الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

رقم الترتيب: .....

رقم التسلسل: .....

جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي

كلية العلوم الدقيقة

قسم: الفيزياء

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء إشعاع وطاقة

من إعداد:

بوحنية سماح

يمبعي هالة

الموضوع

دراسة تجريبية لكفاءة المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب تحت شروط طقس مدينة الوادي

نوقشت يوم: 2022/06/14

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

- بوراس ليلى	أستاذ مساعد - أ -	جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي	رئيسًا
- ليتيم فتحي	أستاذ محاضر - أ -	جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي	مناقشًا
- حاج عمار محمد علي	أستاذ محاضر - أ -	جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي	مؤطرًا

الموسم الجامعي 2022/2021

بسم الله الرحمن الرحيم

الإهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات حمدا كثيرا طيبا مباركا فيه كما ينبغي لجلال وجهه وعظيم سلطانه وكما يليق بعظيم نعمته علينا الحمد لله الذي هدانا إلى طريق العلم والمعرفة الحمد لله الذي وفقنا لإنجاز هذه المذكرة وإتمام هذا البحث العلمي المتواضع والذي أهديه إلى:

والديا الأفاضل أبي الغالي "**بلقاسم**" وأمي الحبيبة: "**بلقاضي سكينة**"

اللذان كانا خير سند لي طوال مشواري الدراسي في نجاحاتي وفي تعثراتي أدام الله عليهم نعمة الصحة والعافية

وإلى أخواتي :**حنان**، **رتيبة**، **رحيمة** و**مباركة** وإلى أزواجهم وأولادهم

وإلى إخواني: **عبد الباسط**، **يوسف**، **هشام**، **محمد ياسين**، **بوبكر** والى زوجاتهم وأولادهم

إلى روح جدتي الغالية "**برابح مباركة**"

إلى **خطيبي** وعائلته الكريمة

إلى صديقاتي وزملائي في الدراسة

أهدي لكم هذا العمل مع تحياتي

بوحنية سماح

الإهداء

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيدنا محمد المبعوث رحمة للعالمين ومنار هداية ودليل رشاد للناس اجمعيهن.

الشكر والفضل لله ألذي أعانني ووفقني لإتمام هذه المذكرة اهدي هذا العمل المتواضع:

إلى من كان دعائها سر نجاحي ويا من تركع الجنة تحت قدميها إلي أغلى الحبايب **"أمي الغالية"** وإلى**"أبي الغالي "** الذي احمل اسمه بكل افتخار إلى من اقتطع من نفسه لكي يعلمنا أدام الله عليهما نعمة الصحة والعافية.

إلى من تكتمل سعادتي برؤيتهم إلي من كانوا يدفعونني قدما نحو الأمام لنيل المبتغى **"أخي محمد زهير وزوجته تجاني آمينة و إبنه محمد العيد"**وإلى "**أخواتي حميدة، وفاء، سهام، أسماء، قمرة و أزواجهم و أولادهم الغاليين"**سائلة المولى عز وجل أن يوفقهم للعلم والعمل.

إلى جميع أقاربي وإلي حبيباتي صديقات العمر و رفقاء الدرب زملاء الدراسة **"عفاف" "نسيبة" "شافية" "وفاء".**

إلي كل من ساعدني وتمنى لي الخير ولو بالكلمة الطيبة.

آخرا وليس آخرا أهدي هذا التخرج إلى **نفسي** وأيضا **الحمد لله** الذي بنعمته تتم الصالحات.

يمبعي هالة

شكر وتقدير

الحمد لله الذي وفقنا لإنهاء هذا العمل على أكمل وجه، أن يجري في ملكه إلا بمشيئته جل شأنه وعظم قدره، والصلاة والسلام على شفيعنا وحبيبنا محمد.

وعملا بقول النبي صلى الله عليه وسلم {لا يشكر الله من لا يشكر الناس} فإننا نتوجه بالشكر إلى كل أساتذتنا طوال مشوارنا الدراسي من المستوى الابتدائي إلى الجامعي

وإلى من سار معنا خطوة بخطوة طوال مسيرتنا في إنجاز هذا العمل، إلى من أنار لنا طريق العلم والمعرفة الأستاذ الدكتور "حاج عمار محمد علي"

كما نتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ "لعويني عبد الجليل" جزاك الله عنا خير جزاء

كما نود أن نشكر الزملاء"هرمس إكرام"، "موساوي محمد الصالح" عل تعاونهم معنا طيلة العمل والذين لم يبخلوا علينا بوقتهم وجهدهم

كما يسعدنا أن نتقدم بالشكر الجزيل لأعضاء اللجنة على موافقتهم مناقشة هذا العمل بداية برئيس اللجنة " بوراس ليلى "وكذلك الأستاذ المناقش " ليتيم فتحي "

وفي الختام لا يسعنا إلا أن نشكر مخبر الميكانيك بجامعة الوادي على احتضانهم لنا طيلة هذا العمل.

بوحنية سماح و يمبعي هالة

فهرس المحتويات

الإهداء.....I
شكر وتقدير.....III
فهرس المحتويات.....IV
فهرس الأشكال.....VII
فهرس الجداول.....IX
فهرس الرموز.....X
المقدمة العامة.....1
قائمة مراجع المقدمة العامة.....3

****الجزء النظري****

الفصل الأول: دراسة عامة حول الاشعاع الشمسي والتجفيف

I-1- مقدمة.....4
I-2- الاشعاع الشمسي.....4
I-2-1- مفهوم الاشعاع الشمسي.....4
I-2-2- تركيب الاشعاع الشمسي.....5
I-2-3- أنواع الاشعاع الشمسي.....5
I-2-4- الثابت الشمسي.....7
I-2-5- زاوية سقوط الاشعة.....8
I-3- استخدام الطاقة الشمسية.....9
I-4-التجفيف.....9
I-4-1- مفهوم التجفيف.....9
I-4-2- أنواع المجففات الشمسية.....9
I-4-3- أنواع المجففات حسب طبيعة تدفق الهواء.....14
I-5- مجالات استخدام التجفيف الشمسي.....16
I-6- التغيرات الغذائية التي تحدث على الغذاء اثناء عملية التجفيف.....17
I-7- الشروط اللازمة للحصول على اعلى قيمة غذائية للمنتج المجفف.....17
I-8- فوائد ومزايا التجفيف.....17

I-9- خاتمة الفصل 18
قائمة مراجع الفصل الأول 19

الفصل الثاني: ظواهر التجفيف ومبدأ عمل المجفف المحسن

II-1- مقدمة 20
II-2- الظواهر الفيزيائية التي تحدث خلال عملية التجفيف 20
II-2-1- الانتقال الحراري 20
II-2-1-1- التجفيف بالحمل الحراري 20
II-2-1-2- التجفيف بالتوصيل الحراري 20
II-2-1-3- التجفيف بالاشعاع الحراري 21
II-2-2- الانتقال الكتلي 21
II-3- الخواص الاساسية لهواء التجفيف 22
II-4- الخواص الاساسية للمادة الرطبة 22
II-4-1- أشكال توزيع الماء داخل المنتج 22
II-4-2- النشاط المائي للمنتج 22
II-4-3- المحتوى الرطوبي (الرطوبة النسبية للمنتج) على الاساس الجاف 23
II-5- سرعة التجفيف 23
II-6- حركية التجفيف 23
II-7- تأثير عوامل هواء التجفيف على حركية التجفيف 25
II-7-1- تأثير درجة حرارة هواء التجفيف 25
II-7-2- تأثير سرعة هواء التجفيف 25
II-7-3- تأثير رطوبة هواء التجفيف 25
II-8- مردودية التجفيف 25
II-8-1- المردودية الكتلية 25
II-8-2- المردودية الطاقوية 25
II-9- وصف المجفف الشمسي قيد الدراسة 26

II-10- مبدأ عمل المجفف الشمسي 28
II-11- خاتمة الفصل 32
قائمة مراجع الفصل الثاني 33

**** الجزء العملي****

الفصل الثالث: دراسة ومناقشة نتائج المجفف المحسن

III-1- مقدمة 34
III-2- نتائج التجريب ومناقشتها 37
III-3- خاتمة الفصل 43
قائمة مراجع الفصل الثالث 44
الخاتمة العامة 45

فهرس الأشكال

ترتيب الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
	الفصل الأول	
(1-I)	الإشعاع الشمسي	4
(2-I)	توزيع الطيف الشمسي	5
(3-I)	أنواع الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض	7
(4-I)	الثابت الشمسي I بدلالة اليوم من السنة	8
(5-I)	الأشعة المائلة والأشعة العمودية وأثرها على سطح الأرض	8
(6-I)	تجفيف شمسي طبيعي للمحاصيل الزراعية	10
(7-I)	مجفف شمسي مباشر	11
(8-I)	صورة فوتوغرافية ورسم تخطيطي لمجفف شمسي غير مباشر	12
(9-I)	صورة لمجفف شمسي مختلط	13
(10-I)	صورة فوتوغرافية ورسم تخطيطي لمجفف شمسي هجين	13
(11-I)	رسم تخطيطي للمجفف الشمسي المباشر مع الحمل الطبيعي	14
(12-I)	رسم تخطيطي للمجفف الشمسي المباشر مع الحمل القسري	15
(13-I)	الفرق بين المجففات الشمسية المباشرة والغير مباشرة والمجففات الشمسية المختلطة، حسب طبيعة حركة الهواء في كل نوع	16
	الفصل الثاني	
(1-II)	رسم تخطيطي لإنتقال الحرارة والكتلة أثناء التجفيف	21
(2-II)	منحنى حركية التجفيف	23
(3-II)	صورة فوتوغرافية ورسم تخطيطي لمجفف الشمسي ذو الماص المقلوب	26
(4-II)	صورة توضح الكربون المنشط	29
(5-II)	صورة توضح الحصى الأسود	29
	الفصل الثالث	
(1-III)	متوسط الإشعاع الشمسي اليومي ودرجة الحرارة وزاوية الميل في منطقة الوادي-الجزائر	34
(2-III)	المجفف شمسي ذو الماص المقلوب	35
(3-III)	صورة توضح كيفية وضع الشبكتين مع إضافة الحصى الأسود والفحم	36

