وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الوادي كلية التكنولوجيا

مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستـــر أكاديمـــي

ميـــدان: العلوم والتكنولوجيا

شعبـــــة: الهندسة الميكانيكية

تخصـــــص: طاقوية

مـن اعـــداد الطلبـــة:

١- غريسي البشير

٢-بن علي ياسر

الموضـــــــوع

دراسة أداء مجفف شمسي غير مباشر لتجفيف المحاصيل الزراعية في ولاية الوادي

نوقشت في: 13 /2026/06

أمام لجنة المناقشة:

د. زبيري اسامة	رئيسا	جامعة الوادي.
د. شرف الدين مختارة	مناقشا	جامعة الوادي.
د. عون ياسين	مشرفا	جامعة الوادي.

الموسم الجامعي: 2026/2025

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وتقدير

"أنجز هذا العمل بجامعة حمة لخضر بالوادي، كلية العلوم والتكنولوجيا، قسم الهندسة الميكانيكية"

نتقدم أولًا بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى الله عز وجل على توفيقه لنا ومنحنا القوة والعزيمة لإتمام هذا العمل المتواضع

كما نتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى أستاذنا المشرف، الدكتور عون ياسين، على إشرافه القيّم، وتوجيهاته السديدة، وتواجده الدائم ومتابعته المستمرة طوال فترة إنجاز هذا العمل.

ونتقدم بالشكر الجزيل إلى أعضاء لجنة المناقشة الذين شرفونا بقبولهم لتقييم هذا العمل، وعلى ملاحظاتهم القيّمة التي ستساهم في تحسينه.

كما نشكر جميع أساتذة قسم الهندسة الميكانيكية على صبرهم وجهودهم الكبيرة، وعلى ما قدموه لنا من معارف وخبرات قيّمة طوال مسارنا الدراسي، خاصة خلال برنامج الماجستير.

ولا يفوتنا أن نتقدم بالشكر إلى جميع زملائنا وأعضاء الفريق على دعمهم ومساندتهم، وعلى روح التعاون التي سادت خلال فترة الدراسة.

كما نعبر عن امتناننا لكل من قدم لنا الدعم المعنوي وساهم في تشجيعنا خلال هذه الفترة، وشاركنا لحظات الفرح والنجاح.

وفي الختام، نسأل الله أن يجعل هذا العمل خالصًا لوجهه الكريم، وأن ينفع به الجميع

فهرس المحتويات

شكر وتقدير..... II

قائمة الأشكال والصور IV

قائمة الجداول VI

قائمة المختصرات VII

الملخص..... VIII

الفصل الأول عموميات حول الطاقة الشمسية

I.1.مقدمة: ٣

I.2. الطاقة الشمسية: ٣

I.2.١ الإشعاع الشمسي:..... ٣

I.2.٢ أنواع الإشعاع الشمسي :..... ٥

I.3. حقل الطاقة الشمسية في الجزائر:..... ٩

I.3.١. الوضع المناخي: ١١

I.4. توليد الطاقة الشمسية:..... ١٤

I.4.١. الطاقة الشمسية الكهروضوئية:..... ١٤

I.4.٢. الطاقة الشمسية الحرارية: ١٤

I.5. الخاتمة: ١٨

الفصل الثاني المجفف الشمسي الغير مباشر

II .1. المقدمة:..... ٢٠

II .2. المجفف الشمسي الغير مباشر:..... ٢٠

II .1.2.أنواع المجفف الشمسي الغير مباشر:..... ٢٠

II .2.2. دراسة ببليوغرافية:..... ٢٦

II .3.2. مزايا وعيوب التجفيف الشمسي غير المباشر:..... ٢٩

II .3. المواد القابلة للتجفيف:..... ٣٠

II .1.3. الطرفة:..... ٣١

II .2.3. الشمندر: ٣١

II .4. خاتمة: ٣٢

الفصل الثالث الدراسة التجريبية للمجفف الشمسي الغير مباشر

III.1. المقدمة:..... ٣٤

III.2. المجفف الشمسي الغير مباشر المستخدم في هذه التجربة:..... ٣٤

III.2.1.مكونات المجفف الشمسي غير مباشر: .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

III.3.المادة المستخدمة للتجفيف : ٣٨

III.4.أجهزة القياس المستخدمة :..... ٣٩

III.5.التجربة :..... ٤١

III.5.1. تجفيف الطرفة :..... ٤١

III.5.1.1. التجفيف بواسطة الفرن الكهربائي : ٤١

III.5.1.2. التجفيف بواسطة المجفف الشمسي الغير مباشر :..... ٤٢

III.5.2. تجفيف الشمندر:..... ٤٢

III.5.2.1. التجفيف بواسطة الفرن الكهربائي : ٤٢

III.5.2.2.التجفيف بواسطة المجفف الشمسي الغير مباشر :..... ٤٣

III.6. الخاتمة :..... ٤٥

الفصل الرابع النتائج والتحليل

IV.1. المقدمة:..... ٤٧

IV.2. الشروط المناخية:..... ٤٧

IV.2.1. الطاقة الشمسية: ٤٧

IV.2.2. سرعة الرياح: ٤٨

IV.2.3.الرطوبة :..... ٤٨

IV.2.4.درجة الحرارة: ٤٩

IV.3. تغير درجة الحرارة في المستقبل : ٥٠

IV.3.1. بالنسبة للطرفة : ٥٠

IV.3.2.بالنسبة للشمندر :..... ٥٣

IV.4. تغير درجة الحرارة في غرفة التجفيف :..... ٥٤

IV.4.1.بالنسبة للطرفة : ٥٤

IV.4.2.بالنسبة للشمندر :..... ٥٧

5.IV.تغير في حجم الكتلة : ٥٩
1.5.IV.بالنسبة للطرفة : ٥٩
2.5.IV.بالنسبة للشمندر : ٦٠
6.IV. الخاتمة:..... ٦٢
الخاتمة..... ٦٣
الخاتمة العامة : ٦٤
قائمة المراجع..... ٦٧

قائمة الأشكال والصور

الشكل I.١ المسافة بين الأرض والشمس ٤

الشكل I .2: الإحداثيات الهندسية.[9] ٨

الشكل I .3: خريطة العالم لمتوسط ساعات سطوع الشمس السنوية[16]. ٩

الشكل I.٤. المتوسط السنوي لإجمالي الإشعاع الشمسي الذي يتلقاه سطح مائل عند خط عرض المكان. ١٠

الشكل I.٥. التوزيع الجغرافي لمحطات الأرصاد الجوية في الجزائر. ١١

الشكل I.٦. موقع مدينة الوادي ١٢

الشكل I.٧. متوسط درجات الحرارة الشهرية في منطقة الوادي(2023-2015). ١٣

الشكل I.٨. متوسط هطول الأمطار الشهري (مم) (2015-2023) ١٣

الشكل I.٩. مجففات النفق ١٦

الشكل I.١٠. مجففات الطاقة الشمسية المباشرة (مجففات الدفيئة) ١٧

الشكل II.١. مجفف الخيمة (الوضع غير المباشر) ٢١

الشكل II.٢. مجفف الصندوق (الوضع غير المباشر).[18] ٢١

الشكل II.٣. المجفف الهزاز (الوضع غير المباشر) ٢٢

الشكل II.٤. مجفف الخزانة (الوضع غير المباشر) ٢٣

الشكل II.٥. مروحة مدعومة باللوحة الكهروضوئية ٢٤

الشكل II.٦. مجفف بالحمل الطبيعي مع معزز ٢٥

الشكل II.٧. مجفف دفيئة مزود بمدخنة. ٢٦

الشكل II.٨. مجفف شمسي غير نمطي يعمل بنظام الدوران الطبيعي المختلط ومزود بنظام تخزين حراري مدمج.[23] ٢٧

الشكل II.٩. نظام تجفيف يستخدم الماء كسائل تشغيل وتخزين ٢٨

الشكل II.١٠. التخزين المباشر المتكامل للحرارة عن طريق الإشعاع a، الحرارة الكامنة. ٢٨

الشكل II.١١. مجفف شمسي غير مباشر من نوع الدفيئة [23]. ٢٩

الصورة III.١. المجفف الشمسي غير مباشر المستخدم في هذه التجربة .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

الصورة III.٢. مكونات المجفف الشمسي المستعمل .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

الصورة III.٣. الملح ٣٥

الصورة III.٤. الحصى ٣٦

الصورة III.٥. الألمنيوم ٣٧

الصورة III.٧. الحديد ٣٧

الصورة III.٧. الطرفة ٣٨

الصورة III.٨. الشمندر ٣٩

الصورة III.٩. جهاز قياس الطاقة الشمسية .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

الصورة III.١٠. جهاز قياس الهواء .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الصورة III.١١. جهاز قياس الحرارة .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الصورة III.١٢. جهاز قياس الرطوبة .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الصورة III.١٣. جهاز قياس الكتلة ٤١
الصورة III.١٤. التجفيف بواسطة الفرن الكهربائي..... ٤١
الصورة III.١٥. التجفيف بواسطة المجفف الشمسي الغير مباشر ٤٢
الصورة III.١٦. التجفيف بواسطة الفرن الكهربائي..... ٤٣
الصورة III.١٧. التجفيف بواسطة المجفف الشمسي الغير مباشر ٤٣
الشكل IV.١. يمثل تغير شدة الطاقة الشمسية بدلالة الزمن ٤٧
الشكل IV.٣. يمثل سرعة الرياح بدلالة الزمن..... ٤٨
الشكل IV.٣. يمثل تغير الرطوبة النسبية بدلالة الزمن..... ٤٩
الشكل IV.٤. يمثل تطور درجات الحرارة بدلالة الزمن..... ٥٠
الشكل IV.٥. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في المستقبل (ألمنيوم +ملح) .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الشكل IV.٦. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في المستقبل (ألمنيوم +حصى)..... ٥١
الشكل IV.٧. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في المستقبل (حديد) ٥٢
الشكل IV.٨. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في المستقبل (حديد+ملح+ألمنيوم) **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الشكل IV.٩. يمثل تغير درجة الحرارة بلالة الزمن في المستقبل (ألمنيوم +ملح) .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الشكلIV .١٠. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في المستقبل (ألمنيوم +حصى) .**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الشكل IV.١١. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في المستقبل (حديد).....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الشكل IV.١٢. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في المستقبل (حديد+ملح+ألمنيوم)**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الشكل IV.١٣. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في غرفة التجفيف للمستقبل (ألمنيوم +ملح)**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الشكل IV.١٤. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في غرفة التجفيف للمستقبل (ألمنيوم +حصى)**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الشكل IV.١٥. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في غرفة التجفيف للمستقبل (حديد)..... ٥٦
الشكل IV.١٦. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في غرفة التجفيف للمستقبل (حديد+ملح+ألمنيوم)..... ٥٧
الشكل IV.١٧. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في غرفة التجفيف للمستقبل (ألمنيوم +ملح)**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الشكل IV.١٨. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في غرفة التجفيف للمستقبل (ألمنيوم +حصى)**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

الشكل IV.١٩. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في غرفة التجفيف للمستقبل(حديد)**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الشكل IV.٢٠. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في غرفة التجفيف للمستقبل (حديد+ملح+ألمنيوم)..... ٥٩
الشكل IV.٢١. تغير في حجم كتلة الطرفة بالنسبة للزمن..... ٦٠
الشكل IV.٢٢. يمثل تغير في حجم كتلة الشمندر بالنسبة للزمن ٦١

قائمة الجداول

الجدول I.١. قيم معاملات الاضطراب الجوي[5] ٥
الجدول I.٢. معاملات الانعكاس النموذجية[7] ٦
الجدول I.٣ كمية أشعة الشمس المسجلة في الجزائر حسب المناطق المناخية. ١٠
الجدول I.٥. الإحداثيات الجغرافية ١١
الجدول I.٥. متوسط درجات الحرارة الشهرية (درجة مئوية)(2015-2023) .[14]..... ١٢
الجدول I.٧. متوسط هطول الأمطار الشهري (مم) (2015-2023) ١٣
الجدول II.١. شروط التجفيف المناسبة لمحاصيل زراعية تم تجفيفها [24]..... ٣٠
الجدول III.١. مكونات تشكيل المستقبل .....**خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**
الجدول III.٢ الخصائص الفيزيائية للمواد المستقبلة ٣٧
الجدول III.٣. مقارنة بين المجفف الشمسي غير المباشر و الفرن الكهربائي: ٤٤

قائمة المختصرات

الحروف اللاتينية		وحدة القياس
Cp	الحرارة النوعية	J / kg.K
Ig	I الإشعاع الشمسي الساقط	W / m_2
m	معدل التدفق الكتلي	kg/s
Me	كتلة الماء	kg
MH	كتلة المنتج الرطب	kg
MS	كتلة المادة الجافة	kg
T	درجة الحرارة	°C
t	الوقت	h
V	سرعة الرياح	m / s
p	هطول الامطار	mm
T	سمك الحصى	mm
RH	الرطوبة النسبية	%
خاص بمحور النتائج		
HLV	حساسات الحرارة للجزء ١داخل الغرفة	
KYN	حساسات الحرارة للجزء ١في المستقبل	
FCE	حساسات الحرارة للجزء ٢داخل الغرفة	
IOG	حساسات الحرارة للجزء ٢في المستقبل	
الرمز على المنحنى	شرحه	
1	مستقبل حصى و ألمنيوم	
2	مستقبل ملح و ألمنيوم	
1	مستقبل حديد	
2	مستقبل حديد مع ملح و ألمنيوم	

الملخص

تُعدّ الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة، ويُعتبر التجفيف الشمسي من أبرز تطبيقاتها في حفظ المنتجات الزراعية والغذائية عبر تقليل نسبة الرطوبة فيها.

تهدف هذه المذكرة إلى دراسة وتحليل أداء مجفف شمسي غير مباشر مُصنَّع على مستوى جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي، وذلك من خلال إجراء مجموعة من التجارب التطبيقية باستعمال مواد مختلفة لتشكيل المستقبل الحراري، والمتمثلة في الألمنيوم مع الملح، الألمنيوم مع الحصى، الحديد، والحديد مع الملح والألمنيوم. اعتمدت الدراسة على تجفيف مادتي الطرفة والشمندر السكري باعتبارهما من المواد المحلية ذات الاستعمالات الغذائية والطبية المهمة.

قبل البدء في التجارب الشمسية، تم إجراء تجفيف صناعي أولي لتحديد الشروط الابتدائية المناسبة لعملية التجفيف، حيث تبين اختلاف نسبة الرطوبة بين المادتين مما أدى إلى اختلاف زمن التجفيف. وقد أظهرت النتائج أن نوع المستقبل الحراري يؤثر بشكل مباشر على درجة الحرارة داخل غرفة التجفيف وعلى فعالية العملية.

بينت التجارب أن مادة الطرفة حققت أفضل نتائج تجفيف باستعمال مستقبل حراري مكوَّن من ملح والألمنيوم، نقص وزن العينة من ١٤٥غ إلى ١٣٥غ على الساعة00: 17، حيث تم التخلص من الرطوبة دون حدوث تعفن مع الحفاظ على خصائص المادة. أما بالنسبة للشمندر السكري، فقد تبين أن المستقبل الحراري المكوَّن من الحديد مع الملح والألمنيوم هو الأنسب مقارنة بباقي المواد حيث نقص وزن العينة من١٨٥غ إلى ١٤٣غ على الساعة17:00، رغم صعوبة تجفيفه بسبب ارتفاع محتواه المائي.

وفي الأخير، خلصت الدراسة إلى أن اختيار مادة المستقبل الحراري يلعب دوراً أساسياً في تحسين مردود المجفف الشمسي، وأن لكل مادة مجففة شروطاً خاصة للحصول على أفضل نتائج تجفيف ممكنة.

الكلمات المفتاحية: التجفيف، اللاقط الشمسي، المجفف الشمسي الغير مباشر، الطرفة، الشمندر، درجة الحرارة.

Summary

Solar energy is one of the most important sources of renewable energy, and solar drying is considered one of its most prominent applications in preserving agricultural and food products by reducing their moisture content.

This paper aims to study and analyze the performance of an indirect solar dryer manufactured at Martyr Hamah Lakhdar University in El Oued by conducting a series of applied experiments using different materials to form the heat receptor, namely aluminum with salt, aluminum with gravel, iron, and iron with salt and aluminum. The study focused on drying tarfa and sugar beet, as they are local materials with important food and medicinal uses.

Before beginning the solar experiments, preliminary industrial drying was performed to determine the appropriate initial conditions for the drying process, which revealed differences in moisture content between the two materials, leading to differences in drying time. The results showed that the type of heat collector directly affects the temperature inside the drying chamber and the efficiency of the process.

The experiments showed that tarfa achieved the best drying results when using a heat sink composed of salt and aluminum; the sample's weight decreased from 145 g to 135 g at 5:00 p.m., as moisture was removed without causing spoilage while preserving the material's properties. As for sugar beets, the heat sink composed of iron, salt, and aluminum proved to be the most suitable compared to the other materials, as the sample's weight decreased from 185 g to 143 g by 5:00 PM, despite the difficulty in drying them due to their high-water content.

Finally, the study concluded that the choice of heat sink material plays a key role in improving the efficiency of the solar dryer, and that each material has specific conditions for achieving the best possible drying results.

Keywords: drying, solar collector, indirect solar dryer, beetroot, temperature.

مقدمة

الطاقة الشمسية، المنبثقة من أشعة الشمس، تُعدّ المصدر الأساسي لإنتاج الطاقة في مختلف التطبيقات. وتُعتبر حاليًا من مصادر الطاقة المتجددة، حيث يمكن تحويلها إلى أشكال متعددة قابلة للاستخدام. ويتركز استخدامها بشكل رئيسي في إنتاج الحرارة والكهرباء، وتمتد فائدتها إلى عدة قطاعات. ويُعدّ التجفيف الشمسي أسلوبًا منهجيًا لاستغلال الطاقة الشمسية، ويُعتبر نظامًا شائعًا لتجفيف الخضروات والفواكه والأسماك واللحوم. وتعتمد هذه الطريقة في حفظ المنتجات الزراعية والغذائية على خفض محتواها من الرطوبة إلى مستويات تمنع تكاثر الكائنات الدقيقة[1] .

يمكن إجراء عملية التجفيف إما بشكل مباشر من خلال تعريض المنتج لأشعة الشمس، أو بشكل غير مباشر عبر تسخين هواء التجفيف باستخدام مجمّع شمسي قبل إدخاله إلى حجرة التجفيف.

يتمثل هدفنا الرئيسي هو اختبار أداء مجفف شمسي غير مباشر لتجفيف محاصيل محلية بولاية الوادي. ولتحقيق ذلك، قمنا بعدة تجارب تم فيها تغيير مادة المستقبل. وفي المقابل اخترنا الشمندر والطرفة للتجفيف نظرًا لاختلاف مصادرهم وكذلك خصائصهم المميزة وانتشارهم الواسع في المنطقة.

بعد مقدمة شاملة، تم تقسيم هذه الأطروحة على النحو التالي[2] :

يتناول الفصل الأول دراسة الشمس، بما في ذلك تحليل خصائصها الأساسية وإشعاعها، إلى جانب دراسة العوامل المناخية ذات الصلة مثل درجة الحرارة وأنماط الرياح في منطقة الوادي.

أما الفصل الثاني فيعرض طرق التجفيف الشمسي، مع التركيز على التجفيف الشمسي غير المباشر، والذي يتكون من مجموعة من المكونات الأساسية التي تعمل بتناغم لضمان تنفيذ عملية التجفيف بكفاءة. ويتميز هذا النظام بتصميم مرن يسمح بتلبية متطلبات تجفيف متنوعة. كما يتم فيه تقييم الكفاءة الحرارية وسعة التخزين الحراري لكل تكوين من تكوينات المجمعات الشمسية.

في الفصل الثالث، يتم تقديم وصفٍ مفصل لمختلف مكونات المجفف الشمسي، إضافةً إلى شرح آلية عمله خلال عملية التجفيف. كما يتناول هذا الفصل تجربة تجفيف كلٍّ من الطرفة والشمندر السكري بهدف تقييم أداء الجهاز وقياس مدى فعاليته وكفاءته في الظروف الحقيقية[3] .

أما الفصل الرابع، فيعرض النتائج النهائية المستخلصة من البيانات الخاصة بالمجفف الشمسي غير المباشر، مع التركيز على تقييم الكفاءة الحرارية وأداء المجمعات المستخدمة. ويتم إجراء تحليل دقيق لمقارنة فعالية مختلف التكوينات، بهدف تحسين فهم العوامل المؤثرة على أداء الجهاز.

وأخيرًا، تختتم الأطروحة بخاتمة شاملة تلخص أهم النتائج المتوصل إليها، وتقدم رؤى مستقبلية لآفاق البحث والتطوير في هذا المجال.

الفصل الأول
عموميات حول الطاقة الشمسية

1.I. مقدمة :

تُعدّ الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة التي حظيت باهتمام واسع في السنوات الأخيرة، نظراً لدورها الكبير في تلبية الاحتياجات الطاقوية بشكل نظيف ومستدام. فهي تعتمد على استغلال أشعة الشمس وتحويلها إلى أشكال مختلفة من الطاقة، سواء كانت حرارية أو كهربائية، مما يساهم في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري والحد من التأثيرات البيئية السلبية.

وفي إطار هذا المحور، سيتم التطرق إلى بعض العموميات المتعلقة بالطاقة الشمسية، مع التركيز بشكل خاص على المجفف الشمسي غير المباشر، باعتباره من التطبيقات العملية الفعالة التي تعتمد على الطاقة الشمسية في تجفيف المنتجات الزراعية والغذائية، مع الحفاظ على جودتها وتحسين مردوديتها.

2.I. الطاقة الشمسية:

تُعرَّف الطاقة الشمسية بأنها الطاقة الناتجة عن الإشعاع الصادر من الشمس، والتي تصل إلى سطح الأرض على شكل ضوء وحرارة. وتُعدّ من أهم مصادر الطاقة المتجددة، إذ تتميز بكونها نظيفة، متوفرة بشكل دائم، وغير قابلة للنفاد على المدى القريب.

ويعتمد مفهوم الطاقة الشمسية على استغلال هذه الأشعة وتحويلها إلى أشكال أخرى من الطاقة القابلة للاستخدام، مثل الطاقة الحرارية التي تُستعمل في التسخين والتجفيف، أو الطاقة الكهربائية التي يتم توليدها بواسطة الخلايا الكهروضوئية. وتكمن أهمية هذه الطاقة في دورها في تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، والمساهمة في حماية البيئة من التلوث.

١.2.I الإشعاع الشمسي:

يُسمّى أيضًا بالإشعاع الحراري، وهو أحد أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي الطبيعي الذي ينبعث في جميع الاتجاهات من أي جسم تفوق درجة حرارته ٠ درجة مئوية. تنتقل طاقته عبر فوتونات تتحرك بسرعة الضوء في الفراغ، حيث يحمل كل فوتون طاقة تُعطى بالعلاقة:

$$E = h\nu$$

حيث يمثّل h ثابت بلانك وقيمته 6.624×10^{-34} جول ثانية.

