن أبرز العوامل الخارجية الإشعاع الشمسي الذي تزداد المردودية بزيادته، إضافة إلى الرياح والتيارات الهوائية التي تساهم في رفع معدل التبخر وتبريد الغطاء الزجاجي، مما يؤدي إلى زيادة الفرق في درجات الحرارة بين الماء والسطح الداخلي للزجاج وبالتالي تحسين عملية التكثيف. كما يؤثر عمق الماء داخل الحوض على الإنتاجية، إذ إن زيادة العمق تؤدي إلى انخفاض المردود. ومن العوامل الداخلية المهمة كذلك نوعية المياه المالحة ودرجة ملوحتها، حيث تختلف النتائج تبعًا لاختلاف نسبة الأملاح.

ونظرًا لمشكلة نقص المياه الصالحة للشرب التي تعاني منها منطقة الوادي، بسبب اعتمادها على المياه الجوفية المالحة، يضطر معظم السكان إلى إنفاق مبالغ معتبرة للحصول على المياه المحلاة. ومن هذا المنطلق جاءت فكرة توفير مياه الشرب محليًا وبأقل تكلفة ممكنة باستعمال المقطر الشمسي البسيط. إلا أن انخفاض مردوديته شكّل عائقًا، مما دفع بعض الباحثين إلى اقتراح دراسة ثلاث مقطرات شمسية متشابهة وُضعت تحت نفس الظروف المناخية؛ أحدها مقطر شاهد، بينما أضيفت تحسينات على المقطرين الآخرين، حيث زُوّد الأول بمرايا عاكسة داخل الحوض، والثاني بورق الألمنيوم، بهدف تحسين عملية التبخر وزيادة الإنتاجية.

وقد أُجريت التجربة في ظروف مناخية مناسبة، حيث عُرضت المقطرات الشمسية لأشعة الشمس من الساعة الثامنة صباحًا إلى السادسة مساءً تحت نفس الظروف، لضمان الحصول على نتائج دقيقة وموثوقة. وأظهرت النتائج أن كمية الماء المقطر المنتجة من المقطر المزود بالمرايا العاكسة كانت أكبر مقارنة بالمقطر الشاهد، في حين أن المقطر المزود بورق الألمنيوم أعطى كمية أقل من الماء المقطر مقارنة بالمقطر الشاهد.

ويُعزى ذلك إلى قدرة المرايا العاكسة على امتصاص وعكس الإشعاع الشمسي بكفاءة، مما ساهم في رفع درجة حرارة الماء المالح وزيادة كمية بخار الماء المتشكل داخل المقطر، بينما لم يُظهر ورق الألمنيوم الكفاءة نفسها في امتصاص الإشعاع الشمسي، الأمر الذي انعكس سلبًا على مردودية المقطر. وعليه، فقد أثبتت المرايا العاكسة فعاليتها في تحسين أداء المقطر الشمسي، في حين أعطى استعمال ورق الألمنيوم نتائج سلبية.

وفي إطار الدراسات المستقبلية، يُقترح الاعتماد على المرايا العاكسة لزيادة استغلال الإشعاع الشمسي وتعزيز قدرة تخزين الحرارة، بهدف تحسين مردودية المقطرات الشمسية والحصول على نتائج أفضل.

الملخص

يُعدّ الماء أساس الحياة، وقد ارتبطت نشأة الحضارات وتطورها بتوفر مصادر المياه. ومع تزايد الطلب على المياه العذبة وندرة الموارد المائية في العديد من المناطق، أصبحت تحلية المياه المالحة من الحلول الواعدة لتوفير مياه صالحة للشرب.

تهدف هذه الدراسة إلى تحسين أداء المقطر الشمسي التقليدي من خلال استخدام وسائل بسيطة ومنخفضة التكلفة، تتمثل في المرايا العاكسة وورق الألمنيوم، بهدف زيادة كفاءة المقطر الشمسي ذي الميل الواحد ورفع إنتاجيته. ولتحقيق ذلك، تم تصميم ثلاثة مقطرات شمسية؛ الأول استُخدم كمقطر مرجعي دون أي تحسينات، بينما زُوّد المقطران الثاني والثالث بالمرايا العاكسة وورق الألمنيوم على التوالي. وقد أُجريت الدراسة في ولاية الوادي بالجنوب الشرقي الجزائري نظرًا لملاءمة ظروفها المناخية.

وتسعى هذه الدراسة إلى تقديم حل عملي واقتصادي لتحلية المياه المالحة بالاعتماد على الطاقة الشمسية ومواد محلية متوفرة، بما يسهم في توفير مياه شرب آمنة، ودعم التنمية المستدامة، وتعزيز الاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة في المناطق التي تعاني من ندرة المياه.

الكلمات المفتاحية:

التقطير الشمسي، المقطر الشمسي، الطاقة الشمسية، ورق الألمنيوم، المرايا العاكسة، تحلية المياه.

Résumé:

L’eau est une ressource essentielle à la vie, et le développement des civilisations a toujours été étroitement lié à la disponibilité des ressources hydriques. Face à l’augmentation de la demande en eau potable et à la raréfaction des ressources en eau douce dans plusieurs régions, le dessalement des eaux salées constitue une solution prometteuse pour répondre aux besoins en eau potable.

Cette étude vise à améliorer les performances du distillateur solaire conventionnel en utilisant des moyens simples et peu coûteux, à savoir des miroirs réfléchissants et du papier d’aluminium, afin d’augmenter le rendement du distillateur solaire à simple pente. Pour ce faire, trois distillateurs solaires ont été conçus : le premier a servi de témoin sans aucune amélioration, tandis que les deuxième et troisième ont été respectivement équipés de miroirs réfléchissants et de papier d’aluminium. L’étude expérimentale a été réalisée dans la wilaya d’El Oued, au sud-est de l’Algérie, en raison de ses conditions climatiques favorables.

Cette recherche vise à proposer une solution pratique et économique pour le dessalement des eaux salées en exploitant l’énergie solaire et des matériaux locaux disponibles. Elle contribue ainsi à la production d’une eau potable sûre, au développement durable et à la valorisation des énergies renouvelables dans les régions souffrant de pénurie d’eau.

Mots-clés:

Distillation solaire, distillateur solaire, énergie solaire, papier d'aluminium, miroirs réfléchissants, dessalement de l'eau.

Abstract:

Water is the foundation of life, and the emergence and development of civilizations have always been closely linked to the availability of water resources. With the increasing demand for freshwater and the growing scarcity of water resources in many regions, desalination of saline water has become one of the most promising solutions for providing safe drinking water.

This study aims to improve the performance of the conventional solar still by using simple and low-cost enhancement techniques, namely reflective mirrors and aluminum foil, in order to increase the efficiency and productivity of a single-slope solar still. To achieve this objective, three solar stills were designed: the first served as a conventional reference still without any modifications, while the second and third were equipped with reflective mirrors and aluminum foil, respectively. The experimental study was carried out in El Oued Province, southeastern Algeria, due to its favorable climatic conditions.

The ultimate goal of this research is to develop a practical and cost-effective solution for desalinating saline water using solar energy and locally available materials. This approach contributes to providing safe drinking water, promoting sustainable development, and encouraging the utilization of renewable energy resources in water-scarce regions.

Keywords:

Solar distillation, solar still, solar energy, aluminum foil, reflective mirrors, water desalination.