(4-III)	صورة توضح كيفية وضع العازل في الغرفة والغطاء	36
(5-III)	صورة قطع البطاطا داخل الغرفة	37
(6-III)	منحنى تغيرات درجات الحرارة وشدة الإشعاع الشمسي	38
(7-III)	منحنى تغيرات درجة حرارة المجمع خلال فترة التجفيف	38
(8-III)	منحنى تغير درجة حرارة لعينة البطاطا في الغرفتين	39
(9-III)	منحنى تغير درجة الحرارة الغرفتين	40
(10-III)	منحنى تغيرات الكتلة للعينتين داخل الغرفتين	41
(11-III)	تغيرات محتوى الرطوبة للعينتين	41

فهرس الجداول

ترتيب الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
	الفصل الثاني	
(1-II)	عناصر المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب	**27**
(2-II)	أجهزة القياس وتعريفها	**30**
	الفصل الثالث	
(1-III)	الحالة الابتدائية والنهائية للعينتين	**42**
(2-III)	ملخص النتائج لقيم كتلة البطاطا	**42**

فهرس الرموز

الرمز	الاصطلاح	الوحدة
I^*_0	الإشعاع الشمسي المباشر	$[W/m^2]$
h	زاوية الإرتفاع الشمسي	[°]
D^*_0	الإشعاع الشمسي المنشر	$[W/m^2]$
G^*_0	الإشعاع الشمسي الكلي	$[W/m^2]$
I_0	الثابت الشمسي	$[W/m^2]$
n	رقم اليوم من السنة	بدون
Mc	المحتوى الرطوبي	بدون
mi	الكتلة الابتدائية	**g**
mf	الكتلة النهائية	**g**

المقدمة العامة

مقدمة عامة

يتعرض عالمنا اليوم إلى أزمة اقتصـادية مستمرة نتيجة لإرتفاع أسعار الطاقة وزيادة الطلب عليها وذلك لإرتباطها بالوقود الأحفوري أو التقليدي (النفط والغاز والفحم)، أضف إلى ذلك ما يتعرض له كوكب الأرض من تلوث بيئي نتيجة إنبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون والغازات الاخرى والتي أدت إلى الإحتباس الحراري و في مقابل ذلك تتوفر الطاقات المتجددة والمستديمة، وهذا ما أدى إلى تزايد الاهتمام خلال العقود الأخيرة بدراسة العلاقات المتبادلة بين المناخ والطاقة لإبراز الجوانب النفعية للعوامل الجوية، وإيجاد العديد من السبل لإستغلال الطاقة وتطويعها. ونظرا لأن الطاقة بمصـادرها المختلفة هي المحرك الرئيسي للتقدم الحضـاري في حياة الدول، كان لزاما على الإنسان السعي الحثيث إلى تطوير الإمكانيات خاصـة في مجال الطاقة الجديدة والمتجددة، نظرا لسهولة الحصول عليها وقلة تكاليفها وتوافرها في كافة بقاع العالم وهي طاقة نظيفة غير ملوثة للجو ومتوفرة بشكل دائم، مما يسهل من عملية إنتاجها ونقلها إلي المستهلك بأسعار مقبولة.

وتعود معظم مصـادر الطاقة المتجددة المتوفرة على سطح الأرض إلى الإشـعاعات الشمسية فجميع أنواع الطاقات بما فيها البترول والغاز والفحم تكونت بسبب أشعة الشمس [1].

فموضـوع إستعمال الطاقة الشمسية قد طرح بصـورة علمية وفعلية حتى أن عددا كبير من مؤسسات الطاقة النووية والشركات النفطية قد خصصت له قسطا واسعا من برامج بحوثها[2].

وبما أن جميع الدول النامية تبلغ نسبة الفاقد في المواد الغذائية نحو 50% من جميع الخضـراوات والفواكه المزروعة ونحو 25%من محاصيل الحبوب (Burden,1989) .ويمكن بواسطة حفظ الغذاء تقليل الكميات التي يتم إتلافها من فائض الإنتاج، والسماح بالتخزين لمواجهة النقص في الغذاء، وفي بعض الحالات تسهيل التصدير للأسواق عالية المردود[3]. إذ يعد التجفيف من أقدم الطرق المستخدمة في حفظ الأغذية. وبما أن العالم يمر في مرحلة إنتقالية للعبور من مصادر الطاقة الأحفورية إلى مصادر أكثر ديمومة وأقل تلويثا للبيئة، كان لابد من التفكير في إستبدال وحدات التجفيف المستخدمة حاليا والمعتمدة على المازوت بوحدات تجفيف شمسية.

إنّ الأغذية المجففة تحت أشعة الشمس تتعرض الى التغيرات في الظروف الجوية المختلفة والتلوث بالإحياء المجهرية والغبار والحشرات مما يؤدي الى خفض قيمتها الغذائية وتحتاج هذه العملية مساحة كبيرة وزمن طويل نسبيا للتجفيف وإن الأمطار ممكن أن تفشل عملية التجفيف بالكامل وتنعدم السيطرة عليها، هذا ما تم اصداره من طرف Tirisetal وأخرون [4].

وبسبب ذلك فقد عمل الإنسان عدة تجارب لصـنع مجففات شمسية مثالية نذكر البعض منها مجفف شمسي قسري غير مباشر يشبه أطباق إستقبال الأقمار الصناعية حيث يؤمن الحرارة لغرفة التجفيف بواسطة مركز شمسي مكافئ الذي يعكس أشعة الشمس على نقطة تلاقي تسمى البؤرة والتي تقع في الملتقي تصل درجة الحرارة التي يلتقطها على مستوى النقطة البؤرية من 300-700 درجة مئوية.

قام لعويني وآخرون [5]، بتجفيف الفلفل الأحمر بواسطة الإشعاع الشمسي الساقط على مجمع شمس من النوع المقعر في منطقة الوادي لشهر أفريل 2018، وخلصا الى الحصول على المدة الزمنية الكافية الى تجفيف الفلفل ودرجة الحرارة المثالية وهي على التوالي 5 ساعات وتحت 55 درجة مئوية.

كذلك قام حاج عمار وآخرون [6] بتصميم ودراسة مجفف شمسي الذي يتميز بالماص المقلوب تحت ظروف طقس مدينة الوادي، خلصت النتائج الى تقدير كفاءة المجفف في تجفيف مادة البطاطا.

وكذلك تم العمل على تحسين المجفف الهجين (شمسي-كهربائي) غير المباشر الذي يعمل بالحمل القسري باستعمال طبقة رقيقة من رمال الكثبان للتقليل من إستعمال الطاقة الكهربائية في عملية التجفيف أين تكون الطاقة الشمسية غير كافية ولا سيما في الفترة الصباحية [7].

ولهذا نتساءل عن كيفية تحسين أداء المجفف الشمسي من حيث جودة المنتج واستغراق أقل وقت ممكن للتجفيف ؟

ومنه تم تقسيم المذكرة إلي ثلاثة فصول وهي:

- **الفصل الأول:** يتطرق إلي مفهوم الإشعاع الشمسي و أنواعه والتعرف على أنواع المجففات المغذات بالإشعاع الشمسي.
- **الفصل الثاني :** سنتطرق الى ذكر الظواهر الفيزيائية التي تحدث خلال عملية التجفيف، كما تمت التطرق إلى شرح ووصف النموذج المحسن للمجفف الشمسي ذو الماص القلوب ومبدأ عمله.
- **الفصل الثالث:** سيخصص الى سرد الخطوات والنتائج التجريبية وتقدير كفاءة المجفف المحسن تحت الظروق الحقيقية للطقس في مدينة وادي سوف ومن ثما التحليل والمناقشة.

قائمة مراجع المقدمة العامة

[1]: اقتصاديات الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية، تقرير من إعداد مركز الدراسات والبحوث بالغرفة الشرقية، المملكة العربية السعودية، ص04.

[2]: أسعد رحمن ألحلفي، "تصميم و تصنيع واختبار مجفف شمسي شبه مختلط لتجفيف التمر مجلة البصرة لأبحاث نخلة التمر"، كلية الزراعة / جامعة البصرة المجلد 6 ص 20.

[3]: محمد سليم علي اشتية، رنا ماجد جاموس، "التجفيف الشمسي للفواكه والخضراوات: خيرات من فلسطين"، مركز أبحاث التنوع الحيوي والبيئة (بيرك)، تل،ص،ب.، 696 نابلس، فلسطين2010).