أما الثابت الشمسي فيُعبّر عن إجمالي الطاقة التي تصل إلى الغلاف الجوي للأرض من الشمس لكل متر مربع واحد، عندما تكون الأشعة عمودية على السطح. وبعبارة أخرى، فهو يمثل كثافة تدفق الطاقة الشمسية. وتبلغ قيمته المتوسطة حوالي 1350 W/m^2، وهو مقدار ثابت لا يتأثر بالظروف الجوية، ويُعرّف كما يلي: [1]

$$ISC = \sigma T^4 \ (Rs \ / \ DST) \qquad (1.\ I)$$

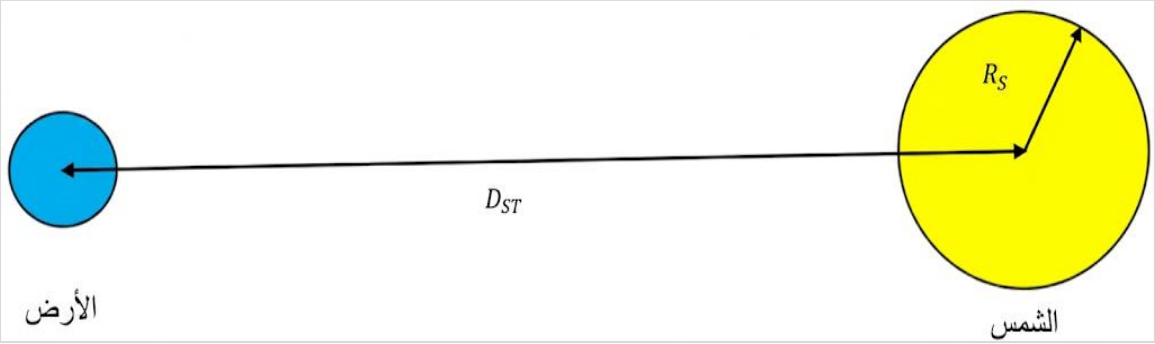
حيث:

$\boldsymbol{DST}$:المسافة بين الأرض والشمس (م).

$\boldsymbol{Rs}$: نصف قطر الشمس (م).

$\boldsymbol{\sigma}$:ثابت ستيفان–بولتزمان: 5.67×10^{-8} واط/م^2 كلفن^4

$\boldsymbol{T}$:درجة حرارة سطح الشمس (كلفن)



الشكل I.١ المسافة بين الأرض والشمس

قبل وصول الإشعاع الشمسي إلى سطح الأرض، يمر عبر عدة طبقات وعوامل تؤثر على شدته وتؤدي إلى تضعيفه، كما تتأثر شدته بخط العرض والظروف المناخية. ويتكوّن الغلاف الجوي من الطبقات التالية:

- **طبقة سفلية بسمك ١٠–١٥ كم (التروبوسفير) .**
- **طبقة متوسطة بسمك ١٥ إلى ١٠٠ كم (الستراتوسفير والميزوسفير)**
- **طبقة علوية بسمك ١٠٠ إلى ٨٠٠ كم (الأيونوسفير)**

وخلال مروره عبر الغلاف الجوي، يتعرض الإشعاع الشمسي لعدة ظواهر منها[2]:

- ✓ تشتت الجزيئات والجسيمات العالقة
- ✓ الامتصاص الانتقائي بواسطة الأكسجين والأوزون وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء
- ✓ الحيود بفعل الغبار والقطرات الدقيقة
- ✓ الانعكاس والانتشار بواسطة السحب

I.2.٢ أنواع الإشعاع الشمسي :

❖ **الإشعاع الشمسي المباشر:**

الإشعاع المباشر هو الإشعاع الذي يصل إلى سطح معين مباشرة من قرص الشمس دون انحراف، وعلى خط مستقيم في حالة صفاء الجو. [3] . تُحدد حالة السماء بمعاملين a وb اللذين يعكسان درجة الاضطراب الجوي في موقع المجمع الشمسي كما هو مبين في الجدول (I .1)

وتُحسب النفاذية الجوية للإشعاع المباشر كما يلي: [4] .

$$\tau dir = a \times [\exp(-p \times b) / (1000 \times \sin(h))] \quad (I.2)$$

حيث:

a, b : معاملات الاضطراب الجوي

h : ارتفاع الشمس.

P :الضغط الجوي للمكان.

قيم هذه المعاملات تختلف حسب طبيعة المنطقة (نقية، عادية، صناعية) كما هو مبين في الجدول (I .1)

الجدول I.١. قيم معاملات الاضطراب الجوي[5]

	سماء صافية	ظروف طبيعية	مناطق صناعية
a	0,87	0, 88	0,91
b	0, 17	0, 26	0,43

يُحسب الإشعاع المباشر على سطح أفقي بالعلاقة [6]:

$$Gdirh = C^* \times \tau dir \quad (I.3)$$

h:الإشعاع المباشر الذي يستقبله مستوى أفقي.وعلى سطح مائل:[4]

$$Gdir = Gdirh \times \cos(\theta) \quad (I.4)$$

حيث θ زاوية سقوط الأشعة الشمسية.

❖ **الإشعاع الشمسي المنتشر:**

الإشعاع الشمسي المنتشر هو جزء من أشعة الشمس الذي يصل إلى سطح الأرض بعد أن يتشتت في الغلاف الجوي بسبب الغازات والسحب والغبار وبخار الماء، لذلك لا يأتي مباشرة من قرص الشمس بل من مختلف اتجاهات السماء.

العلاقة بين انتقال الإشعاع المباشر والإشعاع المنتشر هي كما يلي :

$$\tau dif = 0.271 - 0.2939 \times \tau dir \quad (5.\ I)$$

يعرَّف التدفق المنتشر المستقبَل على مستوى أفقي بما يلي:[3]

$$Gdifh = C^* \times \sin(h) \times \tau dif \quad (6.\ I)$$

وعلى سطح مائل:

$$Gdif = Gdif1 + Gdif2 \quad (7.\ I)$$

حيث:

Gdif: الإشعاع المنتشر الكلي على السطح المائل

Gdif1 : الإشعاع القادم من السماء

Gdif2 :الإشعاع المنعكس من الأرض

$$Gdif1 = Gdifh \times \frac{1-\cos(i)}{2} \quad (8.\ I)$$

$$Gdif2 = albedo \times Gh \times \frac{1-\cos(i)}{2} \times Gdifh \times \sinh + Gdifh \quad (9.\ I)$$

❖ **الإشعاع الكلي :**

الإشعاع الكلي (G)هو مجموع الإشعاع المنتشر والمباشر:[3]

$$\boldsymbol{G=Gdir+Gdif} \quad (10.\ I)$$

❖ **الانعكاسية الأرضية:**

في الواقع، الأرض ليست جسمًا أسود؛ فجزء من الإشعاع الشمسي الساقط ينعكس عن الغلاف الجوي، وخاصةً السحب، وكذلك سطح الأرض. ويُطلق على هذه الكمية اسم تدفق الانعكاسية. يُعرَّف البياض عمومًا بأنه نسبة الطاقة الشمسية المنعكسة من سطح ما إلى الطاقة الشمسية الساقطة. ويُستخدم مقياس متدرج من 0إلى للتعبير عن الألبيدو، حيث يمثل الرقم 0اللون الأسود المطلق (عدم وجود انعكاس)، ويمثل الرقم 1المرآة المثالية (الانتشار في جميع الاتجاهات دون امتصاص الإشعاع المرئي المستقبَل). ويوضح الجدول(2. I) قيم الألبيدو لمختلف الأسطح:

الجدول ٢.I. معاملات الانعكاس النموذجية[7]

نوع السطح الانعكاسية	الانعكاسية(ρ)
مساحة البحيرة	0.02إلى 0.04
غابة صنوبرية	0.05إلى 0.15
غابة استوائية	0.12

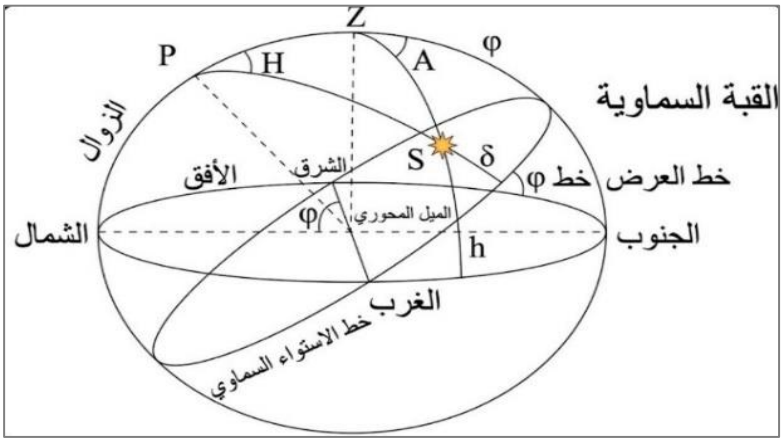
عشب أخضر	0.25
رمل فاتح وجاف	0.25إلى 0.45
التربة الداكنة	0.05إلى 0.15
الجليد	0.30إلى 0.40
البحر الدافئ	0.05
البحر البارد	0.15
الثلج المضغوط	0.60
الثلج الطازج	0.85
السحابة	0.86
الزجاج مع الزجاج	0.10

I.2.2.1 مدة سطوع الشمس :

مدة سطوع الشمس هي عدد الساعات في اليوم، بين شروق الشمس وغروبها، التي تكون فيها الشمس مرئية بوضوح. ويتم قياس هذه المدة بواسطة جهاز «هيليوغراف كامبل ستوكس»، الذي تعمل فيه كرة بلورية على تركيز أشعة الشمس على ورقة تحترق مع تحركها. لذلك، يتم تسجيل اللحظات التي تكون فيها الشمس مرئية بوضوح فقط. يُعرف هذا بوقت التعرض الفعلي أو الفعال، ويعتمد على ما إذا كانت الشمس المشرقة مرئية من نقطة المراقبة أم مخفية بالغيوم. في حالة عدم وجود جهاز قياس أشعة الشمس، من الممكن البدء من حساب للحركة الفلكية النسبية للشمس والأرض وتقدير المدة النظرية لليوم؛ أي المدة التي كانت ستكون لو لم تحجب الغيوم الشمس[8].

I.2.2.2 الإحداثيات الجغرافية للشمس:

يتم تحديد أي نقطة على سطح الأرض من خلال إحداثياتها الجغرافية؛ خط الطول وخط العرض، بالإضافة إلى ارتفاعها الشكل(I .2) .



الشكلI.2: **الإحداثيات الهندسية**.[9]

✓ **خط الطول(I):**

يتوافق مع الزاوية التي تشكلها المستوى المار عبر خط الطول الخاص بالنقطة المعنية مع المستوى المار عبر خط الطول الأصلي، أي خط طول غرينتش 0° (المملكة المتحدة). وبالتالي، فإن خط الطول يحدد الموقع الشرقي/الغربي لنقطة ما [10] . وبالتحويل، يشير الرمز (+) إلى خطوط الطول الواقعة شرق خط الطول هذا، ويشير الرمز (−) إلى خطوط الطول الواقعة غرب خط الطول هذا. سيُشار إلى خط الطول هنا بالحرف(I)، ويمكن أن يتراوح بين °180−و°180+

✓ **خط العرض(φ):**

يتوافق خط عرض مكان ما مع الزاوية التي يشكلها نصف القطر الذي يربط مركز الأرض في هذا المكان والمستوى الاستوائي. وبالتالي، يتميز خط الاستواء الأرضي بخط عرض يساوي 0°، والقطب الشمالي بخط عرض +90°، والقطب الجنوبي بخط عرض −90°. وفقًا لهذه القاعدة، تُشار إلى الأماكن في نصف الكرة الشمالي بعلامة موجبة (+)، بينما تُشار إلى تلك الموجودة في نصف الكرة الجنوبي بعلامة سالبة (−). يُشار إلى خط العرض هنا بالحرف(φ)ويمكن أن يتراوح بين −90°و+90°[10]

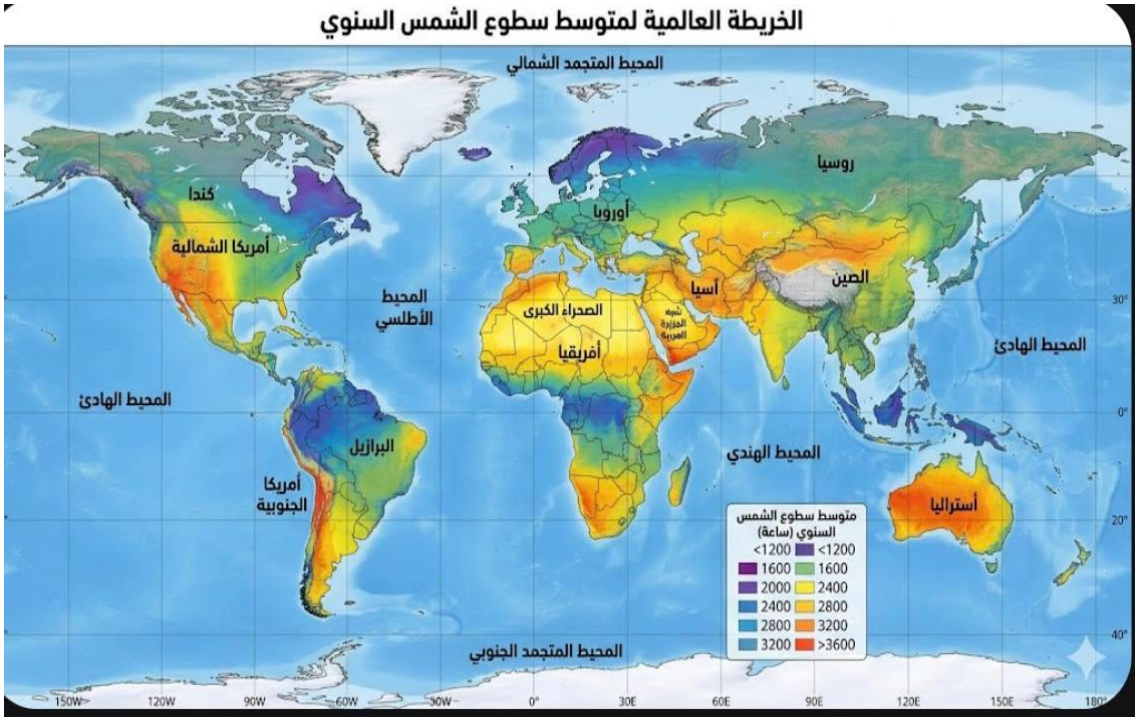
✓ **الارتفاع:**

من نقطة ما يتوافق مع القياس وفقًا للعمودي للمكان، الذي يفصل هذه النقطة عن سطح مرجعي يسمى الجيويد. الجيويد هو السطح المتوسط للمحيطات. بشكل عام، يتم التعبير عنه بالمتر[10]

I.3. حقل الطاقة الشمسية في الجزائر:

حقل الطاقة الشمسية هو مجموعة من الإحصاءات التي تصف تطور الإشعاع الشمسي المتاح على مدار الوقت. وهو يتيح نمذجة تشغيل نظام الطاقة الشمسية وتحديد الحجم الأكثر دقةً ممكنًا مع مراعاة الطلب المطلوب تلبيته[11].

نظراً لموقعها الجغرافي، تمتلك الجزائر احتياطيات هائلة من الطاقة الشمسية كما هو موضح في الشكل(I .3) :



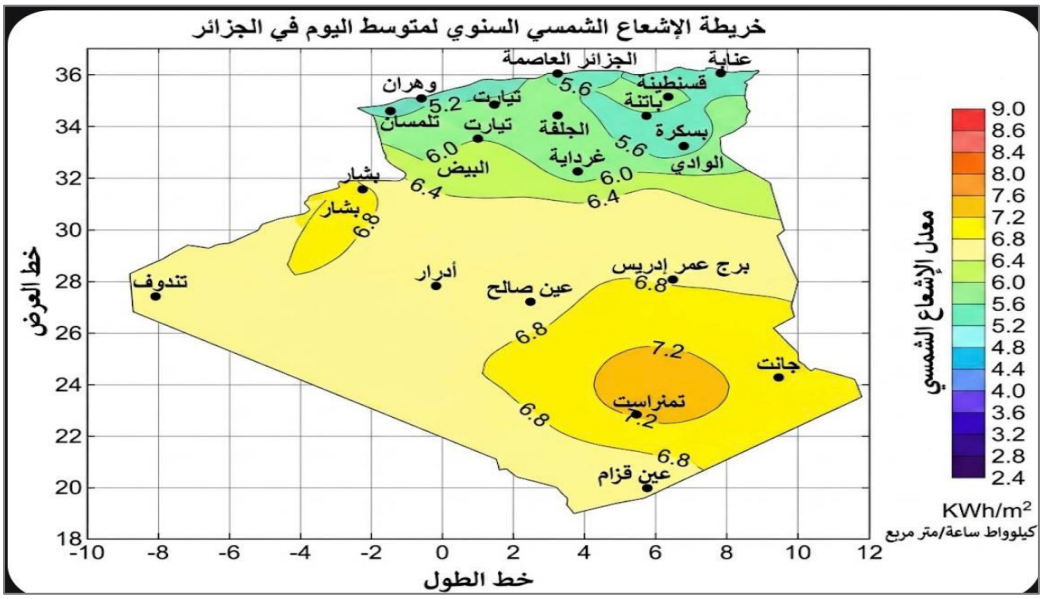
الشكل I .3: **خريطة العالم لمتوسط ساعات سطوع الشمس السنوية**[16].

أعلنت وكالة الفضاء الألمانية (ASA)عقب تقييم عبر الأقمار الصناعية أن الجزائر تمتلك أكبر إمكانات للطاقة الشمسية في حوض البحر الأبيض المتوسط، حيث تبلغ 169,000 تيراواط/ساعة سنويًا للطاقة الشمسية الحرارية و9, 13تيراواط ساعة سنويًا للطاقة الشمسية الكهروضوئية. تعادل الطاقة الشمسية المحتملة في الجزائر عشرة اكتشافات ضخمة للغاز الطبيعي تم تحديدها في حسي رمل. يوضح الجدول) (I .3 توزيع الطاقة الشمسية المحتملة حسب المنطقة المناخية على المستوى الوطني في الجزائر، وفقًا لكمية أشعة الشمس المتلقاة سنويًا [12]:

الجدول I.٣ كمية أشعة الشمس المسجلة في الجزائر حسب المناطق المناخية.

المناطق	المرتفعات	المناطق الساحلية	الصحراء
المساحة (٪)	10	4	86
متوسط مدة سطوع الشمس (ساعة/سنة)	3000	2650	3500
متوسط الطاقة المستقبلة (كيلوواط ساعي/م٢/ سنة)	1900	1700	2650

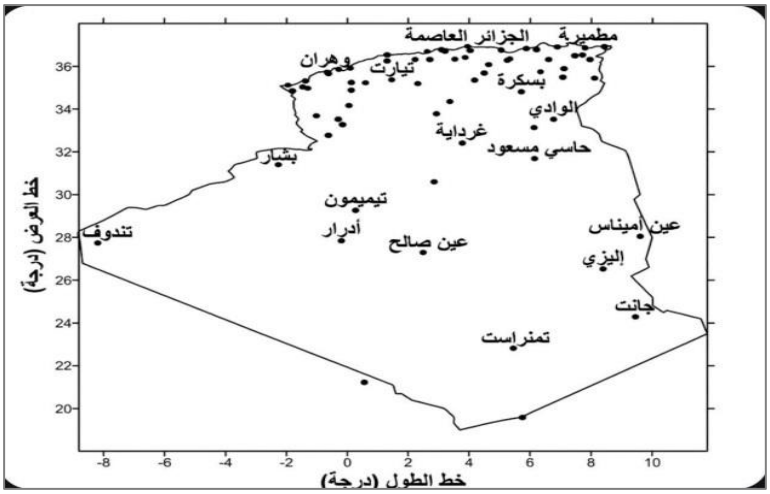
تبلغ مدة سطوع الشمس في الصحراء الجزائرية حوالي 3500 ساعة في السنة، وهي الأطول في العالم، حيث تتجاوز دائمًا 8ساعات في اليوم، ويمكن أن تصل إلى 12ساعة في اليوم خلال فصل الصيف، باستثناء أقصى الجنوب حيث تنخفض إلى 6ساعات في اليوم خلال فصل الصيف[12]. وتتميز منطقة أدرار بكونها مشمسة بشكل خاص ولديها أكبر إمكانات في الجزائر بأكملها الشكل(I .4)



الشكل I.٤. المتوسط السنوي لإجمالي الإشعاع الشمسي الذي يتلقاه سطح مائل عند خط عرض المكان.

في الجزائر، تنتشر شبكة مكونة من 78محطة قياس أرصاد جوية تابعة للهيئة الوطنية للأرصاد الجوية (الملحق د) في أنحاء البلاد (الشكل I .5). ومع ذلك، وبسبب عدم موثوقية أجهزة القياس أو التكلفة الباهظة لمثل هذه المعدات، لا تضمن سوى 7محطات أرصاد جوية قياس المكونات المنتشرة والعالمية

للطاقة الشمسية المستقبلة على مستوى أفقي. ونظراً لسهولة التركيب، يتم التحكم في مدة سطوع الشمس باستخدام جهاز هليوغراف في معظم الحالات(O.N.M).



الشكل I.٥. التوزيع الجغرافي لمحطات الأرصاد الجوية في الجزائر.

I.3.١. الوضع المناخي:

يتميز مناخ جنوب الجزائر بجفاف شديد مع رطوبة منخفضة للغاية. ويبلغ متوسط درجة الحرارة السنوية حوالي 25 درجة مئوية، مع صيف حار وشتاء بارد. وتصل درجات الحرارة إلى مستويات قصوى تتجاوز 50 درجة مئوية.

تتميز الأمطار بتقلبها الكبير من سنة إلى أخرى. ففي شمال الصحراء، تكون الأمطار قليلة ومتفرقة. تؤثر هذه الخصائص المناخية المختلفة على الهيدروغرافية الصحراوية. وبالتالي، فإن تدفق الأودية مؤقت. وعندما لا يكون هناك تدفق سطحي في الوديان، غالبًا ما يكون هناك تدفق جوفي، وهو أمر بالغ الأهمية نظرًا لندرة المياه السطحية [14].