[4]: Tirisetal Vlachos, N.A., Karapantsios, T. D., Balauktsis, A.I., &Chassapis, D.(2002).Drying technology.20(5) .pp.1239-1267.

[5]: Abdeldjalil LAOUINI, Boubaker BENHAOUA, Kamel AOUES, Abdelmalek ATIA, Realization of a Solar Dryer Assisted by a Parabolic Dish Concentrator. Defect and Diffusion Forum, (2021).

[6]: زعبي خ، حوامد ع، هرمس إ، "دراسة كفاءة مجفف شمسي في منطقة الجنوب الشرقي بالجزائر– الوادي"، مذكرة ماستر، جامعة حمه لخضر- الوادي، الجزائر (2021).

[7]: العاتي مختار، "تثمين بطاطس منطقة الوادي بطريقة التجفيف الشمسي"، أطروحة مقدمة لنيل شهادة دكتوراه علوم، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، الجزائر (2019).

الجزء النظري

الفصل الأول

دراسة عامة حول الإشعاع الشمسي والتجفيف

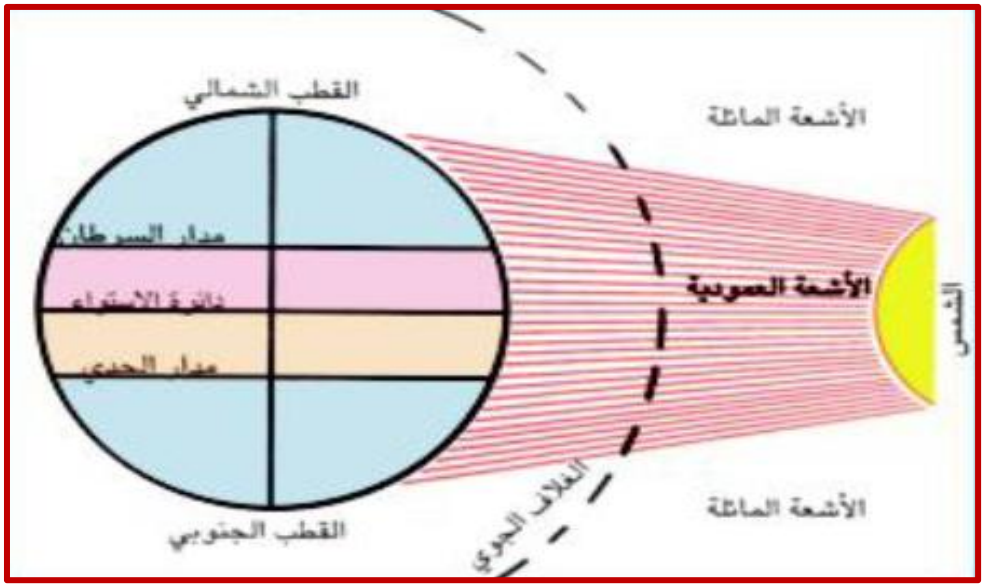
I-1- مقدمة:

تعد الأشعة الشمسية مصدرا نظيفا للطاقة من حيث تأثيرها على البيئة وغير خطرة الإستعمال، ومن الأهمية هنا نذكر انه لم يتم إستخدام سوى جزء صغير من الأشعة الشمسية المتوفرة في حياتنا اليومية، حيث أنه هناك عدة طرق لإستغلال الأشعة الشمسية بفعالية، ورغم مرور وقت طويل من بدء الحياة البشرية إلا أن الإنسان يسعى دائما إلى التطور والتغيير لإستغلال أكبر قدر من الطاقة لتلبية الإحتياجات من أجل الحفاظ على البيئة وخفض الإنبعاثات الضارة.

I-2- الإشعاع الشمسيّ:

I-2-1- مفهوم الإشعاع الشمسيّ:

هو عبارة عن مجموعة من الموجات الكهرومغناطيسيّة، التي من الممكن رؤية جزء من هذه الموجات بالعين المُجردة والتي تُسمَّى بالضوء المرئي، أمّا الأجزاء المُتبقيّة فلا يُمكن رؤيتها لذلك تُسمَّى بالضوء غير المرئي [1]. تمتلك الموجات الكهرومغناطيسيّة طاقة حراريّة، حيث تقاس هذه الطاقة الكهرومغناطيسية بوحدة تسمى بالحريرة، يختلف مقدار هذه الطَّاقة تبعاً للطول الموجي للموجة التي تُكوّن الشُّعاع، حيث يزداد مقدار هذه الطَّاقة كلما زاد مقدار الطول الموجي. ومن الممكن أن يتم تعريف الشُّعاع الشمسيّ على أنّه مقدار الأشعة الشمسيّة التي تسقُط على مكان أو مساحة مُعينة كما يظهر في الشكل **(I-1)**، بحيث لا يُصيب الأرض إلّا جزء صغير من أصل ملايين الأجزاء من أشعَّة الشمس، وهذا الجزء الصغير هو المسؤول عن كل طاقة سطح الأرض الحراريّة وعن غلافها الجويّ [2].



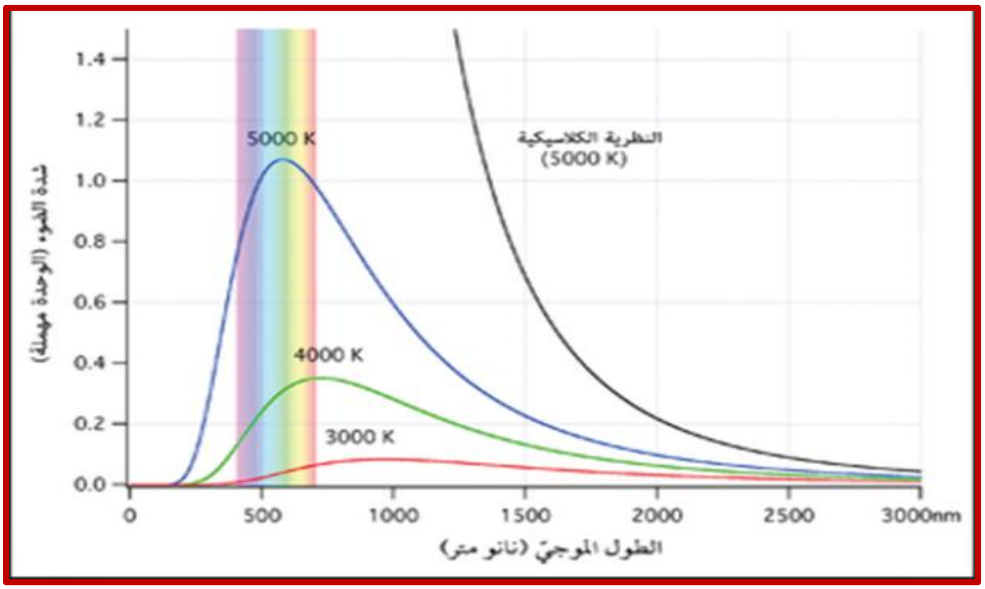
الشكل(I-1): الاشعاع الشمسي.

I-2-2- تركيب الإشعاع الشمسي:

الإشعاع الشمسي الواصل إلي سطح الأرض يتكون من الوان مختلفة أي أطوال موجية مختلفة فنجد الوان الأشعة الشمسية تضم كل الوان الطيف التي تظهر عند تحليل هذه الأشعة، تنطلق الأشعة الشمسية على شكل حزم متوازية مختلفة الأطوال [3]، ومن هذه الأشعة المرئي والغير مرئي، فالإشعاع المرئي له أطوال موجية بين [0.35- 0.75]µm، وبالرغم من الإشعاع الشمسي الساقط على الغلاف الجوي يتكون من مدى عريض من الحزم الموجية إلا أن ما يقارب 98% منه يتكون من ثلاثة أنواع من الأشعة هي:

- **الأشعة فوق الحمراء:** وهي أشعة غير مرئية طول موجتها بين [0.75 - 100] µm حيث تشكل 43% من الأشعة التي تصل الى الأرض.
- **الأشعة البنفسجية:** هي الأشعة التي يقل طولها الموجي عن طول أمواج الضوء المرئي وهي ذات طاقة كبيرة وتشكل 8% من مجموع الأشعة.
- **الأشعة المرئية:** يتشكل 47% من مجموع الأشعة وهو شدة الإشعاع الشمسي الذي يمر إلى سطح الأرض [4].

-والشكل **(I-2)** يوضح توزيع الطيف الشمسي.



الشكل(I-2): توزيع الطيف الشمسي[5].

I-2-3- أنواع الإشعاع الشمسي:

تعد الشمس المصدر الرئيسي لحرارة الغلاف الجوي، ويطلق على الأشعة الصادرة منها، والمتجه نحو الأرض بالإشعاع الشمسي، يخترق الإشعاع الشمسي الغلاف الجوي الأرضي حيث ينعكس جزء منه في

الفضاء خارج الغلاف الجوي،كما يتشتت جزء داخله، أما الجزء المتبقي فينفذ عبر الغلاف الجوي، وبالتالي فإن الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض يتكون من ثلاث أنواع:

❖ الإشعاع الشمسي المباشر(S):

وهي الأشعة الصادرة من الشمس إلي سطح الأرض مباشرة دون أن يعاني أي إنعكاس أو تشتت، ويعرف بمعدل الإشعاع الشمسي لوحدة المساحة الساقطة عموديا على سطح موجود داخل الغلاف الجوي[6].