I.3.١.١ موقع مدينة الوادي :

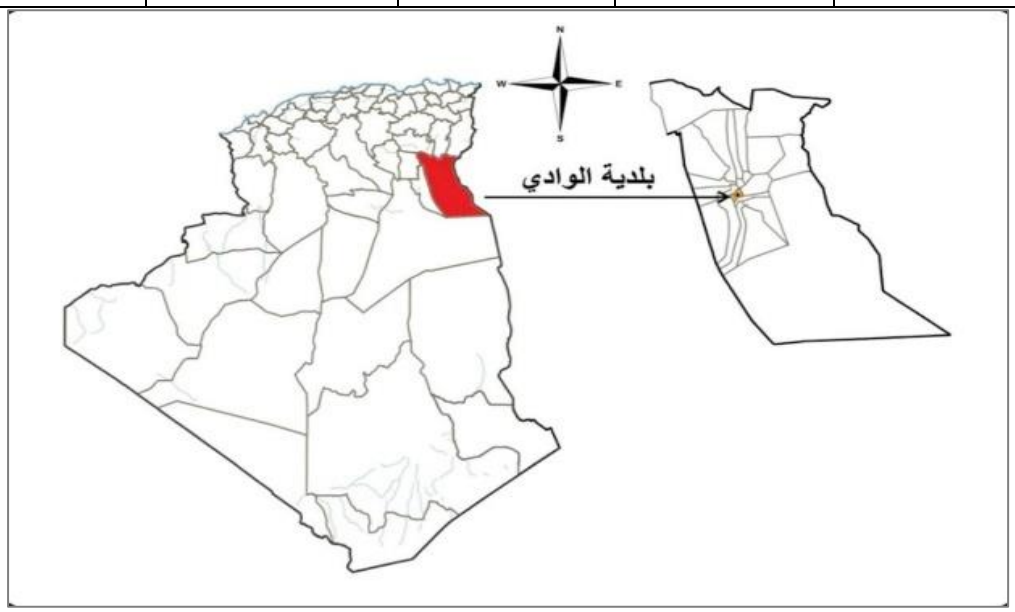
مدينة الوادي هي ولاية تقع في جنوب شرق الجزائر وتبلغ مساحتها الإجمالية 44585 كم². ويقدر عدد سكانها الإجمالي بـ 990000 نسمة في نهاية عام 2013.

إحداثياتها الجغرافية هيكما هو مبين في الجدول(I .4) :[14]

الجدول I.٥. الإحداثيات الجغرافية

المحطة	رمز A.N.R.H	الارتفاع (م)	خط الطول	خط العرض

قمار	13 04 09	64	06°47'E	33°30'N



الشكل I.٦. موقع مدينة الوادي

I.3.١.٢ مناخ ولاية الوادي:

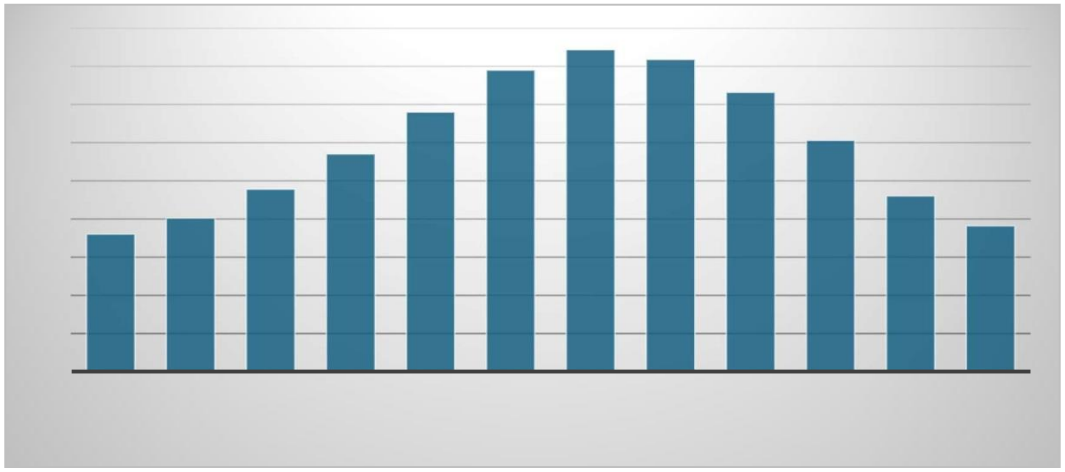
تتمتع ولاية الوادي بمناخ صحراوي، حيث تقل الأمطار بشكل كبير، وترتفع درجات الحرارة، ويكون التبخر شديدًا، كما يتسم النظام البيولوجي بالهشاشة.

I.3.١.٣ درجات الحرارة في الوادي:

من عام 2015 إلى عام 2023، بلغ متوسط درجات الحرارة الشهرية لأكثر الشهور حرارة (يوليو) 42.2 درجة مئوية. أما متوسط درجات الحرارة الشهرية لأبرد الشهور (يناير) فهو 18 درجة مئوية.[15]

الجدول I.٥. متوسط درجات الحرارة الشهرية (درجة مئوية)(2015-2023) .[14]

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
Tm(°C)	18,0	20,1	23,9	28,5	34,0	39,5	42,2	40,9	36,6	30,3	23,0	19,1

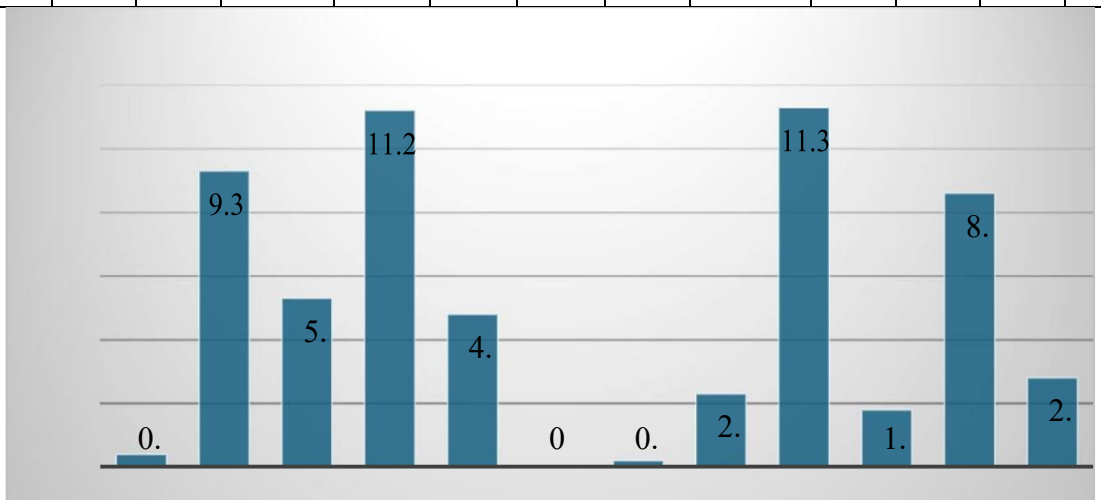


الشكل I.٧. متوسط درجات الحرارة الشهرية في منطقة الوادي(2015-2023).

هطول الأمطار يبلغ مجموع هطول الأمطار في الوادي85ملم سنويًا؛ وبالتالي فإن المنطقة تقع ضمن نطاق المناخ الصحراوي. في الشهر الأقل أمطارًا (يونيو) يصل مجموع هطول الأمطار إلى 0ملم، بينما يصل في الشهر الأكثر أمطارًا (سبتمبر) إلى 8. 11ملم. وفيما يلي متوسط هطول الأمطار [15].

الجدول I.٧. متوسط هطول الأمطار الشهري (مم) (2015–2023)

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
Pm(mm)	0.4	9.3	5.3	11.2	4.8	0.0	0.2	2.3	11.3	1.8	8.6	2.8



الشكل I.٨. متوسط هطول الأمطار الشهري (مم) (2015–2023)

I.4. توليد الطاقة الشمسية:

I.4.١. الطاقة الشمسية الكهروضوئية:

الطاقة الشمسية الكهروضوئية هي تقنية تُستخدم لتحويل أشعة الشمس مباشرةً إلى طاقة كهربائية باستعمال الخلايا الكهروضوئية (Photovoltaic Cells) المصنوعة غالبًا من مادة السيليكون.

عندما تسقط أشعة الشمس على الخلية الكهروضوئية، تُحرِّر الفوتونات إلكترونات داخل المادة شبه الموصلة، مما يؤدي إلى توليد تيار كهربائي مستمر.

I.4.٢. الطاقة الشمسية الحرارية:

الطاقة الحرارية الشمسية هي طاقة ناتجة عن استغلال حرارة أشعة الشمس لتسخين السوائل أو الهواء وتحويلها إلى طاقة حرارية يمكن استخدامها مباشرة أو تحويلها إلى طاقة كهربائية.

تعتمد هذه التقنية على مجمعات شمسية تقوم بامتصاص الإشعاع الشمسي وتحويله إلى حرارة.

❖ **استخدامات الطاقة الحرارية الشمسية:**

- ✓ تسخين المياه في المنازل والمباني.
- ✓ تدفئة المنازل والبيوت البلاستيكية.
- ✓ إنتاج الكهرباء في المحطات الشمسية الحرارية.
- ✓ أنظمة التبريد الشمسي.
- ✓ تجفيف المنتجات الزراعية.

I.4.١.١. التجفيف بالطاقة الشمسية:

يُعد التجفيف تقنية تنقية تهدف إلى إزالة مكون سائل من خليط متجانس أو غير متجانس. وتتمثل عملية تجفيف المنتج في توفير الطاقة اللازمة لتبخير الماء الموجود في المنتج الحرارة الكامنة للتبخير، ثم إخراج البخار المتكون. والغرض من هذه العملية هو إما إعادة الخصائص الميكانيكية أو الفيزيائية الكيميائية الأولية للمادة المعالجة، أو تسهيل تخزينها وحفظها. وهناك عدة عمليات تجفيف: العمليات الميكانيكية الضغط، الترسيب أو الطرد المركزي، والعمليات الفيزيائية الكيميائية الامتصاص، الامتصاص، التبريد والتجفيف بالتبخر. وتتمثل هذه الأخيرة في نقل السائل المراد التخلص منه إلى الطور الغازي الذي يحيط به. ويتطلب تغير الطور مدخلات حرارية كبيرة. ويمكن أن يكون ذلك مباشرًا التسخين بواسطة المبادل الحراري، أو تأثير جول، أو الأشعة تحت الحمراء، أو التيارات عالية التردد أو أن يكون الطور الغازي نفسه هو الذي يضمن الإمداد الحراري اللازم الهواء الساخن. ويعد التجفيف بالتبخير عملية معقدة للغاية تنطوي على نقل مزدوج. الأول هو نقل الحرارة لتقليل محتوى الماء في المنتج. والثاني هو نقل الكتلة الذي ينطوي على إزاحة السائل من داخل المنتج إلى سطحه. يتطلب هذان النقلان مدخلات حرارية كبيرة، ومن هنا تأتي أهمية استخدام مصدر حرارة متجدد. وهذا هو الحال بالنسبة للمجففات الشمسية.

I.4.١.١.١. الغرض من التجفيف:

يُعد التجفيف إحدى الطرق الرئيسية لحفظ الأغذية القابلة للتلف. ففي الواقع، يؤدي التخلص من الماء إلى تثبيط نشاط الجراثيم الميكروبية (الخميرة والعفن والبكتيريا) المسؤولة عن التعفن. كما أنه خطوة ضرورية في عملية تجميد بعض المنتجات، لأن التخلص من الماء يقلل من وزنها وحجمها. باختصار، يساعد التجفيف على تحسين حفظ المنتجات، وتسهيل نقلها، وتقليل مخاطر فقدان المنتجات بعد الحصاد، وخاصة توسيع نطاق تسويق هذه المنتجات من خلال إتاحتها على مدار العام.

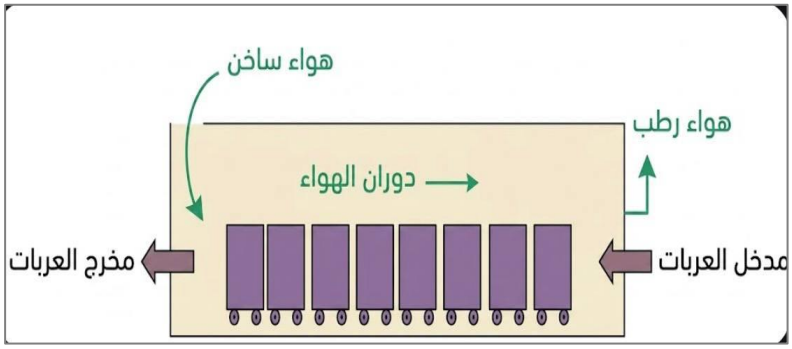
❖ **التجفيف بالطاقة الشمسية**

التجفيف الطبيعي الذي عرفه ومارسه أسلافنا يتمثل في تعريض المنتج للتجفيف مباشرة تحت أشعة الشمس، ونشره على الأرض على حصائر أو أسرة. هذا النوع من التجفيف، على الرغم من بساطته ومجانيته، له عيوب تتمثل في استغراقه لفترات تجفيف طويلة، وتعريض المنتج للغبار والمطر والحشرات. ومن ثم تدهور الجودة وخطر التعفن والعفن الذي يمكن أن يصل إلى 50% من المحاصيل. حتى القرن العشرين، عندما ظهر مفهوم النشاط المائي(WA)ومعرفة آليات انتقال الرطوبة في المنتجات، لم يتمكن العلماء من تطوير أول مجففات اصطناعية وفقًا للقواعد العلمية.

I.4.١.١.٢. أنواع مختلفة من المجففات الشمسية

❖ **المجففات النفقية:**

وهي مجففات صناعية تستخدم لتجفيف المحاصيل الكبيرة وفي عمليات حفظ بعض الأطعمة. وتتكون من مجموعة من المجمعات الشمسية ودائرة هوائية، تشكل جميعها مولد الهواء الساخن. ويتم وضع المنتج المراد تجفيفه على عربات متصلة بقضبان وتتحرك باستمرار عبر نفق الشكل(I .9) .



الشكل I.٩. مجففات النفق

❖ **معدات تجفيف المخزون:**

تُعرف أيضًا باسم أفران التجفيف، وهي مجففات ثابتة، حيث يتم تخزين المنتج المراد تجفيفه على رفوف أو أرفف. تتوفر مجففات المخزون في شكل مباشر أو غير مباشر:

❖ **المجففات الشمسية المباشرة (مجففات الدفيئة)**

في هذا النوع من المجففات، يشكل العازل (المجمع الشمسي) وحجرة التجفيف وحدة واحدة. ويتألف المجفف من صندوق معزول في قاعدته ومغطى بزجاج أو بلاستيك شفاف. وتتلقى المواد الغذائية المراد تجفيفها أشعة الشمس المباشرة من خلال الغطاء الشفاف الشكل (I .10)هذا النوع من المجففات مناسب لتجفيف الفواكه والخضروات التي تحتوي على نسبة ماء أولية عالية وتستغرق وقتًا طويلاً للتجفيف الشكل(I .11)

الشكل I.١٠. مجففات الطاقة الشمسية المباشرة (مجففات الدفيئة)

❖ **المجففات الشمسية غير المباشرة**

تتكون من زوج من العوازل مع حجرة تجفيف. ويُستخدم العازل لتسخين الهواء وتوجيهه إلى الحجرة (الشكل 4). وفي حالة الحمل الحراري الطبيعي، لا يكفي ذلك لتسخين الهواء إلى الدرجة المطلوبة، وهو ما يفسر إضافة موقد. تعمل الطاقة الإضافية الموجودة في قاعدة المدخنة على تحسين أداء المجفف بشكل كبير من خلال زيادة تدفق الهواء في كتلة المنتج المراد تجفيفه.

يُصنف المجفف الشمسي غير المباشر إلى نوعين :

- المجفف الشمسي غير المباشر السلبي
- المجفف الشمسي غير المباشر النشط

I.5. الخاتمة:

في هذا الفصل، تعرفنا على عملية التجفيف والغرض منها، إلى جانب البيانات اللازمة لهذه الدراسة وبعض البيانات عن مجال الطاقة الشمسية في الجزائر، كما قدمنا لمحة موجزة عن أنواع أنظمة التجفيف الشمسي، وفي ضوء هذه المعلومات، قررنا أن يكون الفصل التالي عن التوسع في التجفيف الشمسي غير المباشر.

الفصل الثاني
المجفف الشمسي
الغير مباشر

II .1. المقدمة:

يُعد التجفيف الشمسي غير المباشر تقنية حديثة نسبياً، لم يتم توحيدها أو تسويقها على نطاق واسع بعد، وتشمل بعض أجهزة تجميع الطاقة الحرارية والمجففات ذات التقنيات الخاصة. هناك عدة أنواع من أحجام المجففات، وتلبي تقنية تصنيعها متطلبات التجفيف الخاصة بالمنتجات الغذائية، ولا يزال العديد منها يعمل على أساس الخبرة بدلاً من الأساس العلمي.

سنرى في هذا الفصل معلومات موسعة عن أنظمة التجفيف بالطاقة الشمسية غير المباشرة مثل خيمة التجفيف، مجفف الصندوق، مجفف الهزاز، مجفف الخزانة الشمسية، مجفف الخزانة الشمسية، مجففات الطاقة الشمسية النشطة ذات الخزانة جيدة التهوية، مجففات مزودة بتدفئة مساعدة ومجففات الدفيئة، وهو أمر بالغ الأهمية لهذه الدراسة.

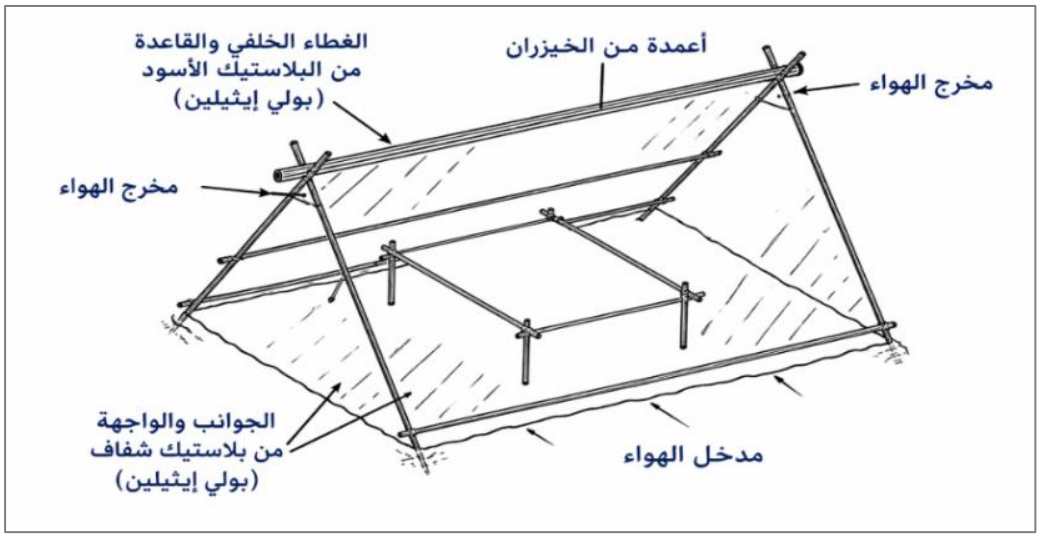
II .2. المجفف الشمسي الغير مباشر:

المجفف الشمسي غير المباشر هو جهاز يُستخدم لتجفيف المنتجات الزراعية مثل الفواكه والخضر والأعشاب باستعمال طاقة الشمس، لكن دون تعريض المنتج مباشرة لأشعة الشمس.

II .1.2.أنواع المجفف الشمسي الغير مباشر:

II .1.1.2. خيمة التجفيف:

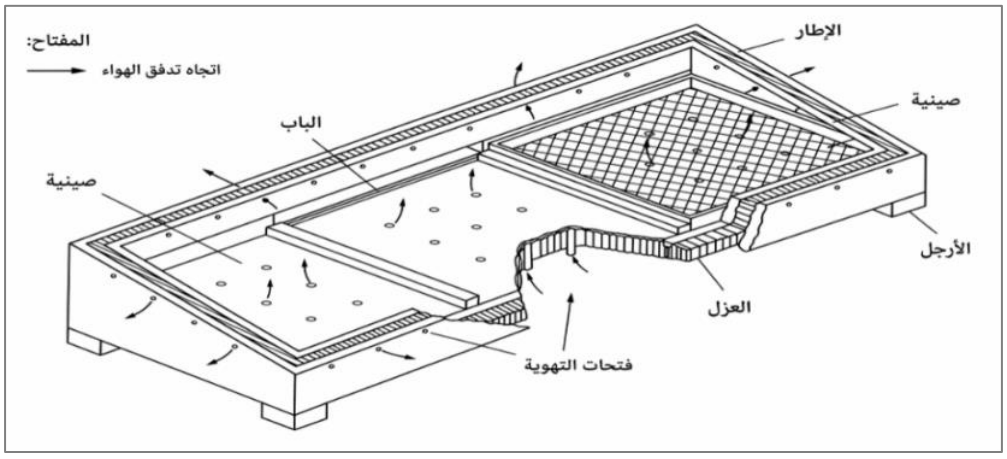
مجففات الخيام، كما هو موضح في الشكل. II .1، غير مكلفة وسهلة التركيب، وتتكون من إطار من أعمدة خشبية مغطاة بغطاء بلاستيكي. يوضع الطعام المراد تجفيفه على رف معلق فوق الأرض. مع ذلك، لا تكون أوقات التجفيف دائمًا أقصر بكثير من التجفيف في الهواء الطلق. الغرض الرئيسي من هذه المجففات هو توفير الحماية من الغبار والأوساخ والمطر والرياح والحيوانات المفترسة، وتُستخدم عادةً للفاكهة والأسماك والقهوة وغيرها من المنتجات. يمكن أيضًا تفكيك هذه المجففات وتخزينها عند عدم استخدامها. العيب الرئيسي لهذا النوع من المجففات هو سهولة تلفه بفعل الرياح العاتية.



الشكل II.١. مجفف الخيمة (الوضع غير المباشر).[18]

II.2.1.2. مجفف الصندوق:

لقد تم استخدام المجفف الشمسي من النوع الصندوقي على نطاق واسع لتجفيف الأطعمة على نطاق صغير. يتكون من صندوق خشبي بغطاء شفاف، الجزء الداخلي مطلي باللون الأسود، ويتم دعم الطعام على صينية شبكية. يدخل الهواء إلى الحجرة من خلال فتحات في الأمام ويخرج من خلال فتحات في أعلى الجدار الخلفي.