من خلال قيمة kasten نستنتج عبارة الاشعاع الشمسي المباشر الواصل الى سطح الارض وهي كالتالي[7]:

$$I_0^* = 1353 exp\left(\frac{-m_h * T_1}{0.9 m_h + 9.4}\right) \qquad \textbf{(1-I)}$$

حيث $m_h = \frac{1}{\sin h}$

❖ الإشعاع الشمسي المنتشر(D):

الأشعة الشمسية لا تصل بمجملها إلي سطح الأرض، حيث يتعرض جزء منها إلي الإمتصاص عن طريق الغازات الحرارية، أكثر الغازات الحرارية الموجودة في الغلاف الجوي هي ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء، والجزء الأخر يتعرض إلي الإنعكاس عن طريق الغيوم والعوالق وهي عبارة عن الأسطح الموجودة في الغلاف الجوي ولديها القدرة على الإنعكاس فتعكس جزء من الأشعة الشمسية، أما الجزء الضئيل الذي يصل إلي سطح الأرض فينعكس جزء منه إلي الغلاف الجوي، وهذا القدر الضئيل هو المسؤول عن كل الطاقة الحرارية لسطح الأرض وغلافها الجوي [8].

فتحدد علاقة الاشعاع الشمسي المنتشر كالتالي [7]:

$$D_0^* = \frac{1353}{25}[\sin(h)\, T_1\, 0.5 \sin h] \qquad \textbf{(2-I)}$$

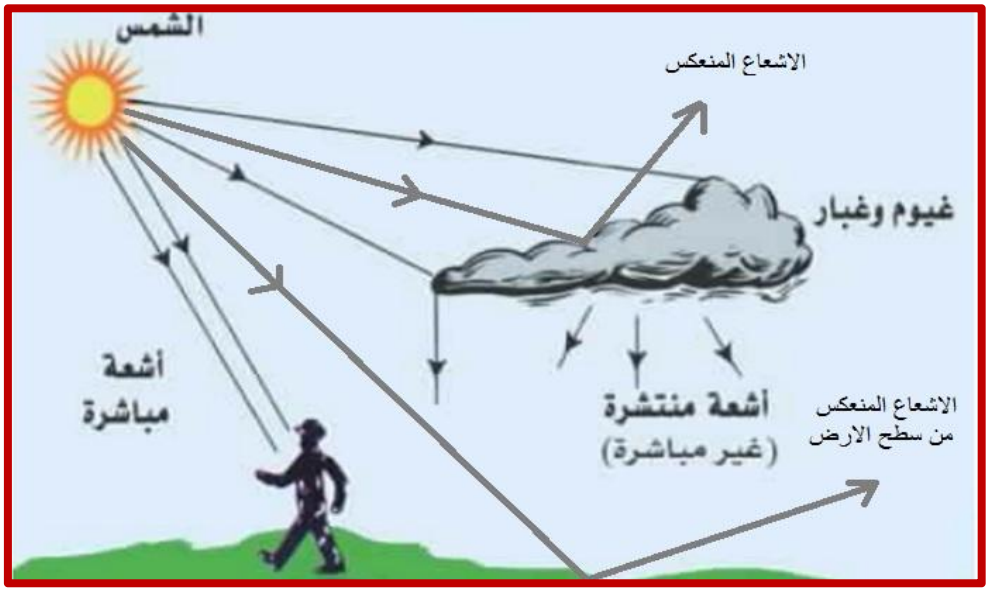
❖ الإشعاع الشمسي الكلي (G):

هو الإشعاع الشمسي الواصل إلى نقطة من سطح الأرض الناتج من مجموع الإشعاعين المباشر والمنتشر [9].

فنستنتج علاقته كالتالي :

$$G_0^* = I_0^* + D_0^* \qquad \textbf{(3-I)}$$

والشكل **(I-3)** يوضح جميع أنواع الإشعاع الشمسي المذكورة.



الشكل(I-3): أنواع الاشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض.

I-2-4- الثابت الشمسي:

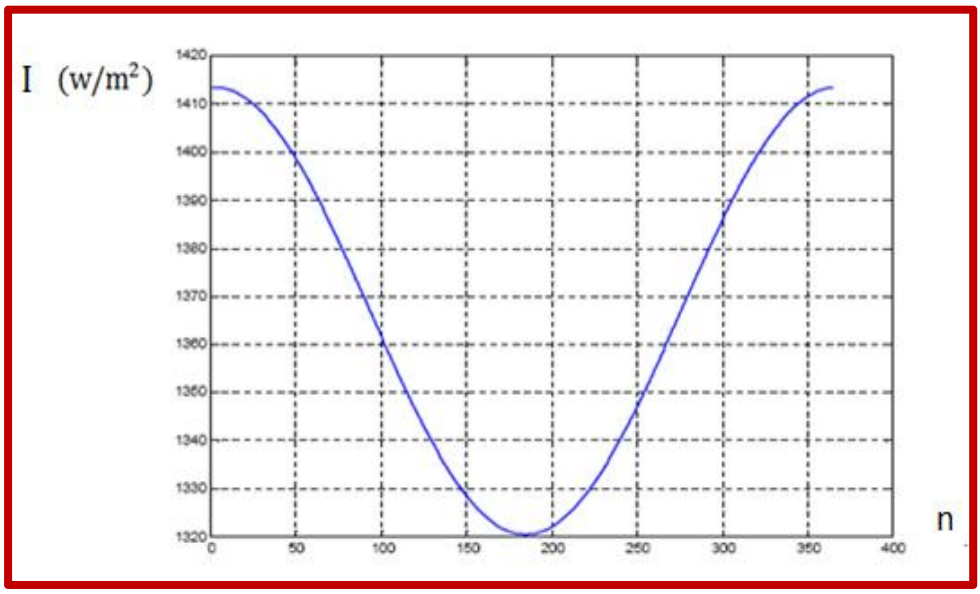
هو عبارة عن كثافة تدفق تقيس متوسط الإشعاع الشمسي لكل وحدة مساحة، يشمل الثابت الشمسي جميع أنواع الإشعاع الشمسي، وليس الضوء المرئي فقط، ويقاس بواسطة الأقمار الصناعية فوق الغلاف الجوي، حيث يتم قياسه على سطح عمودي على الأشعة، وهي كمية ليس ثابتة تماما وإنما تتغير قليلا حول تلك القيم، كما نشر تقريرا مبينا من خلال قياسات أن الثابت الشمسي مقداره 1353 W/m^2 وتم اعتماد هذه القيمة من قبل وكالة نازا والجمعية الأمريكية للمواد والاختبارات [3]، لكن وبإستخدام المركبات الفضائية تمّ قياس هذا الثابت من قبل باحثين آخرين ووجدوا أنّ قيمه هي 1373W/m^2 و1368W/m^2 ، أما المركز العالمي للإشعاع فقد تبنّى قيمة 1368W/m^2 وهي ما زالت معتمدة حتى الآن [10].

وتعطى علاقة الثابت الشمسي خلال ايام السنة بالمعادلة **(I-4)** والموضحة بالمنحنى البياني في الشكل **(I-4)** التالي[11]:

$$I=I_0\left[1+0.034\left[(n-2)\cos\frac{360}{356}\right]\right] \qquad \textbf{(4-I)}$$

I_0:الثابت الشمسي الواصل الى طبقة الجو المحيط بالأرض، وهي متغيرة نوعا ما ومتوسط قيمته 1367W/m^2 .

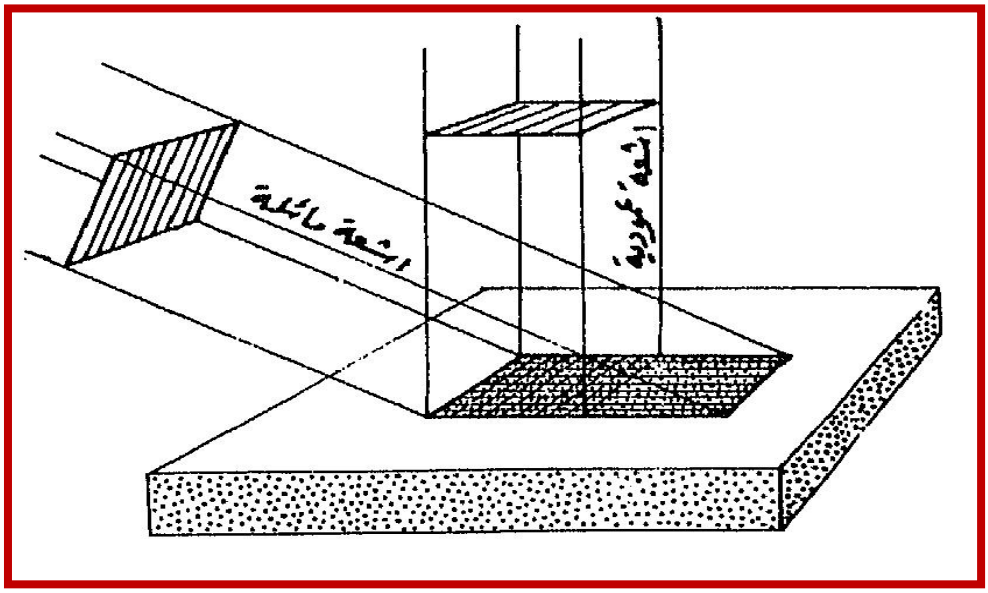
n : رقم اليوم من السنة ابتداءا من1 جانفي (1.....365)



الشكل(I-4): الثابت الشمسي I بدلالة اليوم من السنة [12].

I-2-5- زاوية سقوط الأشعة:

تختلف زاوية سقوط أشعة الشمس باختلاف الموقع والتوقيت وفصول السنة، بسبب دوران الكرة الأرضية حول الشمس ودورانها حول نفسها، تسقط أشعة الشمس بشكل مباشر على بعض الأماكن فيكون الجو فيها حارا، هناك علاقة بين الزاوية التي تسقط بها الأشعة على سطح الأرض وبين كمية الأشعة التي تتلقاها كل وحدة مساحة، حيث كلما كانت أشعة الشمس عمودية أو شبه عمودية على خط الإستواء أو المدارين فإن سطح الأرض يستقبل كمية إشعاع شمسي كبير، أي إرتفاع في درجة حرارتها، وكلما إتجهنا شمال وجنوب خط الإستواء فإن الأشعة الشمسية تبدأ بالميلان لتصل إلى أقصى ميلان لها عند القطبين حيث أنها تقطع مسافة كبيرة وتتشتت الأشعة وتصل بكميات قليلة، وتغطي مساحة أكبر من تلك التي يغطيها الشعاع العمودي (أنظر الشكل **(I-5)**) [3].



الشكل(I-5): الأشعة المائلة والأشعة العمودية وأثرها على سطح الأرض [13].

I-3- إستخدام الطاقة الشمسية:

أجريت العديد من الدراسات لإستخدام الطاقة الشمسية الواصلة إلى سطح الأرض، إلا أننا في هذه الدراسة سنعتمد على تحويل الأشعة الشمسية إلى طاقة حرارية ومن أهم تطبيقاتها تسخين المياه، الطهي، تدفئة المنازل وكذلك التبريد والتكييف، تحلية المياه، التجفيف وغيرها من التطبيقات، ولقد ركزت دراستنا الحالية على تطبيق الطاقة الشمسية الحرارية في التجفيف [14].

I-4- التجفيف:

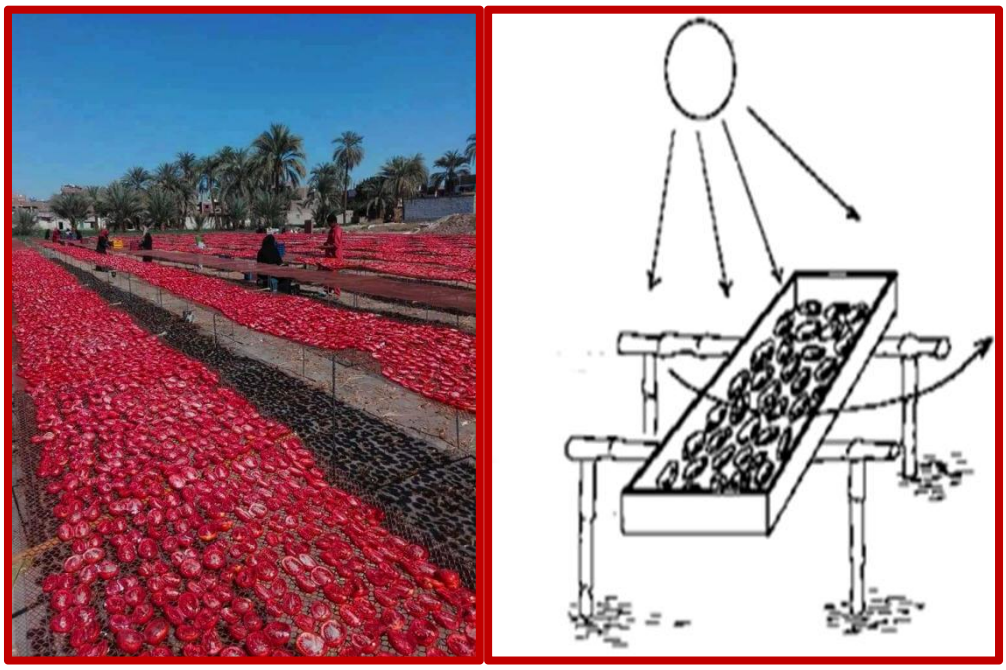
I-4-1- مفهوم التجفيف:

التجفيف هو عملية داخلية الهدف منها خفض محتوى الرطوبة للمادة نتيجة لتبخر الماء الموجود في الجسم الرطب، ففي هذه العملية نلاحظ نوعين من الظواهر: الإنتقال الكتلي (السائل الموجود داخل المادة الصلبة يتحول إلى بخار)، والإنتقال الحراري (كمية الحرارة تسمح بإنتقال السائل إلى غاز) لرفع تركيز المواد الصلبة بالقدر الكافي كيميائيا، لتثبيت عوامل الفساد (ميكروبات- إنزيمات- تفاعلات كيميائية)، فإن عامل الحفظ في التجفيف عموما هو خفض درجة الرطوبة إلى الحد الذي يثبت نشاط الأحياء الدقيقة والإنزيمات ويقلل التفاعلات الكيميائية التي تؤدي للفساد، بعد تعرض الثمار إلى مصدر الحرارة سواء طبيعي أو صناعي، تبدأ درجة الحرارة الداخلية للمادة الغذائية في الإرتفاع حتى تصل إلى درجة الحرارة اللازمة لعملية فقد الرطوبة وبمجرد الوصول إلى تلك الدرجة والثبوت عندها تظل عملية التجفيف مستمرة بمعدل ثابت حتى تصل إلى الحد الأدنى من الرطوبة المطلوبة في المنتج طبقا للمتطلبات التصنيعية، ففي الفاكهة يتم خفض نسبة الرطوبة إلى 16 _ 22 وفي الخضر يتم خفض نسبة الرطوبة إلى 4 _ 6، و تتضح كفاءة عملية التجفيف في قدرة المادة الغذائية المجففة على التشرب بالرطوبة عند غمرها في الماء وبالتالي إستعادة أكبر قدر ممكن من صفاتها الطازجة [15].

I-4-2- أنواع المجففات الشمسية:

❖ المجففات الشمسية التقليدية:

وهو من أقدم طرائق التجفيف وأبسطها، حيث يعتمد على نشر المنتج المراد تجفيفه على صواني أو شبك معدني أو حصائر أو أعمدة خشبية، لتسمح بمرور الهواء فوق وتحت المحصول مما يزيد من سرعة التجفيف وتستخدم طبقة من القماش "الشاش" فوق المنتج لحمايته من الحشرات والطيور أثناء عملية التجفيف كما هو موضح في الشكل **(I-6)**، ويظل فترة طويلة معرض لأشعة الشمس مع التقليب حتى يجف [16].



الشكل(I-6): تجفيف شمسي طبيعي للمحاصيل الزراعية.

للتجفيف الشمسي التقليدي العديد من الفوائد منها [17،18]:

- ✓ طاقة شمسية متوفرة طوال السنة وبدون تكلفة.
- ✓ لا تتطلب وسائل ومعدات باهظة الثمن.
- ✓ تقنية سهلة ولا تتطلب معرفة ولا دراسة معمقة ويمكن لأي فرد القيام بها.

❖ المجففات الشمسية المباشرة:

تعتمد هذه الطريقة على مبدأ الإستفادة من الطاقة الشمسية والحركة الطبيعية للهواء الجوي في التخلص من جزء كبير من الرطوبة في الغذاء، وتعتمد هذه الطريقة على الحالة الجوية وخاصة درجة الحرارة، ويكون التجفيف الشمسي ناجحا بشكل خاص في المناخ الحار الجاف [19]. بحكم التعريف فإن أشعة الشمس تضرب المجفف مباشرة، فالمجفف الشمسي المباشر ذو تجهيز بسيط وسهل، يتكون من جزء واحد يلعب دور مجمع الأشعة الشمسية وغرفة تجفيف في نفس الوقت، مغطى من الأعلى بطبقة من الزجاج تسمح بمرور الأشعة الشمسية ومن الأسفل بصفيحة معدنية (غالبا ما تكون من الألمنيوم) مطلية بالأسود،حيث تمتص الحرارة بواسطة أسطح المنتجات التي يتم تجفيفها ثم عبر الأسطح الداخلية لها وبموجبها تكون المنتجات المراد تجفيفها موضوعة بشكل رفوف كما يظهر في الشكل**(I-7)**.