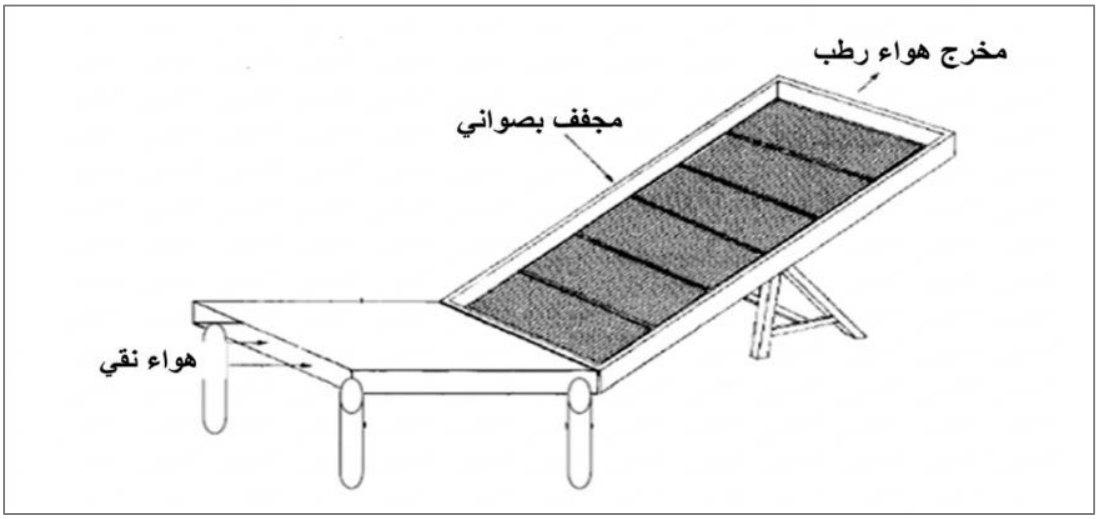


الشكل II.٢. مجفف الصندوق (الوضع غير المباشر).[18]

II.3.1.2.مجفف هزاز:

يحتوي المجفف الهزاز [19] على إطار صلب طوله ثلاثة أجزاء عرضه، يرتكز على دعامة محورية، هذه الدعامة موجهة من الشمال إلى الجنوب، مرتفعة بما فيه الكفاية بما يسمح بإمالة الإطار 30درجة شرقًا في الصباح والغرب في فترة ما بعد الظهر.

يتم وضع المنتج على عدد من الصواني، التي لها إطار خشبي بأبعاد 100× 50سم وقاعدة شبكية، والتي يمكن أن تكون مصنوعة من منتجات مختلفة، مثل شبكة سلك، وشباك الصيد القديمة، وشبكة خيوط الخيزران أو أي مادة أخرى تسمح بتدوير الهواء عموديًا وأقصى قدر من النجاح.



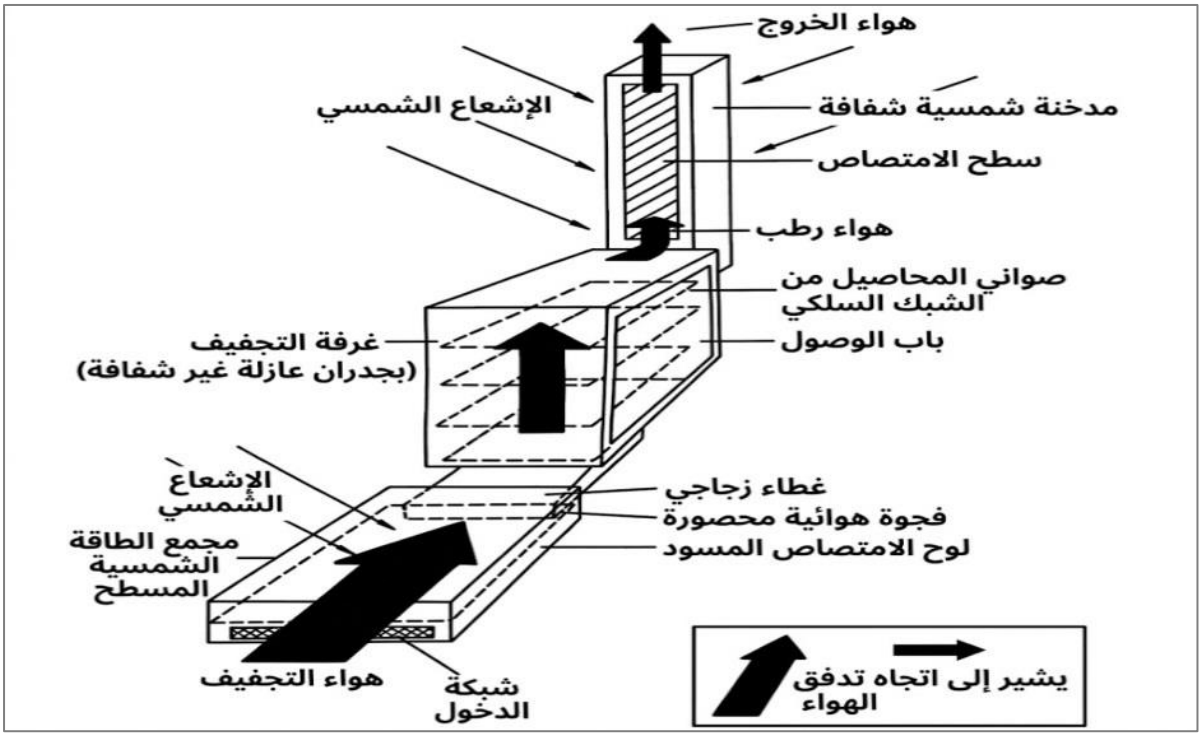
الشكل II.٣. المجفف الهزاز (الوضع غير المباشر).[19]

II .4.1.2. مجفف شمسي صندوقي:

يُوضع المحصول في صوانٍ أو رفوف داخل حجرة تجفيف. إذا كانت الحجرة شفافة، يُسمى المجفف مجففًا شمسيًا متكاملًا أو مباشرًا. أما إذا كانت الحجرة معتمة، فيُسمى المجفف مجففًا شمسيًا موزعًا أو غير مباشر. تجمع المجففات المختلطة بين خصائص النوعين المباشر وغير المباشر.

في معظم الحالات، يُسخّن الهواء أثناء مروره عبر مُجمِّع شمسي، ثم يمر عبر أنابيب الهواء في حجرة التجفيف وعلى صوانٍ تحتوي على المحاصيل. بعد ذلك، يُسحب الهواء الرطب عبر فتحات تهوية أو مدخنة في أعلى الحجرة.

الخزانة عبارة عن صندوق كبير من الخشب أو المعدن. يجب عزلها جيدًا لتقليل فقدان الحرارة، كما يجب أن تكون متينة. يُنصح باستخدام ألواح أو طلاءات مقاومة للماء في تصنيعها.



الشكل II.٤. مجفف الخزانة (الوضع غير المباشر).[19]

II.5.1.2. مجففات الطاقة الشمسية النشطة:

تُعرف المجففات الشمسية النشطة أيضًا باسم مجففات الحمل الحراري القسري أو الهجينة. يُمكن توفير تدفق هواء مثالي داخل المجفف طوال عملية التجفيف للتحكم في درجة الحرارة والرطوبة ضمن نطاقات واسعة بغض النظر عن الظروف الجوية. بالإضافة إلى ذلك، يُمكن التحكم في تدفق الهواء حتى في العمق الظاهري. وبالتالي، تزداد سعة وموثوقية هذه المجففات بشكل ملحوظ مقارنةً بمجففات الحمل الحراري الطبيعي. من المتعارف عليه أن مجففات الحمل الحراري القسري المصممة جيدًا أكثر كفاءة وقابلية للتحكم من الأنواع ذات الدوران الطبيعي.

يُمكن استخدام الحمل الحراري القسري لتقليل وقت التجفيف بمقدار ثلاثة أضعاف وتقليل مساحة المستشعر المطلوبة بنسبة 50%. لذلك، يُمكن لمجفف يستخدم مراوح تحقيق نفس معدل التدفق الذي يحققه مجفف الحمل الحراري الطبيعي مع مُجمِّع أكبر بست مرات [20].

يُمكن تزويد المراوح بالكهرباء إذا كانت متوفرة أو بلوحة شمسية كهروضوئية. كما يُمكن تشغيل جميع أنواع مجففات الحمل الحراري الطبيعي تقريبًا باستخدام الحمل الحراري القسري.

II .6.1.2. مجففات شمسية نشطة مع خزانة تهوية:

إذا كانت الكهرباء متوفرة، فإن توصيل المراوح بالشبكة أرخص من توصيلها بنظام الطاقة الشمسية. بالإضافة إلى المراوح، يمكن توصيل وحدة تحكم إلكترونية بالشبكة، قادرة على ضبط درجة الحرارة المناسبة وفقًا لسرعة المروحة المتغيرة.

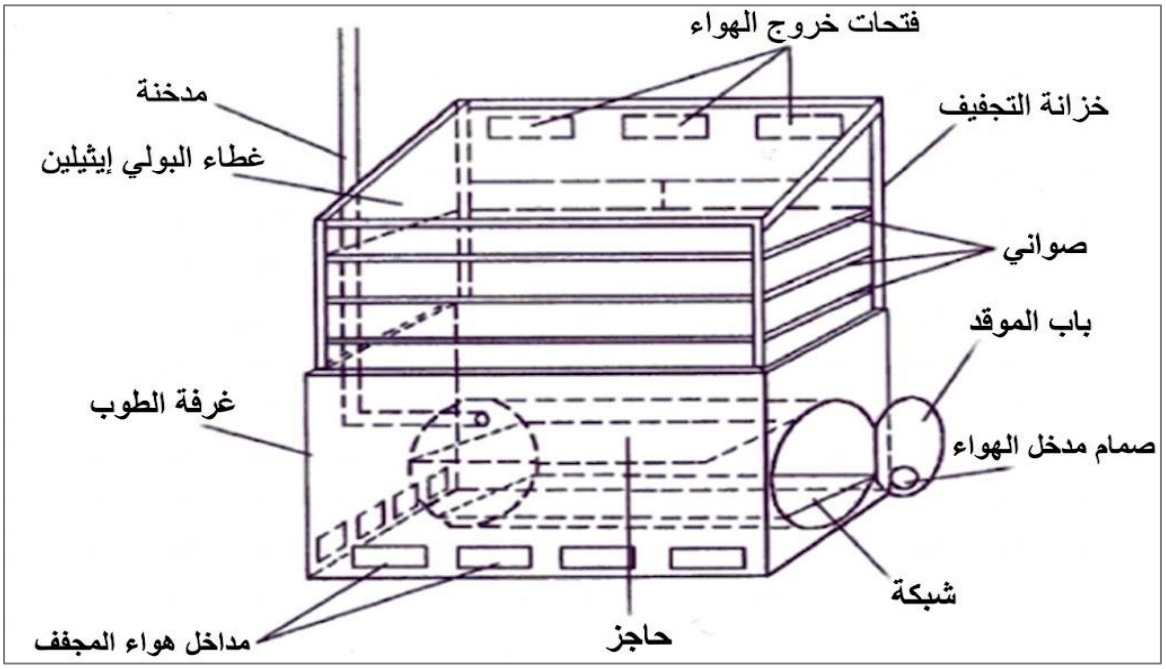
في نظام يعمل بلوحة كهروضوئية، تُوصل المروحة مباشرةً باللوحة الشمسية، وتعمل دون بطارية أو وحدة تحكم بالشحن. يؤدي ازدياد الإشعاع الشمسي إلى زيادة قدرة اللوحة، مما يُسرّع المروحة. يتميز هذا النظام بسهولة التحكم في درجة الحرارة، وبالتالي الاستغناء عن أي جهاز تحكم إضافي طالما كان حجم النظام مناسبًا.

الشكل II.٥. مروحة مدعومة باللوحة الكهروضوئية [21].

II .7.1.2. مجففات مع التدفئة المساعدة:

من العيوب الكبيرة للمجففات الشمسية أنها تستخدم عادة دون أي شكل من أشكال التدفئة المساعدة. بالنسبة للمنتجين التجاريين، يحد هذا العامل من قدرتهم على معالجة المحصول عندما يكون الطقس سيئًا. يؤدي هذا أيضًا إلى إطالة وقت التجفيف، حيث لا يمكن أن يحدث التجفيف إلا خلال النهار عندما يكون الإشعاع الشمسي كافيًا. وهذا لا يحد من الإنتاج فحسب، بل يمكن أن يؤدي إلى منتج أقل جودة. بالنسبة

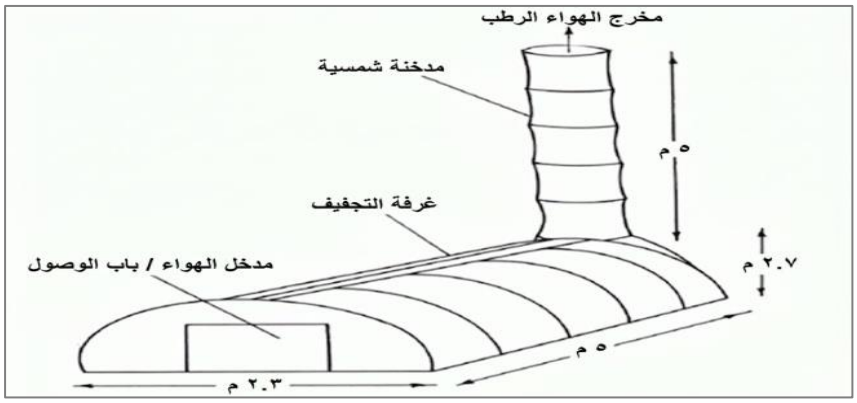
للمنتجين التجاريين، تعد القدرة على المعالجة المستمرة بشكل موثوق أمرًا مهمًا لإرضاء أسواقهم [21]. لذلك، فمن الضروري إضافة نظام النسخ الاحتياطي لعلاج هذه المشكلة.



الشكل II.٦. مجفف بالحمل الطبيعي مع معزز[21].

II.8.1.2. مجففات الدفيئة:

تتمثل فكرة مجفف الدفيئة في استبدال وظيفة المجمع الشمسي بنظام الدفيئة. ويمكن أن يصنع سقف وجدران هذا المجفف الشمسي من مواد شفافة مثل الزجاج أو الألياف الزجاجية أو ألواح البولي كربونات. ويتم تثبيت المواد الشفافة على هيكل فولاذي داعم أو أعمدة باستخدام البراغي والصواميل وحشية مطاطية لمنع الهواء الرطب أو مياه الأمطار من التسرب إلى الحجرة بخلاف تلك التي تدخل من خلال فتحة المدخل. ولتحسين امتصاص الإشعاع الشمسي، يجب توفير أسطح سوداء داخل الهيكل. وتوضع مراوح السحب والشفط في الموضع المناسب داخل الهيكل لضمان التوزيع المتساوي لهواء التجفيف. وتتيح مجففات الدفيئة درجة أكبر من التحكم في عملية التجفيف مقارنة بمجففات الخزانة، كما أنها أكثر ملاءمة للتجفيف على نطاق واسع[22].



الشكل II.٧. مجفف دفيئة مزود بمدخنة.[18] .

II .2.2. دراسة ببليوغرافية:

❖ **تخزين الحرارة لأنظمة التجفيف:**

يعد تخزين الطاقة أمراً ضرورياً في الأماكن التي ترتفع أو تنخفض فيها كثافة الإشعاع، وكذلك في الحالات التي يتعين فيها تجفيف المحاصيل في عملية مستمرة، مباشرة بعد الحصاد. ويؤدي استخدام أجهزة التخزين إلى زيادة التكلفة الرأسمالية الأولية بالإضافة إلى تكلفة التشغيل. ولتجنب النفقات غير الضرورية، يجب اللجوء إلى التخزين في الحالات التالية:

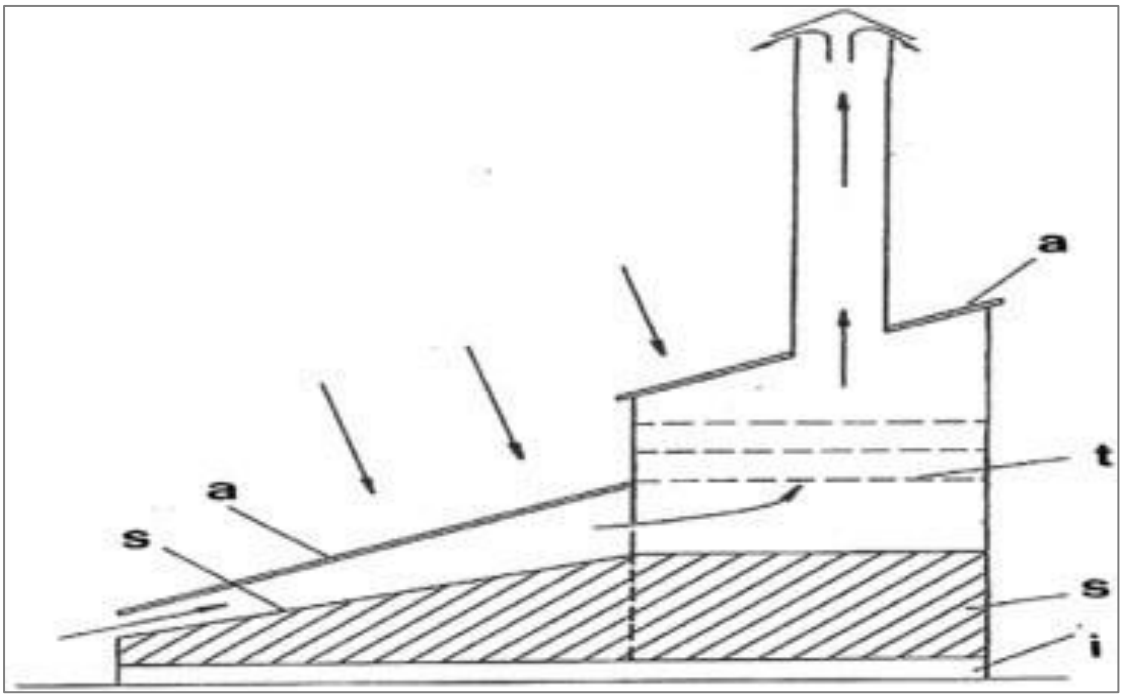
- ✓ عندما تكون كثافة الطاقة الشمسية عالية، ويجب تخزين الطاقة لتجنب التجفيف المفرط للمنتج عند درجات حرارة مرتفعة.
- ✓ عندما يكون المنتج الزراعي شديد الحساسية تجاه درجات الحرارة. فمن خلال تخزين الطاقة الشمسية الزائدة، يمكن تنظيم درجة الحرارة والتحكم فيها بسهولة.
- ✓ عندما يتعين أن تستمر عملية التجفيف طوال الليل. ويتعلق هذا الحال بالمنتجات الحساسة التي يجب تجفيفها فور حصادها.

وتشمل الطريقتان الأكثر شيوعًا لتخزين الحرارة ما يلي:

١) تخزين الحرارة بواسطة سائل التشغيل داخل المجمع.

٢) تخزين الحرارة المباشر عن طريق الإشعاع.

في الحالة الأولى، يمكن تخزين الحرارة الحساسة في الماء، إذا استُخدم الماء كسائل تشغيل للمجمع، أو عند استخدام الهواء، في وسيط صلب غير مكلف، مثل الحصى أو الصخور، إلخ [23]



الشكل II.٨. مجفف شمسي غير نمطي يعمل بنظام الدوران الطبيعي المختلط ومزود بنظام تخزين حراري مدمج.[23]

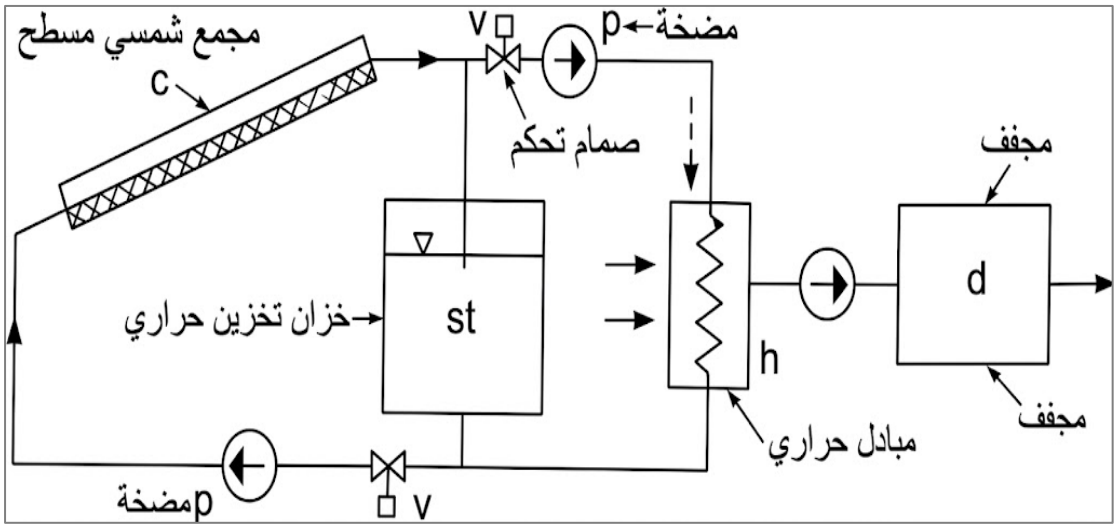
a: غطاء شفاف.

i: عازل من القش.

t: صواني تحتوي على المادة.

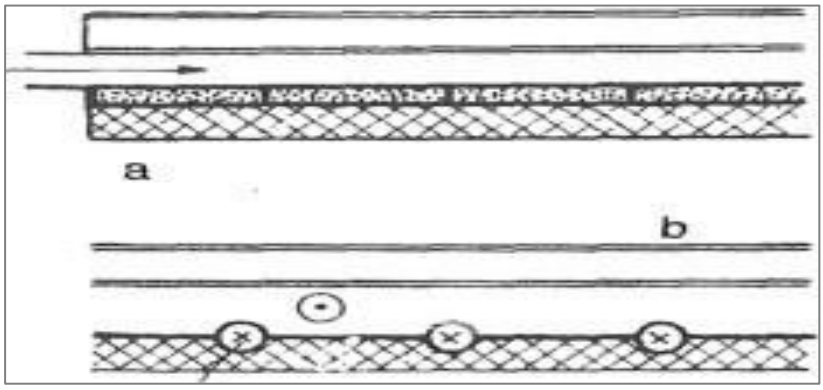
s: مساحة تخزين الحصى.

عند استخدام الماء كوسيلة لنقل الحرارة، من الضروري وجود مبادل حراري وسيط. ويُظهر الشكل : II .9نظام تجفيف يستخدم الماء كوسيلة للتدفئة والتخزين. يتم تسخين الماء داخل المجمع (c) وتخزينه عن طريق تسخين الهواء الجاف في المبادل الحراري(h) ، ومن ثم يتم إعادته إما إلى خزان التخزين أو إلى المجمع، اعتمادًا على الوقت من اليوم أو شدة الإشعاع الشمسي. يتدفق الهواء الساخن مباشرة إلى المجفف .(d)تعمل المضخات(p) والصمامات (v) على تنظيم تدفق الماء[23]



الشكل II.٩. نظام تجفيف يستخدم الماء كسائل تشغيل وتخزين [23].