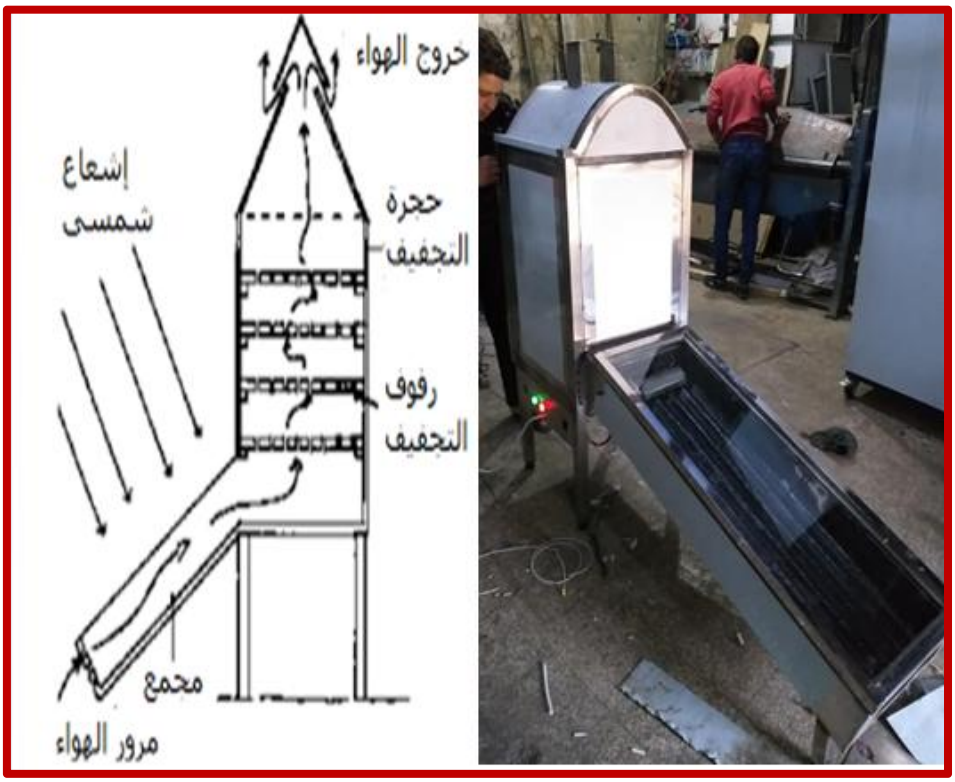
الشكل(I-7): مجفف شمسي مباشر.

للمجففات الشمسية المباشرة عدة مزايا مقارنة بالمجففات التقليدية من ناحية النوعية والمجمعات الصناعية من ناحية الطاقة [20]:

- ✓ قصر مدة التجفيف مقارنة بالتجفيف التقليدي.
- ✓ حماية جيدة للمنتج ضد الغبار، الحشرات، الحيوانات و المطر مقارنة بالتجفيف التقليدي.
- ✓ سهل التركيب و غير مكلف كثيرا.
- ✓ لا يحتاج إلى نفسية عالية أو يد عاملة مؤهلة لتسيره.
- ✓ طاقة مجانية عكس المجففات الصناعية المكلفة.

❖ المجففات الشمسية غير المباشرة:

لا يتم تعريض المنتجات المراد تجفيفها مباشرة لأشعة الشمس[21] فهذا النوع من المجففات يتكون من جزئيين: مجمع الأشعة الشمسية مغطى بطبقة من الأعلى بالزجاج أو البلاستيك [22]، ومن الأسفل بصفيحة معدنية مطلية بالأسود [18]، تسمح بتزويد غرفة التجفيف التي يحتوي بداخلها المنتج بالحرارة اللازمة للتجفيف والشكل**(I-8)** يوضح ذلك [23].



الشكل(I-8): صورة فوتوغرافية و رسم تخطيطي لمجفف شمسي غير مباشر.

للمجففات الشمسية الغير مباشرة مزايا مقارنة بالمجففات الشمسية المباشرة منها [24]:

- ✓ المنتج غير معرض مباشرة لأشعة الشمس مما يحافظ على اللون والقيمة الغذائية خاصة الفيتامينات A و C.
- ✓ تسييره لا يتطلب آي مصدر أخر للطاقة (طاقة كهربائية، فحم، وقود....).
- ✓ يوفر حماية من القوارض والغبار والحشرات.

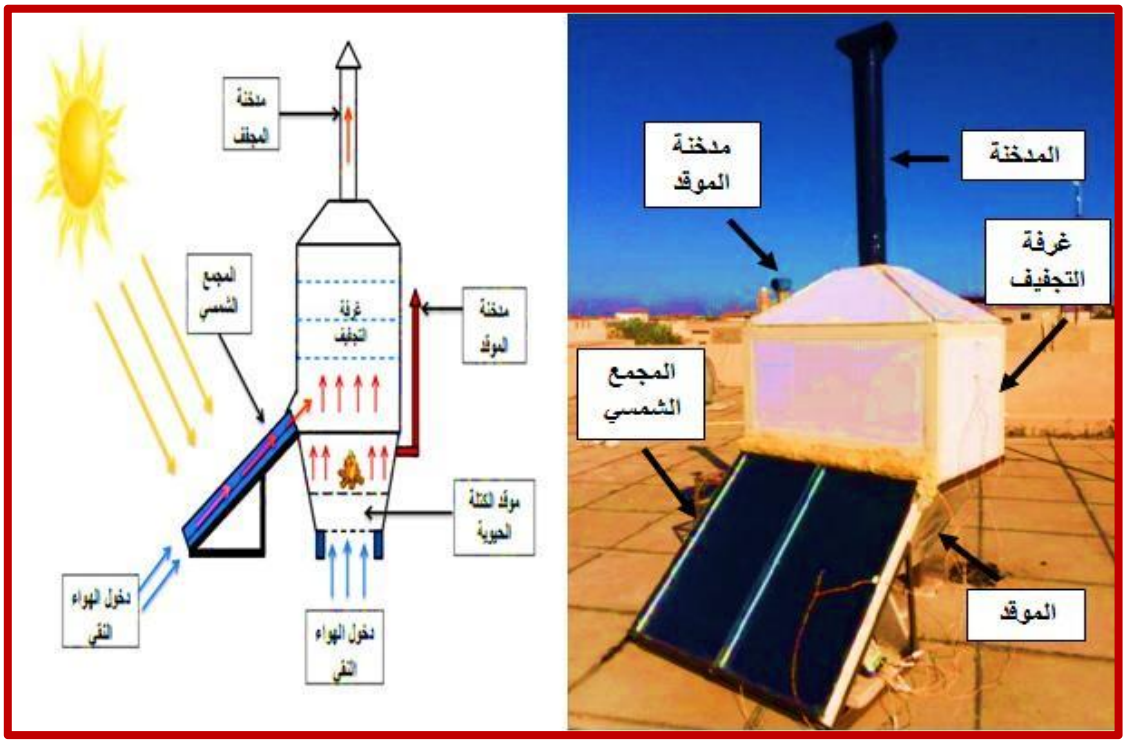
❖ المجففات الشمسية المختلطة:

تجمع هذه المجففات بين خصائص المجففات المباشرة والغير مباشرة في التركيب والعمل في آن واحد، إن هذا النوع من المجففات له نفس تركيبة المجففات الغير المباشرة (مجمع شمسي، غرفة التجفيف، مدخنة)، ولها نفس سلبيات المجففات مباشرة لتعرض المنتج إلى الإشعاعات الشمسية المباشرة والتي تؤثر على القيمة الغذائية [25].

الشكل(I-9): صورة للمجفف الشمسي المختلط.

❖ المجففات الشمسية الهجينة:

في هذا النوع من المجففات يتدخل مصدر(إضافي) ثانوي للطاقة (طاقة كهربائية أو طاقة احتراق الفحم أو الغاز أو الخشب، الكتلة الحيوية.....إلخ) نستعمل مروحة لتحريك الهواء في مجففات الحمل القسري مما يسرع عملية التجفيف تعمل بالطاقة الإضافية تساعد الطاقة الإضافية في إبقاء درجة الحرارة ثابتة داخل المجفف مهما كانت حالة الطقس، فتعمل على إكمال الفارق والوصول إلى الدرجة المثلى للتجفيف [26].



الشكل(I-10): صورة فوتوغرافية و رسم تخطيطي لمجفف شمسي هجين.

ولهذا النوع العديد من الفوائد نذكر منها [18]:

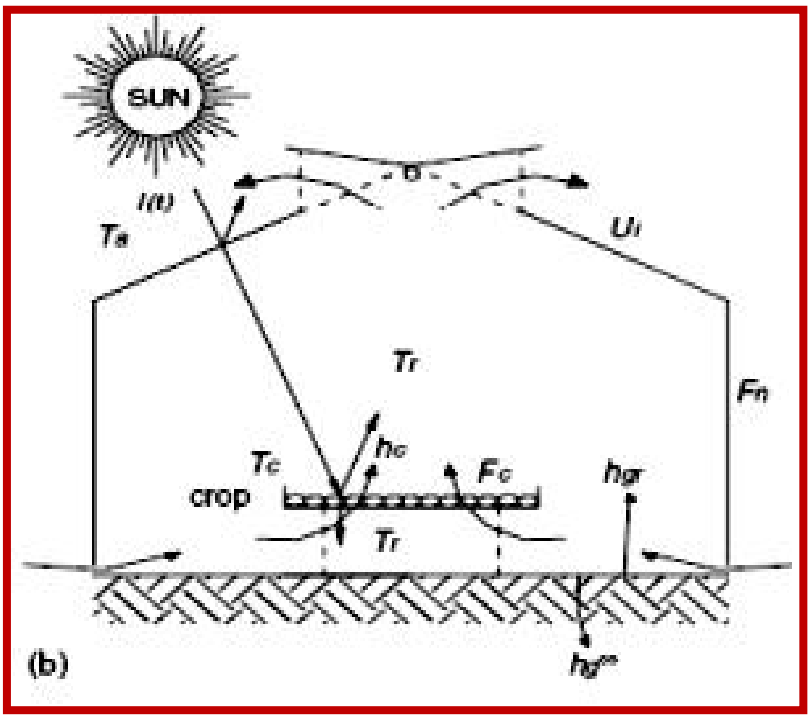
- ✓ زيادة نسبة الإنتاج مقارنة بالمجفف الشمسي
- ✓ إستهلاك منخفض للطاقة مقارنة بالمجفف الصناعي
- ✓ التحكم الجيد في الحرارة وسرعة التجفيف داخل المجفف

I-4-3- أنواع المجففات حسب طبيعة تدفق الهواء:

تصنف مجففات الشمسية إعتمادا على طريقة تدوير الهواء مثل مجففات الحمل الطبيعي ومجففات دوران الحمل القسري.