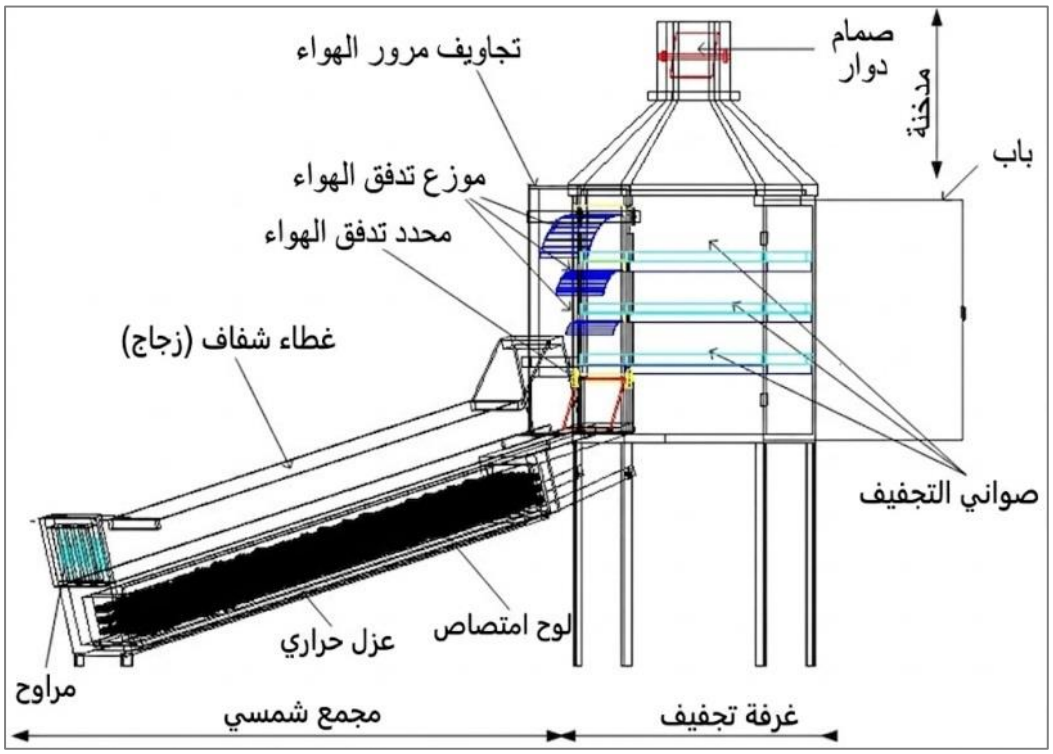
عندما يُستخدم الهواء كوسيط لنقل الحرارة، لا تكون هناك حاجة إلى مبادل حراري، حيث يتم توجيه الهواء الساخن من المجمع مباشرةً إلى المجفف أو عبر وحدة التخزين، حيث يتم تخزين الحرارة في الصخور، كحرارة حساسة. يُستخدم التخزين عن طريق الإشعاع الحراري المباشر إما كمادة متغيرة الطور أو كمجمعات من النوع الهجين السائل/الهوائي. ويظهر في **الشكل** II .10 مقطع عرضي لنوعي أنظمة التجميع/التخزين بالإشعاع المباشر[23].



الشكل II.١٠. التخزين المباشر المتكامل للحرارة عن طريق الإشعاع a، الحرارة الكامنة. [23].

مجفف شمسي من نوع الدفيئة مزود بمخازن حرارية من الحصى **الشكل** II .11. الجدران الشمالية والجانبية مبنية من الطوب، أما الجدار المائل المواجه للجنوب فهو مغطى بنافذة عادية. يحتوي الفراغ (ب) على مجمع حراري، وخزان أسطواني مملوء بالحصى (أ.ك.)، وسخان هواء. ويشكل كلاهما "غرفة صندوقية ساخنة". يتم تثبيت صفيحة معدنية سوداء (س) بالتوازي مع الغطاء الشفاف، لتشكل مجمعًا حراريًا "شبه" يحمي المادة في الوقت نفسه من التعرض المباشر للإشعاع الشمسي. يتم توصيل الجزء العلوي من غرفة

التجفيف (د) بالمخازن بواسطة أنبوب (هـ)، حيث يطلق الهواء الدافئ الرطب جزءًا من حرارته قبل أن يتم تصريفه إلى المحيط، بينما يتم توصيل أنبوب الهواء الموجود أسفل الغرفة بمسخن الهواء (هـ). يمكن تجفيف 500 إلى 600 كجم من المشمش والطماطم وغيرها من الفواكه والخضروات في كل دورة تجفيف[23].



الشكل II.١١. مجفف شمسي غير مباشر من نوع الدفيئة [23].

II .3.2. مزايا وعيوب التجفيف الشمسي غير المباشر:

تتميز تقنية التجفيف الشمسي غير المباشر بالمزايا فقط. أما عيبها الوحيد فهو التكلفة الرأسمالية الأولية المرتفعة للمجفف، وموقع التركيب، وجميع المعدات المساعدة الضرورية، مثل القنوات والأنابيب والمراوح وأدوات التحكم والقياس، فضلاً عن الحاجة إلى موظفين يتمتعون بمهارات جيدة لتشغيل عملية التجفيف. وتتمثل المزايا في [23]:

- معدل التجفيف مرتفع. يتم تجفيف المنتجات الزراعية في غضون 15–30 ساعة بدلاً من بضعة أيام على سبيل المثال.
- يمكن التحكم في عملية التجفيف بطريقة علمية، مما يضمن الحصول على نسبة رطوبة مناسبة للمنتج النهائي، وفقاً للمواصفات. وبالتالي، يمكن تخزين المنتج المجفف لفترة طويلة.
- لا توجد أي خسائر على الإطلاق، حيث لا يتعرض المنتج لأي ظواهر طبيعية.

- بالنسبة لنفس الكمية من المواد، فإنها تحتاج إلى مساحات سطحية أصغر بسبب وضع الصواني في أكوام، واحدة فوق الأخرى، داخل المجففات.
- زيادة الإنتاجية، حيث يمكن إعادة تحميل المجففات في غضون ساعات قليلة.
- مرونة المجفف في استيعاب المحاصيل الموسمية المماثلة، مما يتيح تشغيل النظام على مدار العام تقريبًا.

ارتفاع تكاليف رأس المال الأولي والتشغيل يعادل جزئيًا تكاليف التجفيف المباشر بالشمس.

II .3. المواد القابلة للتجفيف:

تُستخدم المجففات الشمسية لتجفيف العديد من المحاصيل والمنتجات مثل الحبوب والأعشاب والخضروات والفواكه ومنتجات الألبان والأسماك. وبالنسبة لكل نوع، يجب تكييف تصميم المجفف الشمسي بحيث تكون درجة الحرارة وتدفق الهواء في أفضل حالاتهما لتحقيق تجفيف جيد مع الحفاظ على جودة المنتج. وتتطلب الأطعمة الرطبة مثل المانجو والأناناس والطماطم يومين كاملين من التجفيف تحت أشعة الشمس. على الرغم من أنه يمكن تجفيف بعض الأطعمة تجفف في يوم واحد. أما بالنسبة لمنتجات الخشب الصلب، مثل الأعشاب، فلا تستغرق سوى جزء من اليوم الجدول.[24] (II .1)

الجدول II .١. شروط التجفيف المناسبة لمحاصيل زراعية تم تجفيفها [24]

المحصول	نسبة الرطوبة الأولية (بالنسبة المئوية)	نسبة الرطوبة النهائية (بالنسبة المئوية)	أقصى درجة حرارة مسموح بها للتجفيف (درجة مئوية)
الأرز الخام	22–24	11	50
الأرز المسلوق	30–35	13	50
الذرة الصفراء	35	15	60
القمح	20	16	45
الذرة	24	14	50
الأرز	24	11	50
البقوليات	20–22	9–10	40–60
البذور الزيتية	20–25	7–9	40–60
البازلاء الخضراء	80	5	65
القرنبيط	80	6	65

الجزر	70	5	75
الفاصوليا الخضراء	70	5	75
البصل	80	4	55
الثوم	80	4	55
الملفوف	4	4	55
البطاطا الحلوة	7	7	75
البطاطس	7	7	75
التوابل	5	5	65
المشمش	18	18	65
التفاح	24	24	70
الزبيب	15-20	15-20	70
الموز	15	15	70
الجوافة	7	7	65
الجامبو	20	20	65
الأناناس	10	10	65
الطماطم	10	10	60
الشمندر	5	5	70
أوفيرني	6	6	60

II .1.3. الطرفة:

الطرفة هي نبتة صحراوية تنمو في المناطق الجافة وتتميز بقدرتها على تحمل الحرارة وقلة المياه. تُستخدم في بعض الاستعمالات التقليدية والبيئية، كما تُعد من النباتات المناسبة للتجفيف بسبب احتوائها على نسبة رطوبة معتدلة وسهولة فقدانها للماء عند تعريضها للهواء الساخن. ومن خصائص تجفيفها أنها تحتاج إلى حرارة معتدلة وتهوية جيدة للحفاظ على لونها وخصائصها الطبيعية، كما أن تجفيفها بطريقة غير مباشرة يساعد على حمايتها من التلف وفقدان مكوناتها المفيدة.

II .2.3. الشمندر:

الشمندر هو نبات جذري يُزرع في العديد من المناطق ويتميز بلونه الأحمر الداكن وقيمته الغذائية العالية، إذ يحتوي على الفيتامينات والمعادن ومضادات الأكسدة. يُستهلك طازجًا أو مطبوخًا ويُستخدم في

السلطات والعصائر وبعض الصناعات الغذائية. ويُعد مناسبًا للتجفيف بسبب احتوائه على نسبة جيدة من المواد الصلبة، حيث يفقد الماء تدريجيًا عند تعريضه للهواء الساخن. ومن خصائص تجفيفه أنه يحتاج إلى حرارة معتدلة وتهوية جيدة للحفاظ على لونه الأحمر وطعمه وقيمته الغذائية، كما يساعد التجفيف غير المباشر على تقليل التلف والمحافظة على جودة المنتج.

II .4. خاتمة:

في هذا الفصل، تطرقنا إلى دراسة موسعة حول أنظمة التجفيف الغير مباشر وهياكلها، بالإضافة إلى الدراسة الببليوغرافية حول تخزين الحرارة في تلك الأنظمة، كما تم ذكر مختلف المحاصيل الزراعية التي استخدمت للتجفيف بهذا النظام بناءا على هذه المعلومات تم اختيار المجفف الشمسي الغير مباشر الذي سنستخدمه في دراستنا بالإضافة إلئ المحاصيل التي سيتم تجفيفها وهذا ما سنرا في الفصل الثالث .

الفصل الثالث
الدراسة التجريبية للمجفف الشمسي الغير مباشر

III.1. المقدمة:

في هذا المحور سنتطرق لدراسة تجريبية لتجفيف محاصيل زراعية بمنطقة وادي سوف بدا باختيار نوعية المجفف الشمسي المناسب واختيار نوعية المواد المكونة لأجزائه والتي تستطيع بدورها ضمان تجفيف وفقا للشروط الصحية والنوعية للمحاصيل الزراعية التي تستجوب فيها عملية التجفيف بالإضافة إلى أجهزة القياس المناسبة لإنجاح هذه الدراسة

III.2. المجفف الشمسي الغير مباشر المستخدم في هذه التجربة:

المجفف الشمسي الغير مباشر الذي قمنا باستخدامه في التجربة هو جهاز لتجفيف المواد (كالمنتجات الزراعية) باستعمال الهواء الساخن الناتج عن تسخين أشعة الشمس في مجمّع حراري منفصل، ثم يُوجَّه هذا الهواء إلى حجرة التجفيف دون تعريض المادة لأشعة الشمس المباشرة، مما يحافظ على جودتها ويقلل من التلف والتلوث.

❖ **أبعاد المجفف المستعمل:**

- الطول: 180cm
- العرض:80cm
- الإرتفاع من الأمام عند دخول الهواء:30cm
- الارتفاع من الخلف عند خروج الهواء:75cm
- زاوية الميل :30°

III.1.1.2.المستقبل :

1.المواد المختارة :

قمنا في هذه التجربة بإختيار أربعة مواد مستقبلة مختلفة وهي :

❖ **الملح :**

قمنا بإستخدام الملح الصخري في المجفف الشمسي الغير المباشر بكونه بلورات حبيبية خشنة بيضاء اللون، ذات بنية مكعبة صلبة، حيث يتراوح حجم الحبة الواحدة عادةً ما بين 2ملم و٥ ملم، وهو حجم استراتيجي يسمح بتخلل الهواء وتوزيعه بانتظام. تكمن أهميته الكبرى في كونه كتلة حرارية عالية الكفاءة؛ إذ يقوم بامتصاص الطاقة الشمسية وتخزينها ثم إعادة إشعاعها تدريجياً، مما يضمن استقرار درجات الحرارة داخل غرفة التجفيف ويمنع التقلبات المفاجئة، بالإضافة إلى قدرته الطبيعية على امتصاص الرطوبة من الهواء لزيادة سرعة جفاف المنتجات. ومن الناحية الفيزيائية، يعتبر الملح مادة شديدة التحمل، حيث تصل درجة حرارته القصوى (نقطة الانصهار) إلى 801°C، وهي درجة تفوق بكثير احتياجات التجفيف الشمسي،

مما يجعله وسيطاً حرارياً آمناً لا يتلف ولا يتحلل تحت تأثير درجات حرارة التشغيل المعتادة التي تتراوح غالباً بين 45°Cو75°C.

الصورة III.٣. الملح

❖ **الحصى :**

أستخدمنا الحصى الرخامي (حصى) أو الحصى الأبيض كعنصر ممتاز لتعزيز كفاءة المجففات الشمسية غير المباشرة، حيث يتميز بشكل حبيبي غير منتظم ذو حواف حادة وأسطح خشنة تزيد من مساحة التبادل الحراري، بمتوسط حجم حبة يتراوح غالباً بين 5ملم و١٥ ملم .تكمن أهميته المحورية في قدرته الفائقة على العمل كمخزن حراري صلب؛ إذ يمتاز بسعة حرارية تجعله يمتص حرارة الشمس ببطء أثناء النهار ويطلقها بشكل مستمر ومنتظم خلال ساعات الليل أو الفترات الغائمة، مما يضمن استمرارية عملية التجفيف والحفاظ على بيئة حرارية مستقرة للمنتجات. من الناحية الفيزيائية، يتمتع هذا الحصى بمتانة عالية جداً ودرجة انصهار تتجاوز 1300°C، مما يجعله آمناً تماماً تحت أي ظروف تشغيلية داخل المجفف، كما أن المسامية بين الحبيبات تسمح بتوزيع مثالي لتيارات الهواء الساخن قبل دخولها إلى حجرة التجفيف.

الصورة III.٤. الحصى

❖ **الألمنيوم :**

قمنا بإختيار نثارة(رقائق الألمنيوم) وسيطاً استثنائياً في المجفف الشمسي غير المباشر بفضل موصليتها الحرارية العالية، حيث تظهر بشكل قطع معدنية صغيرة غير منتظمة، هشة وذات زوايا حادة، يتراوح حجم القطعة الواحدة فيها عادةً بين 1ملم و٨ ملم .تكمن الأهمية الجوهرية للألمنيوم في سرعة التبادل الحراري؛ فهو يسخن بسرعة فائقة عند تعرضه للإشعاع الشمسي ويقوم بنقل هذه الحرارة إلى الهواء المار عبره بكفاءة لا تضاهيها المواد الحجرية، مما يجعله مثالياً لرفع درجة حرارة الهواء داخل المجمع في وقت قياسي. من الناحية الفيزيائية، يتمتع الألمنيوم بمتانة ممتازة ودرجة انصهار تصل إلى حوالي 660°C، وهي درجة حرارة آمنة جداً ومستحيلة الوصول في تطبيقات التجفيف المنزلي أو الزراعي، كما أن لونه الفضي اللامع يعمل أحياناً كعاكس يساعد في تشتيت وتوزيع الضوء والحرارة داخل وحدة التسخين، مما يعزز من كفاءة النظام الإجمالية

الصورة III.٥. الألمنيوم

❖ **الحديد :**

أخترنا لوح حديد يأتي بشكل هندسي مستطيل ومسطح بأبعاد مدروسة بعناية، إذ يبلغ طوله ١.٦٠ متر بينما يصل عرضه إلى ٦٣ سم، مع سمك دقيق يبلغ ١.٢ ملم .هذا السمك تحديداً يعتبر مثالياً لأنه يوازن بين المتانة الهيكلية وسرعة التوصيل الحراري، مما يمنع فقدان الطاقة في تسخين كتلة معدنية كبيرة ويسمح بانتقال الحرارة فوراً إلى الهواء المار فوقه. تكمن الأهمية القصوى لهذا اللوح في كونه الوسيط الحراري الأساسي المسؤول عن تحويل الطاقة الإشعاعية إلى حرارة ملموسة، مستفيداً من مساحته السطحية الواسعة. ومن الناحية الفيزيائية، يتميز الحديد بمتانة عالية ودرجة انصهار فائقة تصل إلى 1538°C، مما يضمن صموده وعدم تشوهه تحت درجات الحرارة المركزة، بينما تساهم أبعاده الكلية في رفع كفاءة المجفف الشمسي للوصول إلى درجات حرارة تشغيلية مثالية تتراوح بين 50°C و80°.

الصورة III.٧. الحديد

3.الخصائص الفيزيائية للمواد المستقبلة :

الجدول III.٢ الخصائص الفيزيائية للمواد المستقبلة

المادة	الناقلية الحرارية (W/m·K)	السعة الحرارية النوعية (J/kg·K)	الكثافة (kg/m³)
الملح(NaCl)	6.5	850	2160
الحديد(Fe)	80	450	7870
الحصى	1.5 – 3.5	790 – 920	2600 – 2800
الألمنيوم(Al)	237	900	2700

4.أنواع المواد المختارة للمستقبل :

من المواد المختارة توجد مواد محفزة وأخرى مخزنة للطاقة الحرارية وهي:

- الحديد: محفز للحرارة
- الألمنيوم: محفز للحرارة
- الحصى: مخزن للحرارة
- الملح: مخزن للحرارة

III.3.المادة المستخدمة للتجفيف :

1) الطرفة:

تعتبر عشبة الطرفة من النباتات البرية المعمرة التي تكيفت مع البيئات الصحراوية والمناطق الملحية، وتتميز بأوراقها الدقيقة. يهدف تجفيفها بشكل أساسي إلى استخلاص فوائدها في الطب الشعبي، حيث تُستخدم الأجزاء المجففة كمادة قابضة ومطهرة للجروح أو في "التبخير" لعلاج بعض الأمراض الصدرية والجلدية، بالإضافة إلى استخدامها في دباغة الجلود نظراً لغناها بمادة العفص. أما موسمها فهي تبلغ ذروة نشاطها وتزهيرها مع بداية فصل الربيع وحتى مطلع الصيف، وهو الوقت المثالي لجمعها وتجفيفها لضمان احتفاظها بخصائصها الطبيعية وزيوتها العطرية قبل أن تيبس بفعل حرارة الصيف الشديدة

الصورة III.٧. الطرفة

2) الشمندر :

يُقصد بـ البيطراف (أو الشمندر السكري/الشمندر الأحمر) نبات جذري، ويُعد من المحاصيل الزراعية المهمة عالميًا. يتميز بلونه الأحمر الغني واحتوائه على نسبة عالية من السكريات والفيتامينات مثل فيتامين

Cوالمعادن كالحديد والبوتاسيوم، مما يجعله مفيدًا للصحة، خاصة في دعم الدورة الدموية. يُستعمل البيطراف في التغذية البشرية (طازجًا أو مطبوخًا أو كعصير)، كما يُستخدم في الصناعة لاستخراج السكر. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تجفيفه لاستعماله في الصناعات الغذائية أو حفظه لفترات طويلة، مما يجعله مناسبًا لمشاريع التجفيف خاصة باستخدام الطاقة الشمسية نظرًا لاحتوائه على نسبة ماء مرتفعة وسهولة معالجته. يُعرف الشمندر بأنه نوع من الخضروات الجذرية الدرنية التي تنتمي للفصيلة القطيفية، ويشتهر بلونه الأرجواني الداكن وقيمته الغذائية العالية كونه غنيّاً بالحديد والفيتامينات. يهدف تجفيفه (سواء كان على شكل شرائح أو مسحوق) إلى الحفاظ على عناصره الغذائية لفترات طويلة لاستخدامه كمصبغ طبيعي آمن للأغذية، أو كإضافة صحية للعصائر والمخبوزات لتعزيز طاقة الجسم وتحسين تدفق الدم. أما موسمه الأساسي، فهو من النباتات التي تفضل الأجواء المعتدلة والمائلة للبرودة، حيث يُزرع عادةً في فصل الخريف ويُجنى خلال الشتاء وبداية الربيع، لضمان الحصول على جذور حلوة المذاق وذات قوام مثالي قبل أن تتأثر بجفاف وحرارة الصيف.

الصورة III.٨. الشمندر

III.4.أجهزة القياس المستخدمة :

١) جهاز قياس الحرارة:

يُعرف هذا الجزء باسم حساس الحرارة الرقمي(Digital Temperature Probe) ، وهو غالباً من نوع DS18B20المحمي بغلاف من الفولاذ المقاوم للصدأ، وينتمي لفئة الحساسات التي تعمل بنظام السلك

الواحد .(One-Wire) يُستخدم هذا الحساس في عمليات التجفيف لمراقبة درجة حرارة المادة المراد تجفيفها أو حرارة الهواء داخل قنوات التجفيف بدقة عالية، حيث يتم غرز الجزء المعدني مباشرة داخل أكوام الأعشاب أو المحاصيل لمتابعة التغيرات الحرارية في العمق. وتكمن أهميته في منع حدوث "الاحتراق الحراري" للمواد الحساسة، وضمان بقاء الحرارة ضمن النطاق المثالي الذي يسمح بتبخر الماء دون تدمير الأنزيمات أو الخصائص الكيميائية للنبات، كما يتميز بقدرته على العمل في البيئات الرطبة بفضل غلافه العازل والمقاوم للماء.يُعرف هذا الجهاز باسم الترمومتر(Thermometer) ، ويعمل بعدة تقنيات حسب نوعه، مثل التمدد الحراري في السوائل (كالزئبق أو الكحول)، أو الحساسات الإلكترونية في الأجهزة الحديثة. تُقاس درجة الحرارة عادة بوحدة الدرجة المئوية(°C) أو الكلفن .(K) يُستخدم جهاز قياس الحرارة في مراقبة الظروف داخل المجفف الشمسي غير المباشر لضمان بقاء درجة الحرارة في المستوى المناسب لتجفيف المواد دون تلفها، كما يُستعمل في مجالات الطب، الصناعة، والأرصاد الجوية.

5)جهاز قياس الكتلة:

يُعد هذا الجهاز ميزانًا رقميًا إلكترونيًا(Digital Kitchen/Laboratory Scale) ، وهو من الطراز الشائع SF-400الذي يعمل بحساسات ضغط عالية الدقة لتحويل الوزن إلى إشارة رقمية تظهر بوحدات الجرام أو الأونصة. يُستخدم هذا الجهاز في عمليات التجفيف كأداة قياس جوهرية لمراقبة "الفقد في الكتلة"، حيث يتم وزن العينات (مثل عشبة الطرفة في الصورة) قبل البدء بالتجفيف وبشكل دوري أثنائه؛ وذلك لتحديد المحتوى المائي وحساب اللحظة الدقيقة التي تصل فيها المادة إلى الوزن الثابت المستهدف. يُعرف هذا الجهاز باسم الميزان(Balance) ، وتوجد منه أنواع مختلفة مثل الميزان الإلكتروني والميزان ذو الكفتين. يعتمد في عمله على مقارنة أو قياس وزن الجسم بدقة عالية، وتُقاس الكتلة عادة بوحدة الغرام(g) أو الكيلوغرام.(kg)

في مشاريع التجفيف الشمسي، يُستخدم جهاز قياس الكتلة لمتابعة نقص وزن المادة أثناء التجفيف، مما يساعد على تحديد نسبة فقدان الماء ومعرفة مدى تقدم عملية التجفيف وجودتها.

الصورة III.١٣. جهاز قياس الكتلة

III.5.التجربة :

III.1.5. تجفيف الطرفة :

III.1.1.5. التجفيف بواسطة الفرن الكهربائي :

- إختيار المناسب للعشبة
- تقطيع الاغصان إلى قطع متساوية الطول لضمان توزيع الحرارة بشكل منتظم
- وضع 5عينات ذات20غ في كل بيشر
- إعداد درجة حرارة الفرن على 40°
- وضع العينات الخمسة في الفرن
- وزن العينات كل ساعة لمعرفة مدة تجفيفها

الصورة III.١٤. التجفيف بواسطة الفرن الكهربائي

III.2.1.5. التجفيف بواسطة المجفف الشمسي الغير مباشر :

- جمع عشبة الطرفة واختيار أجزاء متشابهة (أغصان أو أوراق) .
- تنظيفها جيدًا من الغبار والشوائب دون غسل مفرط لتجنب زيادة الرطوبة .
- تقطيعها إلى قطع متقاربة الحجم لضمان تجفيف متجانس .
- استعمال جهاز قياس الكتلة (الميزان) لوزن العينة قبل التجفيف .
- تسجيل القيمة بدقة (g).

الصورة III.١٥. التجفيف بواسطة المجفف الشمسي الغير مباشر

III.2.5. تجفيف الشمندر:

III.1.2.5. التجفيف بواسطة الفرن الكهربائي :

- اختيار حبات طازجة وخالية من العيوب .
- غسلها جيدًا لإزالة الأتربة .
- تقطيعها إلى شرائح رفيعة ومتجانسة (3–5 مم) لضمان تجفيف متساوٍ.
- وضع 5عينات ذات60غ في كل بيشر
- إعداد درجة حرارة الفرن على 40°
- وضع العينات الخمسة في الفرن
- وزن العينات كل ساعة لمعرفة مدة تجفيفها

الصورة III.١٦. التجفيف بواسطة الفرن الكهربائي

III.2.2.5.التجفيف بواسطة المجفف الشمسي الغير مباشر :

- اختيار حبات طازجة وخالية من العيوب .
- غسلها جيدًا لإزالة الأتربة .
- تقشيرها (اختياري حسب الاستخدام) .
- تقطيعها إلى شرائح رفيعة ومتجانسة (3–5 مم) لضمان تجفيف متساوٍ.

الصورة III.١٧. التجفيف بواسطة المجفف الشمسي الغير مباشر

- مقارنة بين المجفف الشمسي غير المباشر و الفرن الكهربائي:

الجدول III.٣. مقارنة بين المجفف الشمسي غير المباشر و الفرن الكهربائي:

الخاصية	الفرن الكهربائي	المجفف الشمسي غير المباشر
مصدر الطاقة	طاقة كهربائية	طاقة شمسية متجددة
تكلفة التشغيل	مرتفعة	منخفضة جداً
استهلاك الطاقة	يستهلك كهرباء بشكل مستمر	لا يستهلك كهرباء تقريباً
زمن التجفيف	أقصر	أطول
التحكم في درجة الحرارة	دقيق	محدود
الأثر البيئي	أقل استدامة	صديق للبيئة
لون المادة	قد يسبب اسمرار أو تغيّر اللون	يحافظ على اللون الطبيعي غالباً
القيمة الغذائية	فقدان أكبر لبعض الفيتامينات الحساسة للحرارة	يحافظ عليها بشكل أفضل
الرطوبة النهائية	تجفيف سريع وقد يكون غير متجانس أحياناً	تجفيف تدريجي ومتوازن

III.6. الخاتمة :

في هذا الفصل، قمنا بشرح مفصل لمراحل العمل لتجفيف مادتين الطرفة والشمندر في مجفف شمسي غير مباشر وهذا بالاعتماد على مستقبلات مكونة من عدة مواد على غرار مادة الحديد والملح والالمنيوم والحصى في الأخير تحصلنا على نتائج ملخصة في جداول سيتم شرحها بالتفصيل في المحور الرابع.

الفصل الرابع
النتائج والتحليل

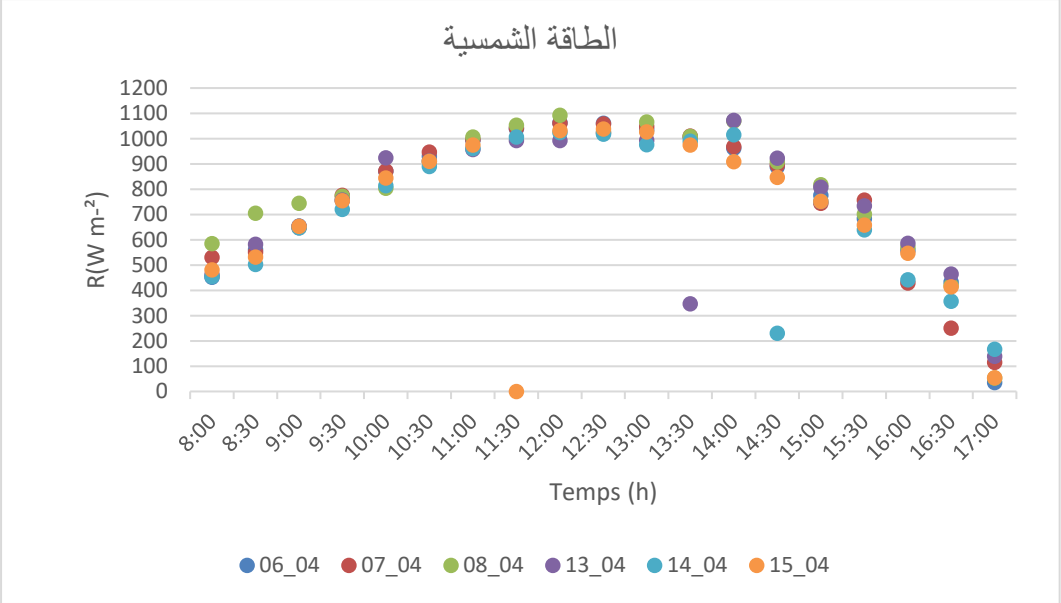
1.IV . المقدمة:

في هذا الفصل، سنناقش النتائج التجريبية لأعمالنا التي أُجريت في 06،07،08،13،14و15 أبريل 2024، باستخدام المجفف الشمسي الغير مباشر. تركز هذه النتائج بشكل أساسي على تباين درجات الحرارة، الطاقة الشمسية، سرعة الرياح، الرطوبة ودرجة الحرارة للمجمعات المستخدمة في الظروف المناخية لمنطقة الوادي. يتم عرض النتائج في شكل رسوم بيانية، توضح القيم المقاسة .

2.IV. الشروط المناخية:

1.2.IV. الطاقة الشمسية:

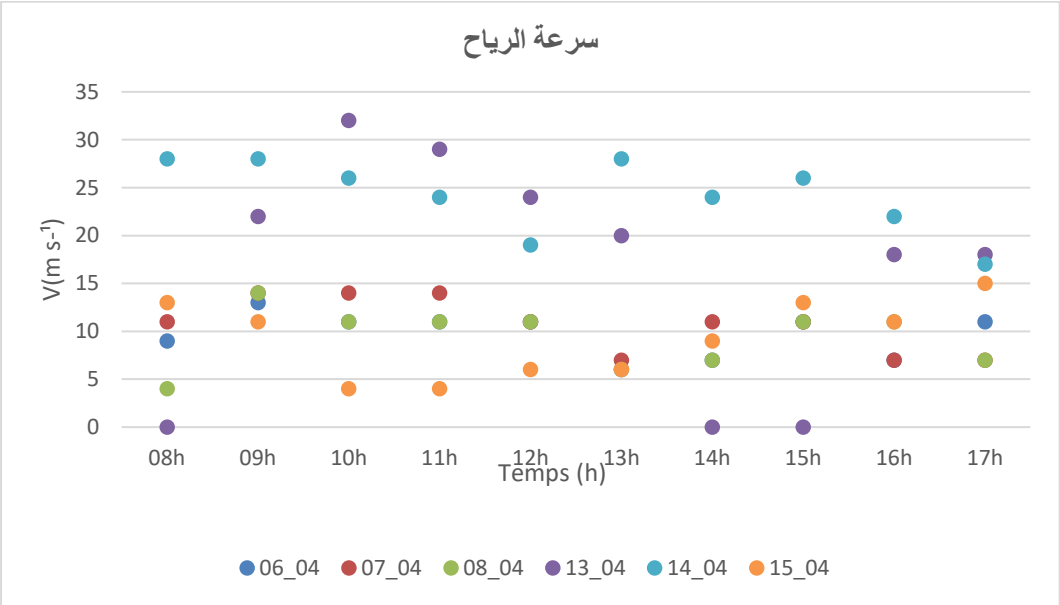
يمثل هذا البيان تغير شدة الطاقة الشمسية بدلالة الزمن خلال ستة أيام مختلفة (٠٦، ٠٧، ٠٨، ١٣، ١٤، ١٥). نلاحظ أن شدة الطاقة الشمسية ترتفع تدريجيًا منذ ساعات الصباح لتبلغ قيمتها العظمى ما بين الساعة ١٢:٠٠ و١٤:٠٠، حيث تجاوزت في بعض الأيام ١٠٠٠ W/m²، ثم تبدأ بالانخفاض تدريجيًا إلى غاية المساء. كما يظهر وجود تقارب بين المنحنيات في أغلب الفترات الزمنية، مما يدل على تشابه الظروف المناخية خلال هذه الأيام، مع تسجيل بعض الاختلافات الطفيفة الناتجة عن تغير حالة الطقس مثل السحب أو الرطوبة الجوية. وتؤكد هذه النتائج أن فترة الظهيرة تمثل أفضل فترة للاستفادة من الطاقة الشمسية في عملية التجفيف الشمسي.



الشكل IV.١. يمثل تغير شدة الطاقة الشمسية بدلالة الزمن

IV.2.2. سرعة الرياح:

يمثل هذا الرسم البياني تغير سرعة الرياح بدلالة الزمن خلال ستة أيام مختلفة من شهر أبريل (٠٦، ٠٧، ٠٨، ١٣، ١٤، ١٥). نلاحظ من خلال المنحنيات وجود تباين واضح في سرعات الرياح بين الأيام المدروسة، حيث سجل يوم 14أبريل أعلى مستويات نشاط للرياح طوال النهار، بينما شهد يوم 13أبريل ذروة مفاجئة وحادة عند الساعة 10:00صباحاً بتجاوزه لـ ٣٠ وحدة قياس، ليعود وينخفض تدريجياً. وفي المقابل، تظهر بقية الأيام (خاصة ٠٧ و٠٨ أبريل) استقراراً نسبياً في السرعات المنخفضة والمتوسطة. وبشكل عام، تتركز فترات النشاط الأعظمي للرياح ما بين الساعة 10:00و١٣:٠٠، مما يعكس تأثير التغيرات الحرارية اليومية على حركة الكتل الهوائية. وتؤكد هذه النتائج أن سرعة الرياح في هذه المنطقة تتأثر بشكل ملحوظ بالتقلبات الجوية اليومية، مما يتطلب مراعاتها عند برمجة الأنشطة التي تعتمد على استقرار الحالة الهوائية.

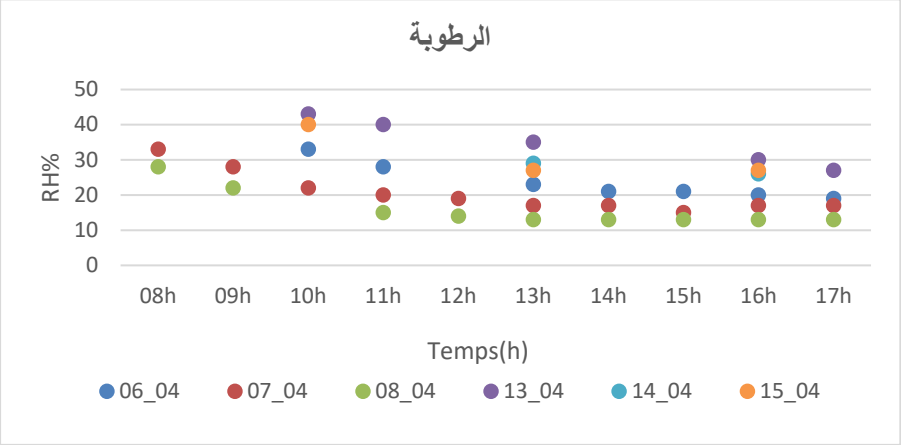


الشكل IV.٣. يمثل سرعة الرياح بدلالة الزمن

IV.3.2.الرطوبة :

يمثل هذا المنحنى تغير الرطوبة النسبية بدلالة الزمن خلال ستة أيام من شهر أبريل (٠٦، ٠٧، ٠٨، ١٣، ١٤، ١٥). نلاحظ أن قيم الرطوبة تبدأ مرتفعة نسبياً في الصباح الباكر، ثم تميل إلى الانخفاض التدريجي لتبلغ أدنى مستوياتها في منتصف النهار ما بين الساعة 12:00و١٥:٠٠، حيث انخفضت في بعض الأيام إلى ما دون ١٥٪. ويظهر اليومان 13و١٥ أبريل أعلى مستويات رطوبة خلال الفترة الصباحية (تجاوزت ٤٠٪)، بينما سجل يوم 08أبريل استقراراً عند أدنى القيم طوال النهار. وبشكل عام، يعكس هذا

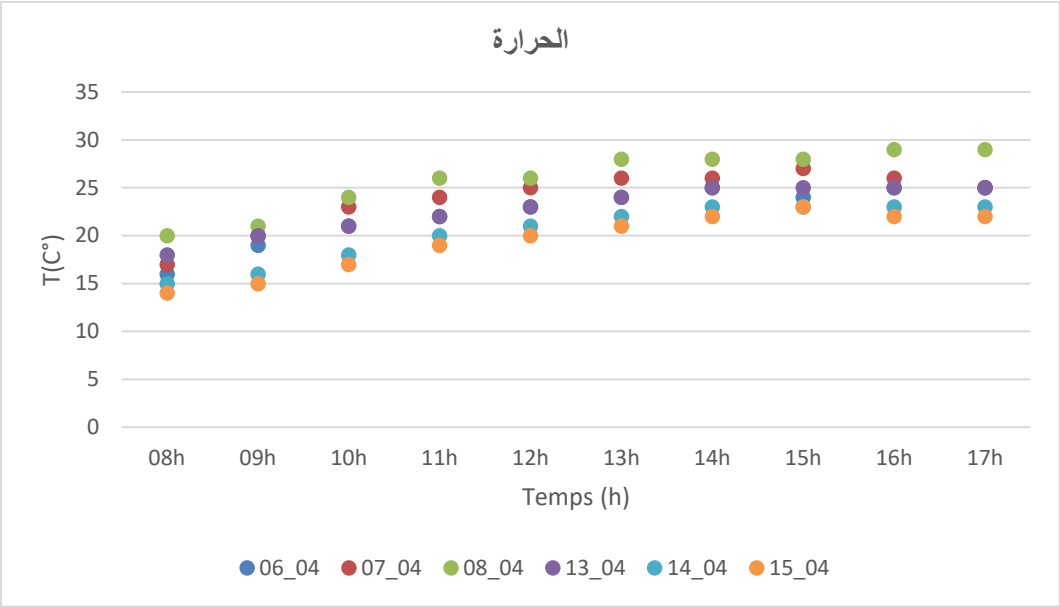
التغير علاقة عكسية مع درجة الحرارة؛ فكلما ارتفعت الحرارة في الظهيرة انخفضت الرطوبة، مما يجعل هذه الفترة (منتصف النهار) هي الأكثر جفافاً ومثالية لعمليات التجفيف الشمسي لسرعة تبخر الرطوبة من المنتجات.



الشكل IV.٣. يمثل تغير الرطوبة النسبية بدلالة الزمن

IV.4.2.درجة الحرارة:

يمثل الرسم البياني تطور درجات الحرارة بدلالة الزمن لستة أيام من شهر أبريل، مسجلاً القراءات من الساعة الثامنة صباحاً حتى الخامسة مساءً. يُظهر التحليل العام وجود نمط تصاعدي مشترك لجميع الأيام، حيث تبدأ درجات الحرارة من أدنى مستوياتها صباحاً (بين 14°C و 20°C وتستمر في الارتفاع التدريجي مع اشتداد الإشعاع الشمسي لتصل إلى ذروتها ما بين الساعة 13:00و 16:00. من خلال المقارنة بين الأيام، نلاحظ تبايناً واضحاً في الكتلة الهوائية المؤثرة؛ حيث يُعتبر يوم 04-08(باللون الرمادي) هو الأشد حرارة، إذ واصل ارتفاعه ليتجاوز حاجز 28°C عند المساء، بينما سجل يوم 04-15 (باللون الأخضر) ويوم 04-06أدنى مستويات حرارية، مما يشير إلى أجواء أكثر اعتدالاً أو تأثراً بنسمات باردة. هذا الاتساع في الفوارق الحرارية بين الأيام مع تقدم ساعات النهار، رغم تقاربها في الصباح الباكر، يعكس بوضوح التذبذب الجوي المميز لفصل الربيع، حيث تتراوح الأجواء بين الدفء الملحوظ والاعتدال اللطيف خلال فترة زمنية قصيرة.

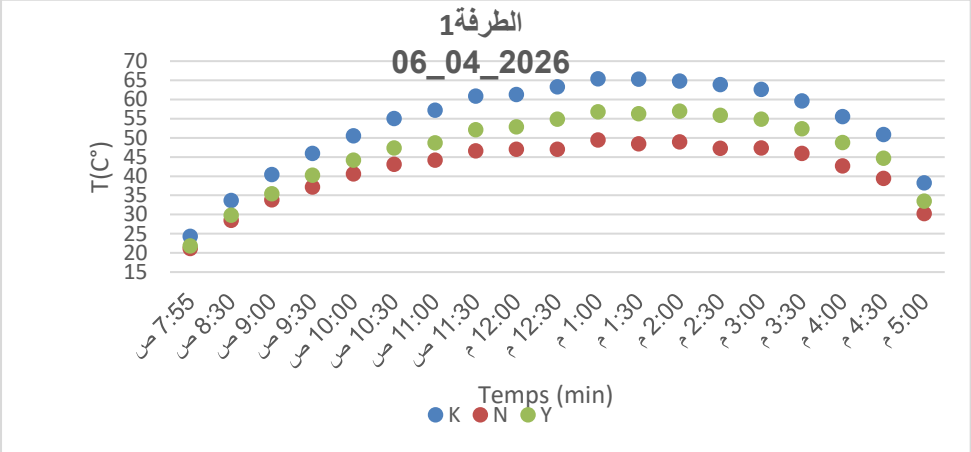


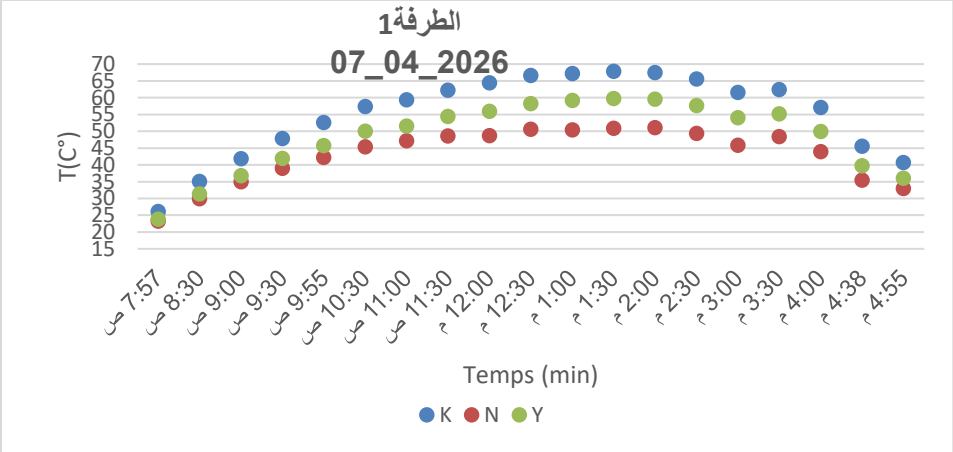
الشكل IV.٤. يمثل تطور درجات الحرارة بدلالة الزمن

3.IV. تغير درجة الحرارة في المستقبل :

1.3.IV. بالنسبة للطرفة :

تُظهر المنحنيات الحرارية لمستقبل (الألمنيوم + الحصى) أداءً مستقراً ومتوازناً خلال يومي الاختبار، حيث نجح خليط الحصى بفضل ناقليته الحرارية العالية في رفع درجة حرارة قلب المجمع (الحساس K باللون الأزرق) لتصل إلى ذروتها عند 68°Cتقريباً في منتصف النهار. ويلاحظ أن درجة حرارة الهواء الموجه للتجفيف (الحساس Yباللون الرمادي) حافظت على مستويات مرتفعة ومنتظمة تتراوح بين 55°C و 60°C، مما يضمن كفاءة انتقال الحرارة من المعدن إلى الهواء بشكل سريع ومستمر. هذا التوزيع الحراري المتقارب بين الحساسات يشير إلى استجابة حرارية فورية للإشعاع الشمسي، حيث يوفر الغرافيت توزيعاً متجانساً للحرارة داخل المجمع، مما يجعل هذا النوع من المستقبلات مثالياً لتوفير تدفق حراري ثابت وقوي طوال ساعات الذروة الشمسية