➢ مجففات الحمل الطبيعي:

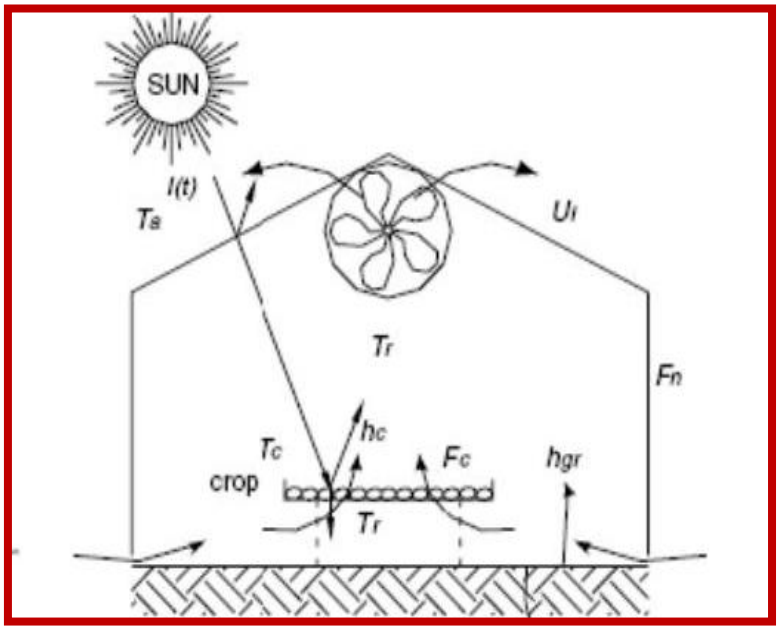
تعتمد على الفرق في الكثافة، حيث يدخل الهواء البارد من الوسط الخارجي إلى المجفف من خلال الفتحة السفلية، يتم تسخين الهواء فتنخفض كثافته ويصعد إلى الأعلى وأثناء صعوده نحو الأعلى يقوم بتجفيف المنتجات المراد تجفيفها وذلك بإمتصاص الرطوبة منها وعندما يبرد يتم طرده إلى الخارج من خلال المدخنة كما يوضحه الشكل**(11-I)** [18].



الشكل(11-I): رسم تخطيطي للمجفف الشمسي المباشر مع الحمل الطبيعي[27].

➢ مجففات الحمل القسري:

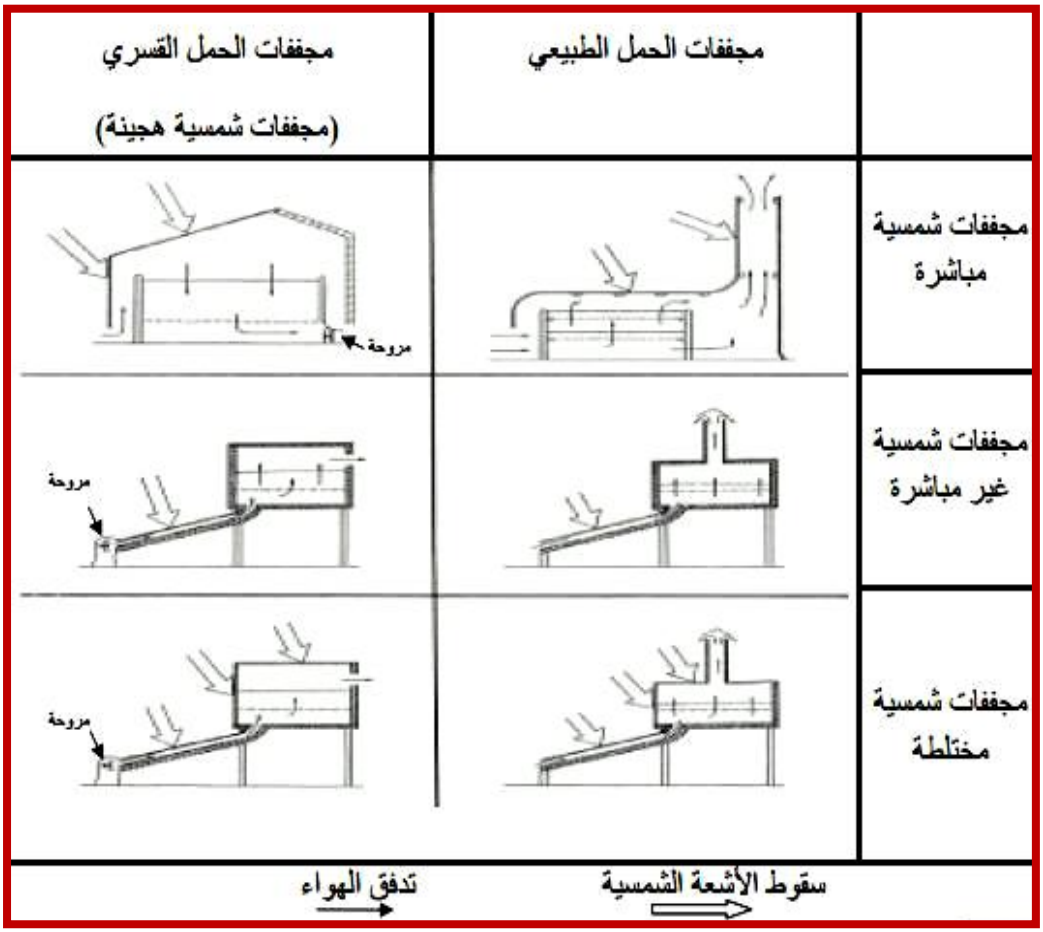
في هذا النوع من المجففات تكون حركة الهواء قسرية أي يتم تدوير الهواء الساخن ضمن المجففة بواسطة منظومة المراوح يتم اختيارها بحسب كمية الهواء اللازمة لإتمام عملية التجفيف وسرعته المطلوبة[28]، وتسمح هذه الفئة من المجففات الشمسية بالتحكم الجيد في عملية التجفيف وذلك بسبب سرعة وإستمرارية الهواء الساخن. ولهذا النوع من المجففات عيوب كغيره من المجففات منها تكلفته العالية بالنسبة للإنتاج والإستثمار مقارنة بالمجففات الحمل الطبيعي، كما يتطلب الإمدادات المحلية من الكهرباء التقليدية أو نظام الضوئية لتشغيل المروحة (أنظر للشكل **(12-I)**).



الشكل(I-12): رسم تخطيطي للمجفف الشمسي المباشر مع الحمل القسري [29].

ويمكن إعتبار هذا الصنف من المجففات الهجينة لإستعماله مصدر آخر للطاقة غير الطاقة الشمسية[30].

والشكل **(13-I)** يلخص الفرق بين المجففات الشمسية المباشرة وغير مباشرة والمجففات الشمسية المختلطة، حسب طبيعة حركة الهواء في كل نوع.



الشكل(I-13): الفرق بين المجففات الشمسية المباشرة وغير مباشرة والمجففات الشمسية المختلطة، حسب طبيعة حركة الهواء في كل نوع [27].

I-5- مجالات إستخدام التجفيف الشمسي:

إستعمل الإنسان التجفيف بواسطة الطاقة الشمسية في أنحاء العالم في عدة ميادين نذكر منها [18]:

- **تجفيف السمك**: (السنغال والكنغو) - اللحم...
- **تجفيف الخضر**: الفلفل، البصل، الطماطم والجزر(مالي)...
- **تجفيف الفواكه**: الموز(مالي)، العنب، البلح، المنجا (mangas)، المشمش...
- **تجفيف المحاصيل الزراعية**: الأرز (تايلاند أو الفلبين)، الحبوب (الولايات المتحدة الأمريكية)، البن، الفول السوداني، الذرة، الزنجبيل، الفاصوليا والكاكاو...
- **تجفيف الأعلاف** لتغذية قطعان الماشية.

I-6- التغيرات الغذائية التي تحدث على الغذاء أثناء عملية التجفيف:

يحتاج جسم الإنسان إلى الأملاح المعدنية والفيتامينات والألياف وكذا الطاقة و الكربوهيدرات والبروتينات... التي يتحصل عليها من الغذاء، سواء خضر أو فواكه ولمحاسن التجفيف أنه يحافظ على هذه القيم الغذائية. في حين يفقد جزء صغير من فيتامين C أثناء عملية تبييض الغذاء عن طريق التسرب أو النض ولهذا يستلزم الأمر ألا تتجاوز فترة التبييض الوقت اللازم لإتمام العملية وذلك من أجل التقليل من التسرب من الحد الأدنى. ويراعي في الوقت نفسه عدم تقليل الوقت المطلوب لإتمام هذه العملية [31].