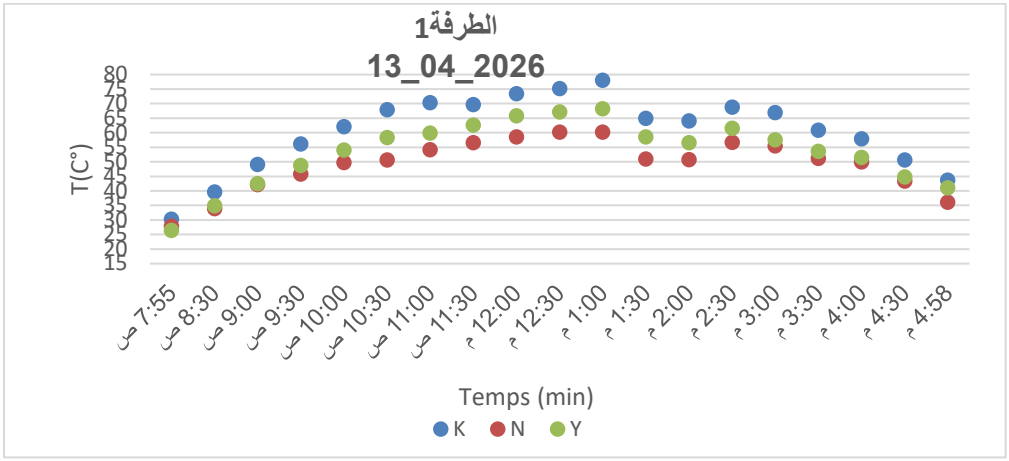


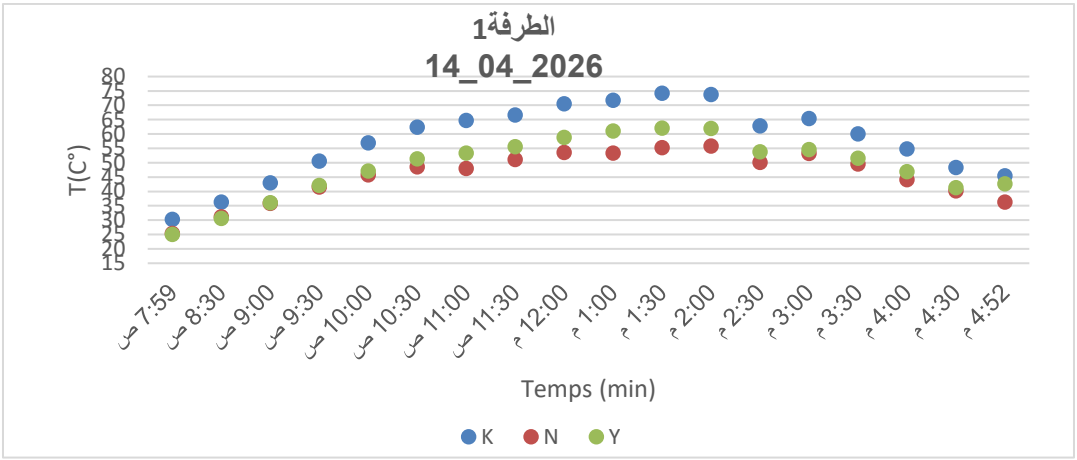


الشكل IV.٦. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في المستقبل (ألمنيوم +حصى)

IV.3.1.3.مستقبل (حديد:)

توضح المنحنيات الحرارية ليومي ١٣ و ١٤ أفريل أداء المجمع الشمسي باستخدام مستقبل الحديد، حيث يُلاحظ استجابة حرارية قوية وسريعة للإشعاع الشمسي. سجل الحساس K(باللون الأزرق الداكن) أعلى مستويات حرارة، حيث اقتربت الذروة في يوم ١٤ أفريل من حاجز 75°Cما بين الساعة 13:00و 14:30، مما يعكس القدرة العالية للحديد على امتصاص الحرارة وتركيزها. كما يظهر بوضوح أن درجة حرارة الهواء المخرج (الحساس Yباللون الرمادي) حافظت على استقرارها في مستويات ممتازة للتجفيف تتراوح بين 55°Cو 65°C، متفوقة بوضوح على درجة حرارة المدخل (الحساس Nباللون البرتقالي). يشير التباين الواضح والمنظم بين المنحنيات الثلاثة إلى كفاءة التبادل الحراري داخل المجمع، حيث ينجح مستقبل الحديد في نقل الطاقة الممتصة إلى الهواء المار بشكل تدريجي ومستقر، مما يوفر تدفقاً حرارياً قوياً كافياً لإتمام عملية التجفيف بكفاءة عالية طوال ساعات النهار.





الشكل IV.٧. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في المستقبل (حديد)

IV.4.1.3.مستقبل (حديد+ملح+ألمنيوم) :

تُظهر المنحنيات الحرارية ليومي ١٣ و ١٤ أفريل أداءً استثنائياً للمجمع الشمسي عند استخدام مستقبل هجين مكون من) الحديد، الملح، والألمنيوم(، حيث نلاحظ اندماجاً بين الخصائص الحرارية لهذه المواد. سجل الحساس I(باللون البرتقالي) أعلى مستويات حرارة، متجاوزاً عتبة 75°C ومقترباً من 80°C في يوم ١٤ أفريل، مما يعكس قدرة الحديد والألمنيوم على الامتصاص السريع للحرارة. ويبرز دور الملح بوضوح من خلال الاستقرار الحراري العالي والمنحنيات "الممتدة"، حيث يحافظ المجمع على درجات حرارة مرتفعة للهواء المخرج (الحساس Oباللون الرمادي) فوق 60°Cلفترات زمنية أطول. هذا المزيج الثلاثي حقق توازناً مثالياً بين سرعة التسخين والقدرة على تخزين الطاقة، مما يوفر تدفقاً حرارياً قوياً ومستقراً يتفوق بوضوح على درجة حرارة المدخل (الحساس Gباللون الأزرق)، ويضمن كفاءة تجفيف عالية ومستمرة حتى عند تذبذب الإشعاع الشمسي.

IV.2.3.بالنسبة للشمندر :

يعكس المنحنى الحراري ليوم 08أفريل ٢٠٢٦ الأداء الحراري لمستقبل (الألمنيوم + الملح) في تجربة "الشمندر ٢". يلاحظ من الرسم البياني الارتفاع التدريجي والمنظم لدرجات الحرارة مع تزايد الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار. سجل الحساس) I باللون البرتقالي (أعلى قيم حرارية في قلب المستقبل، حيث تجاوز حاجز 70°Cبقليل في وقت الذروة الممتد بين الساعة 12:30و 14:00، مما يثبت الكفاءة العالية لتركيبة الألمنيوم والملح في امتصاص وتخزين الطاقة الحرارية .من الناحية التقنية، يظهر الحساس) O باللون الرمادي (استقراراً ملحوظاً في درجة حرارة الهواء الخارج، حيث حافظ على مستويات تتراوح بين 60°Cو 65°Cخلال فترة الظهيرة. هذا الاستقرار يعزى إلى الدور الفعال للملح في تنظيم التدفق الحراري والحماية من التذبذبات الفجائية. كما يلاحظ بقاء درجة حرارة المدخل المتمثلة في الحساس) G باللون الأزرق (في مستويات أدنى، مما يخلق فارقاً حرارياً كبيراً ومستداماً يساهم في تسريع عملية تجفيف المنتج وضمان جودته.

IV.2.2.3. مستقبل (ألمنيوم +حصى:)

يعكس المنحنى الحراري ليوم 08أبريل الأداء المتميز لمستقبل) الألمنيوم + الملح (في يوم اتسم بشدة إشعاع شمسي عالية، حيث يلاحظ الارتفاع السلس والمنظم لدرجات الحرارة منذ الصباح الباكر. سجل الحساس I(باللون البرتقالي) أعلى مستويات حرارة في قلب المستقبل، متجاوزاً حاجز 70°Cعند وقت الذروة (بين الساعة 12:30و (13:30، مما يؤكد كفاءة الألمنيوم في الامتصاص السريع للطاقة. ومن الناحية التقنية، يظهر بوضوح دور الملح في الحفاظ على استقرار حرارة الهواء المخرج (الحساس O باللون الرمادي) التي ظلت مستقرة فوق 60°Cلفترة زمنية طويلة، مما يمنع التقلبات الحرارية المفاجئة. هذا النمط المتماسك للمنحنيات يشير إلى أن المجمع نجح في تحويل الطاقة الشمسية إلى تدفق حراري قوي ومستدام، متفوقاً بفارق كبير على درجة حرارة المدخل (الحساس Gباللون الأزرق)، وهو ما يوفر ظروفاً مثالية لتجفيف سريع ومنتظم للمنتجات.

يُظهر المنحنى استجابة حرارية قوية لمستقبل الحديد خلال يوم ١٥ أبريل، حيث تسجل الحساسات ارتفاعاً تدريجياً في درجات الحرارة منذ الصباح الباكر نتيجة الامتصاص الفعال للإشعاع الشمسي. نلاحظ أن درجة الحرارة تصل إلى ذروتها القصوى عند منتصف النهار (حوالي الساعة 12:30إلى ١٤:٠٠ (حيث تجاوز الحساس الأزرق (K) عتبة 75°C، وهي قيمة مرتفعة تعكس كفاءة الحديد في نقل الحرارة في ظروف جوية صافية. يتخذ المنحنى شكلاً جرسياً متناظراً، حيث تبدأ درجات الحرارة بالانخفاض التدريجي

بعد الساعة الثانية زوالاً مع تراجع شدة الإشعاع، كما يظهر بوضوح تفاوت حراري بين الحساسات الأربعة (K, N, Y والمشار إليه بالرمادي)، مما يدل على أن الحساس (K) يقع في منطقة التركيز الحراري الأعلى للمستقبل مقارنة بالبقية.

IV.4.2.3.مستقبل (حديد+ملح+ألمنيوم:)

يُظهر المنحنى سلوكاً حرارياً متقدماً عند دمج المواد الثلاث (حديد، ملح، وألمنيوم)، حيث نلاحظ تحسناً كبيراً في استقرارية وارتفاع درجات الحرارة المقاسة. تبدأ القيم بالصعود من حوالي 25°C صباحاً لتصل إلى ذروة استثنائية تقارب 75°C عند الحساسين (I) و (O) في الفترة ما بين 12:30 و ١٤:٠٠ . الملاحظة الأبرز في هذا المنحنى هي "التطابق الشبه تام" بين أداء النقطتين البرتقالية والرمادية، مما يشير إلى توزيع حراري أكثر تجانساً بفضل وجود الملح (كمادة مخزنة للحرارة) والألمنيوم (كمادة عاكسة وموزعة)، بينما استقر الحساس (G) عند مستويات أدنى (حوالي 40°C، ما يعكس تبايناً مقصوداً في قياس طبقات المستقبل. بشكل عام، هذا المزيج سمح للمستقبل بالاحتفاظ بدرجات حرارة عالية لفترة زمنية أطول مقارنة بالمستقبلات الأحادية المادة.

IV.4. تغير درجة الحرارة في غرفة التجفيف :

IV.1.4.بالنسبة للطرفة :

IV.1.1.4.مستقبل (ألمنيوم +ملح) :

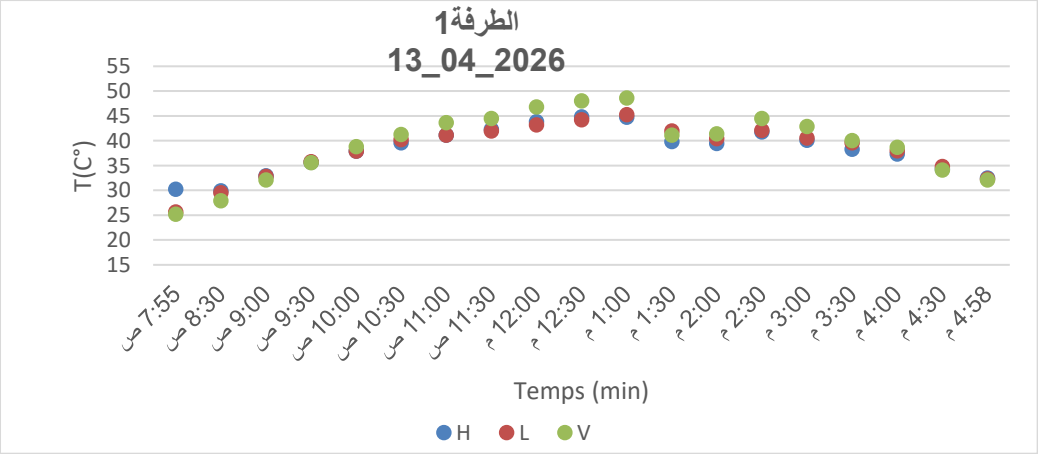
يُظهر المنحنيان استجابة حرارية مستقرة ومنتظمة لمستقبل الألمنيوم والملح خلال اليومين المتتاليين، مع ملاحظة تفوق طفيف في درجات الحرارة المسجلة يوم 07أبريل مقارنة بيوم 06أبريل .في كلا اليومين، تتبع درجات الحرارة مساراً تصاعدياً يبدأ من الصباح الباكر، لتصل الذروة في يوم ٠٦ أبريل إلى حوالي 45°C، بينما ترتفع في يوم ٠٧ أبريل لتلامس عتبة 50°C عند منتصف النهار. يتميز هذا النظام (ألمنيوم + ملح) بتقارب كبير في قراءات الحساسات المختلفة(C, E, F) ، خاصة في يوم ٠٦ أبريل، مما يدل على قدرة الملح العالية على توزيع الحرارة بانتظام ومنع التشتت الحراري المفاجئ. وبشكل عام، يعكس المنحنيان قدرة الملح على "تخزين" الطاقة وتلطيف حدة الارتفاع والانخفاض، مما يجعل الأداء الحراري أكثر استدامة وأقل حدة مقارنة بمستقبل الحديد الصافي.

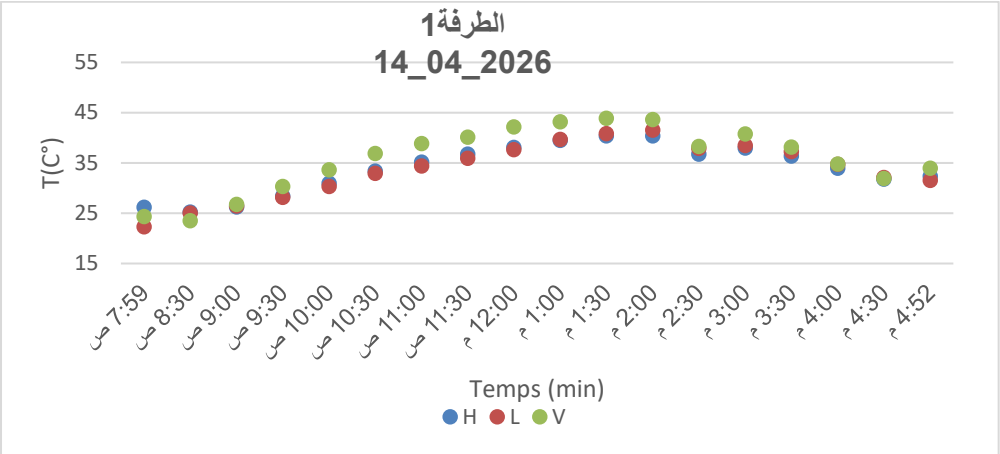
IV.2.1.4.مستقبل (ألمنيوم +حصى:)

يُظهر المنحنيان كفاءة حرارية جيدة ومستقرة لمزيج الألمنيوم والغرافيت، حيث يلاحظ أن درجات الحرارة تتبع مساراً تصاعدياً متسقاً بمرور ساعات النهار. في يوم 06أبريل، بلغت ذروة الحرارة حوالي 45°C، بينما سجلت ارتفاعاً طفيفاً في يوم 07أبريل لتصل إلى ما يقارب 48°Cعند الحساس – V) باللون الرمادي .(الميزة الأساسية لهذا النظام هي قدرة "الغرافيت" على الامتصاص السريع للحرارة وتوصيلها، مما جعل المنحنيات أكثر نعومة واستقراراً في القمة (بين الساعة 12:00و ١٤:٠٠ (مقارنة بالأنظمة المعدنية الصرفة. كما يظهر تفاوت بسيط ومنتظم بين الحساسات(H, L, V) ، حيث حافظ الحساس الرمادي (V) على الصدارة دائماً، مما يشير إلى توزيع حراري ممتاز داخل قلب المستقبل بفضل الخصائص الفيزيائية العالية للغرافيت في نقل الطاقة.

IV.3.1.4.مستقبل (حديد:)

تُظهر المنحنيات استجابة حرارية سريعة وحساسة لمستقبل الحديد خلال اليومين، حيث يلاحظ تزايد درجات الحرارة بشكل حاد نسبياً مع اشتداد الإشعاع الشمسي الصباحي. في يوم 13أبريل، بلغت الحرارة ذروتها عند حوالي 50°Cللحساس(V) ، بينما سجل يوم 14أبريل ذروة أقل قليلاً قاربت 45°C، مما قد يشير إلى اختلاف طفيف في صفاء الجو أو شدة الرياح بين اليومين. يتميز سلوك الحديد هنا بوجود تذبذبات طفيفة وتفاوت واضح بين الحساسات (H, L, V) خاصة عند القمة، مما يعكس خاصية التوصيل الحراري السريع للمعدن الذي يتأثر فوراً بأي تغير في الظروف الخارجية. وبشكل عام، يحقق مستقبل الحديد درجات حرارة مقبولة في وقت قياسي، لكنه يفتقر إلى الاستقرار الحراري "المسطح" الذي رأيناه في مستقبلات (الملح أو الغرافيت) التي تعمل كمنظم حراري.

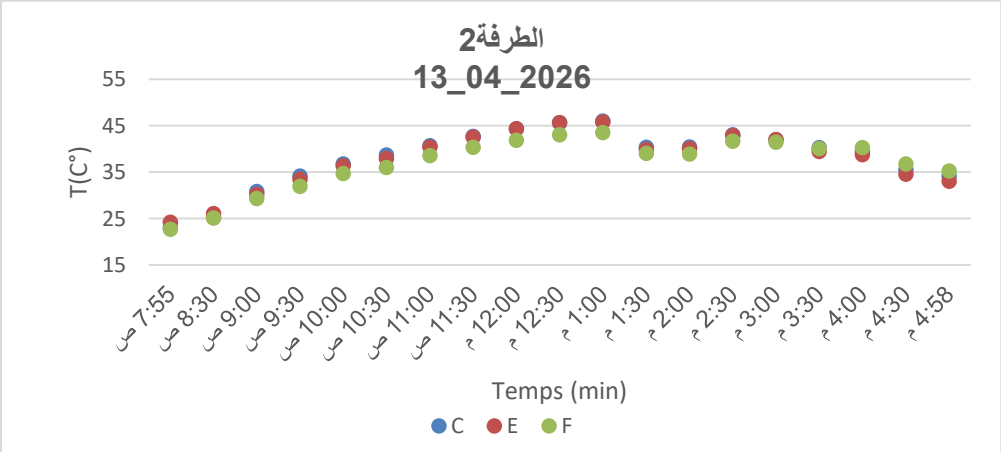


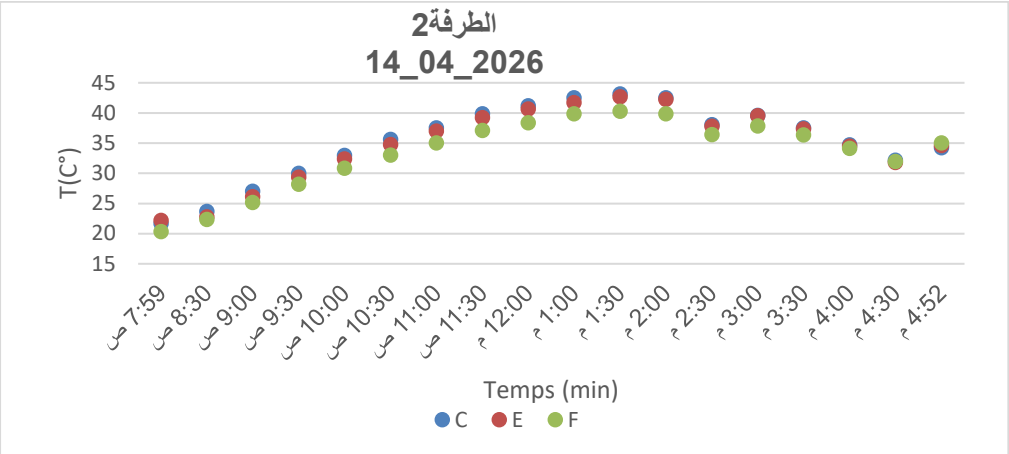


الشكل IV.١٥. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في غرفة التجفيف للمستقبل (حديد)

IV.4.1.4.مستقبل (حديد+ملح+ألمنيوم:)

يُظهر المنحنيان استجابة حرارية متزنة وعالية الكفاءة بفضل الدمج بين ناقلية الحديد والألمنيوم وقدرة الملح على التخزين الحراري. نلاحظ صعوداً تدريجياً لدرجات الحرارة في كلا اليومين، حيث بلغت الذروة القصوى يوم 13أفريل حوالي 48oC، بينما استقرت في يوم 14أفريل عند حوالي 43oC. الميزة الأهم في هذا النظام (الطريقة ٢) هي التقارب الشديد والمثالي بين قراءات الحساسات الثلاثة (C, E, F) طوال ساعات النهار، مما يؤكد أن إضافة الملح للألمنيوم والحديد قد ساهمت في خلق "عطالة حرارية" منعت التذبذبات الحادة وضمنت توزيعاً متجانساً للحرارة على كامل جسم المستقبل. هذا المسار "الناعم" للمنحنى يعكس تفوق هذا المزيج في الحفاظ على استقرار الطاقة المكتسبة لفترة زمنية أطول مقارنة بالحديد المنفرد.





الشكل IV.١٦. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في غرفة التجفيف للمستقبل (حديد+ملح+ألمنيوم)

IV.2.4.بالنسبة للشمندر :

IV.1.2.4.مستقبل (ألمنيوم +ملح) :

ظهر المنحنى استجابة حرارية نموذجية ومستقرة لمستقبل الألمنيوم والملح، حيث يبدأ التصاعد الحراري ببطء في الصباح الباكر ليتجاوز عتبة 40°C عند الساعة الحادية عشرة صباحاً. تصل درجات الحرارة إلى ذروتها القصوى وتستقر في "هضبة حرارية" واضحة بين الساعة 12:30 و ١٤:٠٠، مسجلةً حوالي 50°C للحساس البرتقالي .(E) يتميز هذا النظام بوجود توازن حراري ملحوظ بين الحساسين (E) و(F)، حيث يظهر الملح كعامل حاسم في امتصاص وتخزين الحرارة وتوزيعها بشكل متجانس، مما يقلل من الفوارق الكبيرة بين النقاط المقاسة. بعد الساعة الثالثة زوالاً، تبدأ القيم بالانخفاض التدريجي المتزن، مما يعكس قدرة الملح على الاحتفاظ بالحرارة (العطالة الحرارية) لفترة أطول حتى مع تناقص شدة الإشعاع الشمسي، وهو ما يوفر بيئة حرارية مستقرة للنظام.

IV.2.2.4.مستقبل (ألمنيوم +حصى:)

يُظهر المنحنى كفاءة حرارية ممتازة ومستقرة بفضل الجمع بين الألمنيوم والغرافيت، حيث نلاحظ صعوداً تدريجياً لدرجات الحرارة يبدأ من 22°C صباحاً ليصل إلى ذروة استقرار واضحة بين الساعة 12:30 و ١٤:٣٠ زوالاً، مسجلاً حوالي 52°C عند الحساس الأخضر .(V) الملاحظة الأبرز في هذا النظام هي الاستقرار العالي لدرجات الحرارة عند القمة (شكل مسطح)، مما يعكس قدرة الغرافيت العالية على الامتصاص السريع والتوصيل المتوازن للحرارة. كما يظهر تقارب كبير بين قراءات الحساسات الثلاثة (H, L, V) طوال

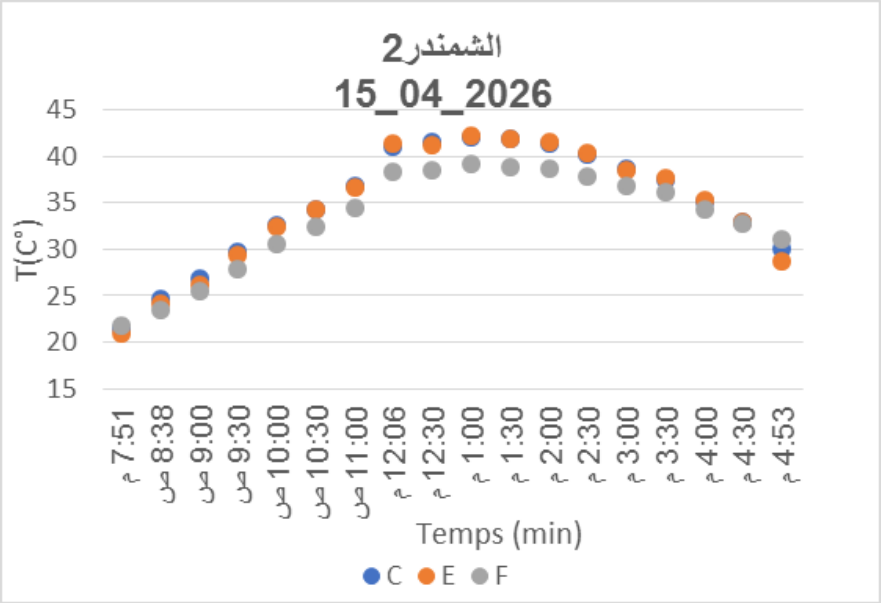
اليوم، وهو ما يؤكد تجانس التوزيع الحراري داخل المستقبل. وبالمقارنة مع الأنظمة الأخرى، يوفر مزيج الغرافيت والألمنيوم استجابة حرارية سريعة في الصباح مع الحفاظ على مستويات طاقة عالية ومستمرة خلال فترة الظهيرة، مما يقلل من الفقد الحراري المفاجئ.

IV.3.2.4.مستقبل (حديد:)

يُظهر المنحنى استجابة حرارية مستقرة لمستقبل الحديد خلال منتصف شهر أفريل، حيث تبدأ درجات الحرارة في الارتفاع التدريجي من حوالي 20°C في الصباح الباكر لتصل إلى ذروتها بين الساعة 12:00 و ١٤:٠٠ زوالاً. نلاحظ أن أعلى درجة حرارة سجلها الحساس – V) باللون الرمادي (بلغت حوالي 43°C، وهي قيمة معتدلة تعكس قدرة الحديد على امتصاص الإشعاع الشمسي وتوصيله للحساسات. يتخذ المنحنى شكلاً جرسياً منتظماً مع تقارب ملحوظ في أداء الحساسين (H) و(L)، مما يشير إلى توازن حراري نسبي في تلك النقاط. ومع ميلان الشمس بعد الساعة الثانية زوالاً، تبدأ درجات الحرارة بالانخفاض المتواصل لتصل إلى حوالي 30°C عند نهاية القياس، مما يؤكد التأثير المباشر لشدة الإشعاع اللحظية على درجة حرارة المعدن.

IV.4.2.4.مستقبل (حديد+ملح+ألمنيوم:)

يُظهر المنحنى كفاءة حرارية متزنة جداً لهذا المزيج الثلاثي، حيث نلاحظ أن درجات الحرارة تبدأ من حوالي 22°C صباحاً وتتصاعد بانتظام لتستقر عند ذروتها في فترة الزوال (بين الساعة 12:30 و ١٤:٠٠ (مسجلةً ما يقارب 43°C إلى .45°C. الميزة الأساسية في هذا المستقبل هي "التطابق والتجانس العالي" بين قراءات الحساسات الثلاثة(C ، E، (F، مما يعكس دور الملح والألمنيوم في توزيع الحرارة المكتسبة من الحديد بشكل مثالي على كامل مساحة المستقبل ومنع حدوث تقلبات حادة. وبالمقارنة مع مستقبل الحديد وحده لنفس اليوم، نلاحظ هنا استقراراً أكبر في القمم الحرارية، مما يضمن تدفقاً حرارياً مستمراً ومنتظماً للنظام، وهي خاصية حيوية لرفع كفاءة التبادل الحراري.

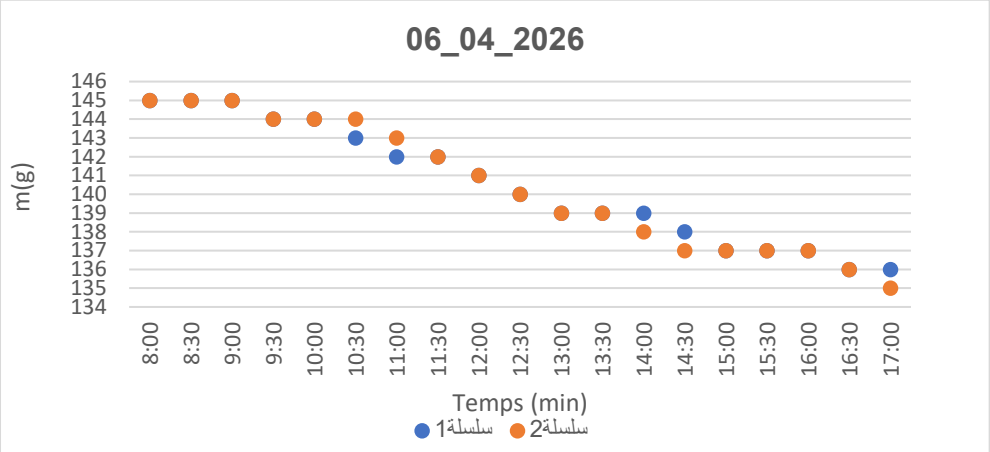


الشكل IV.٢٠. يمثل تغير درجة الحرارة بدلالة الزمن في غرفة التجفيف للمستقبل (حديد+ملح+ألمنيوم)

IV.5.تغير في حجم الكتلة :

IV.1.5.بالنسبة للطرفة :

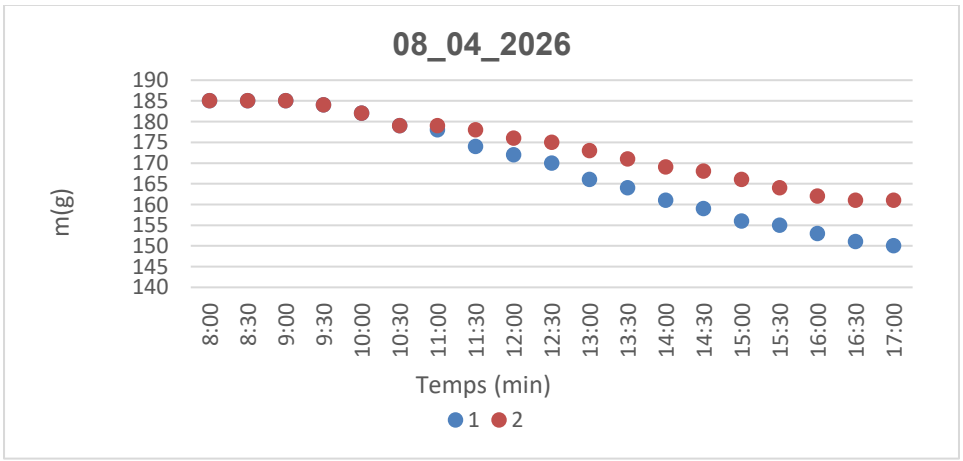
تُظهر المنحنيات البيانية تناقصاً تدريجياً ومستمراً في حجم كتلة "الطرفة" على مدار ساعات النهار للأيام الأربعة (٠٦، ٠٧، ١٣، و١٤ أفريل)، حيث تبدأ الكتلة من أعلى مستوياتها في الصباح الباكر (حوالي 145وحدة (ثم تنحدر بثبات لتصل إلى أدنى قيمها عند المساء (حوالي 135وحدة .(ويُلاحظ أن معدل فقدان الكتلة يزداد وضوحاً خلال فترة الظهيرة (ما بين الساعة ١١:٠٠ و١٥:٠٠)، وهي الفترة التي تتزامن تماماً مع ذروة الارتفاع في درجات حرارة المستقبل التي رصدتها الحساسات، مما يؤكد وجود علاقة طردية بين كفاءة الامتصاص الحراري للمستقبل (سواء كان حديداً أو خليطاً) وبين سرعة تجفيف أو فقدان كتلة المادة المعالجة. كما يعكس التطابق بين السلسلتين (١ و٢) دقة عالية في النتائج واستقراراً في أداء النظام الحراري طوال فترة التجربة.

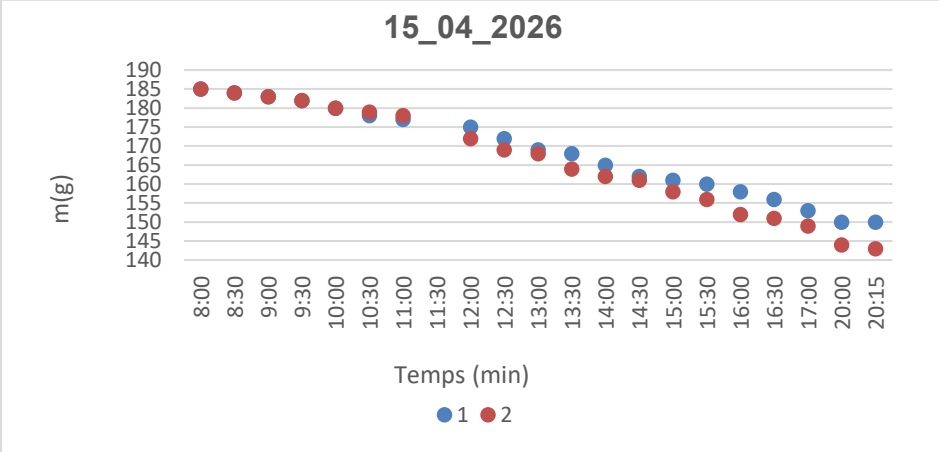


الشكل IV.٢١. تغير في حجم كتلة الطرفة بالنسبة للزمن

2.5.IV.بالنسبة للشمندر :

تُظهر المنحنيات البيانية تناقصاً مستمراً وواضحاً في حجم كتلة "الشمندر" خلال ساعات النهار، حيث تبدأ الكتلة من أعلى مستوياتها صباحاً (حوالي 185وحدة (لتنخفض تدريجياً وتستقر عند المساء (حوالي 145إلى ١٥٠ وحدة .(ويُلاحظ من خلال المقارنة أن معدل فقدان الكتلة في يوم 08أفريل كان أكثر حدة وتوسعاً بين السلسلتين (١ و٢) مقارنة بيوم 15أفريل، مما يشير إلى اختلاف في سرعة التبخر أو جفاف المادة بين اليومين. هذا الانخفاض المطرد في الكتلة يرتبط مباشرة بارتفاع درجات الحرارة التي سجلتها الحساسات في المستقبلات (سواء الألمنيوم أو الحديد) خلال فترة الظهيرة، حيث يؤدي الامتصاص الحراري العالي إلى تسريع عملية فقدان الرطوبة من النبتة، وهو ما يفسر الانحدار الأكبر في المنحنى ما بين الساعة ١١:٠٠ صباحاً و١٦:٠٠ مساءً.





الشكل IV.٢٢. يمثل تغير في حجم كتلة الشمندر بالنسبة للزمن

❖ **ملاحظة:**

يتغير المردود للمجفف الشمسي غير المباشر المستعمل بتغير مادة المستقبل فأفضل مردود كان مع مستقبل ملح ألمنيوم مع حديد حيث كانت قيمته تصل إلى 80%ومع المستقبلات الأخرى كانت تتراوح قيمته من% 75إلى 35%كانت مع مستقبل ملح وألمنيوم

IV.6. الخاتمة:

في هذا الفصل، قمنا بعرض وتحليل النتائج التجريبية للمجفف الشمسي غير المباشر خلال أيام 6و7 و8 و13و14 و15أبريل 2026، بهدف تقييم أدائه الحراري في الظروف المناخية لمنطقة الوادي. وقد أظهرت النتائج أن المجفف حقق كفاءة جيدة في تسخين الهواء وتحسين عملية التجفيف بفضل الاستفادة من الطاقة الشمسية .كما بينت التجارب أن درجات الحرارة داخل المجفف ارتفعت بشكل ملحوظ خلال ساعات الذروة الشمسية، مما ساعد على تسريع إزالة الرطوبة من المنتجات الزراعية. وأكدت الدراسة أيضًا أن المناخ الصحراوي لمنطقة الوادي، الغني بالإشعاع الشمسي، ساهم في تحسين أداء المجفف وتحقيق نتائج مرضية من حيث سرعة التجفيف وجودة المنتج النهائي.

الخاتمة

الخاتمة العامة :

في هذا العمل قمنا بدراسة تطبيقية حول مجفف شمسي غير مباشر مصنوع بجامعة الشهيد حمة لخضر الوادي، حيث قمنا بعدة تجارب في كل تجربة كنا نغير مادة المستقبل(ملح وألمنيوم، حصى وألمنيوم، حديد، حديد مع ملح وألمنيوم)

وهذا بالاعتماد على تجفيف محاصيل محليا لها خصائص مميزة تتطلب وجودها في جميع الفصول كاستعمالها كمادة أساسية فالوجبات الغذائية أو استعمالها في أغراض طبية مباشرة وغير مباشرة، لذلك اخترنا الشمندر السكري والطرفة

قبل بداية التجربة قمنا بعملية التجفيف الصناعي التي بدورها سهلت علينا العملية في انتقاء الشروط الابتدائية التي يجب العمل بها أثناء التجفيف الشمسي وخاصة مادة المستقبل حيث وجدنا أنا المادتين المختارتين يختلفان في كمية المياه مما يجعلهما مختلفان في زمن التجفيف بغض النظر عن سطوع الشمس في اليوم

لذلك قمنا باختيار مادة الالمنيوم والملح والحصى كمواد أساسية في تشكيل مادة المستقبل، بعد ثمانية تجارب مختلفة شملت نوعية المادة المستقبلة والمادة المجففة تحصلنا على النتائج التالية :

١. **التجربة الأولى :**

لتجفيف مادة الطرفة اخترنا مادة الالمنيوم والملح الذي بدوره أعطى أعلى درجة حرارة ٧٠درجة بالمقابل وصلت درجة الحرارة في الغرفة ٥٠ درجة وهي درجة حرارة مناسبة سمحت للعشبة بالاستغناء عن الماء الموجود بها والحفاظ على مكوناتها دون التعفن

٢. **التجربة الثانية :**

لتجفيف مادة الطرفة اخترنا مادة الالمنيوم والحصى الذي بدوره أعطى أعلى درجة حرارة ٦٧درجة بالمقابل وصلت درجة الحرارة في الغرفة ٤٨ درجة وهي درجة حرارة مناسبة سمحت للعشبة بالاستغناء عن الماء الموجود بها والحفاظ على مكوناتها دون التعفن

٣. **التجربة الثالثة :**

لتجفيف مادة الطرفة اخترنا مادة الحديد الذي بدوره أعطى أعلى درجة حرارة ٧٨درجة بالمقابل وصلت درجة الحرارة في الغرفة ٤٨ درجة وهي درجة حرارة مناسبة سمحت للعشبة بالاستغناء عن الماء الموجود بها والحفاظ على مكوناتها دون التعفن

٤. **التجربة الرابعة :**

لتجفيف مادة الطرفة اخترنا مادة الحديد مع الملح والألمنيوم الذي بدوره أعطى أعلى درجة حرارة ٧٧درجة بالمقابل وصلت درجة الحرارة في الغرفة ٤٥ درجة وهي درجة حرارة مناسبة سمحت للعشبة بالاستغناء عن الماء الموجود بها والحفاظ على مكوناتها دون التعفن

٥. **التجربة الخامسة :**

لتجفيف نبتة الشمندر اخترنا مادة الملح والألمنيوم الذي بدوره أعطى أعلى درجة حرارة ٧١درجة بالمقابل وصلت درجة الحرارة في الغرفة ٥٠ درجة وهي درجة حرارة غير مناسبة لم تسمح للشمندر بالاستغناء عن الماء الموجود به مما أدى إلى تعفنها

٦. **التجربة السادسة :**

لتجفيف نبتة الشمندر اخترنا مادة الحصى والألمنيوم الذي بدوره أعطى أعلى درجة حرارة ٧٠درجة بالمقابل وصلت درجة الحرارة في الغرفة ٥٠ درجة وهي درجة حرارة غير مناسبة لم تسمح للشمندر بالاستغناء عن الماء الموجود به مما أدى إلى تعفنها

٧. **التجربة السابعة :**

لتجفيف نبتة الشمندر اخترنا مادة الحديد الذي بدوره أعطى أعلى درجة حرارة ٧٢درجة بالمقابل وصلت درجة الحرارة في الغرفة ٤٣ درجة وهي درجة حرارة غير مناسبة لم تسمح للشمندر بالاستغناء عن الماء الموجود به مما أدى إلى تعفنها

٨. **التجربة الثامنة :**

لتجفيف نبتة الشمندر اخترنا مادة حديد مع الملح والألمنيوم الذي بدوره أعطى أعلى درجة حرارة ٧٥درجة بالمقابل وصلت درجة الحرارة في الغرفة ٤٣ درجة وهي درجة حرارة غير مناسبة لم تسمح للشمندر بالاستغناء عن الماء الموجود به مما أدى إلى تعفنها

وفي الأخير أستخلصنا بأن مادتي الطرفة والشمندر يتطلبان مادتين مختلفتين لاستخدامهما كمستقبل للتجفيف حيث أنا مادة الطرفة أعطت نتيجة إجابيه أثناء تجفيفها بواسطة مستقبل ملح وألمنيوم، أما نبتة الشمندر أعطت أفضل نتيجة أثناء تجفيفها بواسطة مستقبل الحديد مع الالمنيوم والملح.

❖ **التوصيات المستقبلية :**

في ضوء نتائج الدراسة، تبين أن المجفف الشمسي يعاني من وجود زوايا لا تتعرض للإشعاع الشمسي بالكامل، مما يقلل من كفاءة التجفيف. لذا، نوصي بتعديل تصميم الجهاز بحيث يتم تغطية الجوانب بزجاج شفاف، مما يسمح بتمرير الإشعاع الشمسي إلى كامل المواد المستقبلة. هذا التحسين سيضمن توزيعاً أفضل للحرارة، وبالتالي زيادة كفاءة التجفيف والحصول على نتائج أكثر جودة.

قائمة المراجع

[1] B.J,P,Rossetti,Omniscience:Lesénergiesalternatives,200.

[2] O.Sotehi,Etudeetanalysedel'influencedel'ecartdetemperature(absorbeur –vitre)sur l'efficacited'uncapteursolaire,UniversitédeConstantine:thèsedemagistère,2007.

[3] B.N,Contributionàlaréalisationetsimulationd'uncapteurplanàeautypecollecteur, UniversitédeConstantine:thèsedemagistère,1989.

[4] P.d.B.ChetV.C,Legisementsolaire,Paris:TechniqueetDocumentation,1982.

[5] S.22-S,Effetdesparametresoperationnelssurlesperformancesd'uncapteursolaire plan,UniversitédeConstantine:thèsedemagistère,2010.

[6] S.O,Etudedescaractéristiquesdefonctionnementetdelaperformanced'un distillateur solaire,UniversitédeConstantine:thèsedemagistère,2009.

[7] O.Abdellatif, Contribution àla Modélisationet auDéveloppement deSystèmedeChauffageSolaireàUsageIndividuel, ThèsedeDoctoratenGénieMécanique,EcoleNationalpolytechniqued'Oran-MauriceAudin.

[8] S.SKOURI,«Contributionàl'ÉtudedesConcentrateursSolaires»Mémoire DocteurEn énergétique,ÉcoleNationaled'IngénieursdeMonastir,Tunis,Laboratoired'études des systèmesthermiqueseténergétiques,UniversitédeMonastiretTechnopôledeBorjCédria, Centrederecherchesetdetechnologiesde l'énergie,Laboratoiredes procédésthermiques.,Mai 2016.

[9] G. BoudjelkaAmmar, (Commanded'unpanneausolaireàl'aide d'un microcontrôleur

ATMEGA),pp19,20.M.Salmi,«ContributionàLaQuantificationDeL"irradiat ionSolaire GlobaleEnAlgérieEtApplicationsAuxGénérateursPhotovoltaïques»,Thèse dedoctorat enSciences,UniversitéFerhatAbbasdeSétif(2012).:MémoiredeMasteren Electrique, Universitéd'El-Oued,2017/2018.

[10] M.B.Nadiem,EtudeetmodélisationduFluxSolaireglobalesursurfaceincliné edans larégiondeTouat,Thèsededoctorat,2017-2018.

[11] M.A,Y.b.MetM.H,«Evaluationdupotentielénergétiquesolaire,»*Bulletind esEnergies Renouvelables,*p.p12,N°2décembre2002.

[12] M.K,«Potentielénergétiqueéolien,»*BulletindesEnergiesRenouvelable s,*p.p11,N°1Juin 2002.

[13] H.C.P,Héliothermique:legisementsolaire,méthodesetcalculs,France:Gr oupede Recherche et d'Edition, 2002.

[14] Www.climatsetvoyages.com.[Enligne].

[15] www.infoclimat.fr.

[16] http://www.ctmnc.fr/pages/images/doc/DIDEMRapport_de_vulgarisation-2.pdf.

[17] T.D.o.Foods,TechnicalBrief,http://itdg.org.

[18] B.N.ValEkechukwu,«Reviewofsolar-energydryingsystemsII,anoverviewofsolardrying technology,EnergyConversionandManagement,40(6):615-655,,1999.

[19] M.M.S.FABRE,"Expertconsultationsonplanningthedevelopmentofsundr ying techniquesinAfrica",FoodandAgricultureOrganizationoftheUnitedNations ,1985.

[20] D.HISLOP,EnergyOptions,Chapter3:HeatfromSolarEnergy",1992.

[21] R.F.BenonBena,“Naturalconvectionsolardryerwithbiomassback-upheater”,Solar Energy72(1):75-83,2002.

[22] B.R.Institute,“Typesofsolaragriculturaldryers”,Sunworl4(6):181,1980.

[23] S.P.E.B.V.Babalis,FundamentalMathematicalRelationsofSolarDryingSystems,In: Prakash,O.,Kumar,A.(eds)SolarDryingTechnology.GreenEnergyandTechnology. Springer,Singapore.,2017.

[24] P.O.K.Anil,HistoricalReviewandRecentTrendsinSolarDryingSystems,International JournalofGreenEnergy,vol.10,No.7,pp.690-738,2013.

تمت
بحمد
الله