I-7- الشروط اللازمة للحصول على أعلى قيمة غذائية للمنتج المجفف:

للحصول على منتج ذو قيمة غذائية أفضل يجب التحقق من بعض الشروط نذكر منها[32]:

- تجنب التبييض المفرط.
- يجب أن تتم عملية التجفيف في أقصر مدة زمنية دون زيادة في درجة الحرارة.
- عدم وضع كميات كبيرة من المادة المراد تجفيفها داخل المجفف.
- وضع قطع الغذاء على صواني تجفيف مع ترك مسافة بين كل قطعة.
- المحافظة على التدفق الجيد للهواء في المجفف.
- إجراء عملية تجفيف عندما تكون الرطوبة النسبية للهواء منخفضة.
- فحص الغذاء في كل فترة للتأكد من أنه جف.
- تخزين المواد التي تم تجفيفها في علب لا تسمح بوصول الرطوبة أو الأكسيجين إلى الداخل.
- يتم وضع غذاء مجفف في مكان بارد، جاف،مظلم.

I-8- فوائد ومزايا التجفيف:

- إنخفاض كتلة وحجم المواد المجففة نتيجة لإزالة جزء كبير من رطوبتها وعليه تكاليف التعبئة تنخفض كذلك النقل والتخزين كما تبدو أهمية ذلك بصفة خاصة أثناء الحروب أو المجاعات.
- إنخفاض التكاليف اللازمة لإجراء عملية التجفيف مقارنة بطرق الحفظ الأخرى مثل التعليب أو التجميد خاصة في حالة التجفيف الطبيعي (الشمسي) بالإضافة إلى عدم الحاجة إلى إستعمال مواد إضافية أخرى مثل السكر كما في حالة الأغذية المعلبة.
- سهولة تخزين الأغذية المجففة حيث لا يتطلب الأمر أكثر من مكان تخزين نظيف وجاف وخالي من الحشرات والقوارض بينما تحتاج الأغذية المحفوظة بالتجميد مثلا إلى تخزينها في المجمدات والتحكم تماما في درجة الحرارة والرطوبة طوال فترة التخزين وإلا تعرضت إلى التلف أو الفساد إذا إرتفعت درجة الحرارة وأدى ذلك إلى إنصهارها [33].
- بعض الثمار كبيرة وثقيلة لذا فإنها تتساقط قبل عملية جفافها الكامل.
- الفاكهة المجففة تستهلك طوال السنة طازجة [18].

- ❖ يساعد في توفير النقود حيث أن الإحتفاظ بالأغذية الفائضة عن حاجتنا وعدم التخلص منها مما يمنحنا الفرصة لتناولها وقتما نرغب.
- ❖ البعض يقوم بشراء السلع والأغذية عندما تكون أرخص ثمنا بكميات كبيرة فيلزمهم حفظها من التلف لحين إستخدامها.
- ❖ يوفر الوقت والجهد بدلا من التسوق كل مرة في شراء الأطعمة.
- ❖ حماية الأغذية من التلف أو الفساد زيادة على ذلك حفاظها من القيم الغذائية بداخلها [34].

I-9- خاتمة الفصل:

يستمد سطح الأرض وغلافها الهوائي الحرارة من الشمس بواسطة الأشعة، التي تحمل إليهما الطاقة علي شكل موجات مختلفة الأطوال، وقد تعرفنا في هذا الفصل على الإشعاع الشمسي تعريفه، أنواعه، العوامل التي تؤثر به وتركيبه... كما تعرفنا كذلك عن التجفيف، تعريفه، أنواعه، مجالات إستخدامه، التغيرات الغذائية التي تحدث على الغذاء أثناء عملية التجفيف، والشروط اللازمة للحصول على أعلى قيمة غذائية للمنتج وكذلك فوائد ومزايا التجفيف، وسنتعرف في الفصل الموالي على ظواهر التجفيف ومبدأ عمل المجفف المحسن.

قائمة مراجع الفصل الأول

[1]: Pierre Bessemoulin et jean oliviéri, "le rayonnement solair et sa composante ultra –violette" Météo-France-la Météorologie 8 série-n° 31, pages :(42-59) ,(2000).

[2]: المعهد العالي للمهن الشاملة للأستاذ نبيل شهد - تخصص الطاقة والحياة - صيف يونيو(2011).

[3]: "الجغرافيا المناخية والنباتية عبد العزيز طريح" + "مقدمة في نظم الطاقة الشمسية"، جمع وتنسيق سالم بن موسى-(2012).

[4]: مرفت تلاوي، "تنمية استخدامات الطاقة الجديدة والمتجددة، مؤتمر القمة العالمي لتنمية المستدامة"، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا – الأمم المتحدة جوهانسبورغ من 26 إلى 4 سبتمبر (2002).

[5]: Ndiaye, Ababacar.” Étude de la dégradation et de la fiabilité des modules photovoltaïques-Impact de la poussière sur les caractéristiques électriques de performance”Diss.Ecole Supérieure Polytechnique (ESP)-UCAD, (2013).

[6] : رسول رمضان عتاب، "حساب وتحليل كمية الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على السطح الأفقي لمدينة الناصرية"، مجلة علوم ذي قار المجلد (2) العدد (1)،(2010).

[7]:Daguenet M, Les Sechoirs Solaires, Theorie Et Pratique, Unisco, Paris, 1985.

[8]: أ.م.د اسعد الرحمان سعيد الحلفي، " هندسة الأغذية بالطاقة الشمسية "، ط1، مكتبة الزهراء للطباعة– البصرة، العراق (2010).

[9]: د. سهيل فاضل، د.الياس الكية، "الطاقة الشمسية وتطبيقاتها"، دار الحداثة لطباعة والنشر والتوزيع، ص ب 14/ 5636، بيروت، لبنان.

[10]: JUAN, F. ; ORAN, R .; Peter,A.FOX."calculation of solar irradiances I.synthesis of the solar spectrum ", the Astrophysical journal, june 10 (1999).

[11]: محمد البار سوداني، "تحقيق عملي لمركز شمسي اسطواني مكافىء ذي غطاء زجاجي"، رسالة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2017-2018.

[12]:J A Duffie, w a Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, edited by John Wiley & Sons , 2013.

[13]: د.صلاح الدين بحيري، "كتاب مبادىء الجغرافيا الطبيعية"، دار الفكر- دمشق، ص 208، سوريا (1996).

[14]: كريم رشدي، "استخدامات الطاقة الشمسية"، مقالة الطاقة الشمسية، 30/04/2022،12:15 سا.

[15]: Andre charreau, roland cavaillé, «séchage : théorie et calcul », techniques de l’ingénieur, traité génie des procédés - France , J 2480 (2001).

[16]: MINKA H - - potential improvements Ti Traditional solar crop dryers In cameroon – In : BASSE M; SCHMIDT O.,1 st ed, solar drying in Africs, Senegal, Bibliotheque du crdi, pp : 11-12, (1986).

[17]: المهندسة يسرى يوسف الوزة، تحسين أداء التجفيف الشمسي للمنتجات الزراعية (التبغ السوري)، رسالة ماجستير، جامعة تشرين، صفحة 35، سوريا (2006).

[18]: مختار العاتي، "المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية"، رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، الجزائر، (2011).

[19]: أ. د محمد سليم علي أشتية ورنا ماجد جاموس، "التجفيف الشمسي للفواكه والخضراوات: خيرات من فلسطين"، مركز أبحاث التنوع الحيوي والبيئة (بيرك)، ص 696 ،نابلس، فلسطين (2010).

[20]: D.Mennouche, « valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire », Mémoire de magistére, université kasdi Merbah ouargla (2006).

[21]: أسعد رحمان سعيد الحلفي وغياث حميد مجيد، "الأداء الحراري للمجفف الشمسي وتأثيره في بعض الصفات الهندسية للتجفيف"، مجلة البصرة للعلوم الزراعية، المجلد 20 - العدد 2، (2007).

[22]: N.Bintiharmain, “Development of solar dryer system For Food Drying purposes”, the award of Bachelor of Mechanical Engineering university Malaysia palang, Malaysia, June (2012).

[23]: KALOGIROU .S, “solar energy Engineering process And system”, USA elevier 779 pages(2009).

[24]: M.A. Basunia & T. Abe. J. of food Eng, Great Britain, V. 47, pp, 295-301(2001).

[25]: Ahmed BAHADJ, "Etude expérimentale de séchage solaire de la pomme de terré », Mémoire de Master academique, université kasdi Merbah ouargla, Algerie (2014).

[26] p. Dudez. « Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes : expériences et procédés », Edition du greth. France(1999).

[27] slimane Boughali, Etude et optimisation du séchage solaire des produits agro alimentaires dans les zones arides et desertiqres diplôme de doctorat, universite. Hadj lakhdar Batna, 2010,puu-46.

[28]: د. السيد مصطفى محمد، د. فتحي قدري أحمد مجاهد ابراهيم السيد، "النماذج الحسابية للنظم الحرارية الشمسية"، مركز النشر العلمي في جامعة الملك عبد العزيز، صفحة 757، جدة، المملكة العربية السعودية (2000).

[29] yves. Jannot, “thermique solaire”, (2007).

[30]: محمد سليم أشبة، رنا ماجد جاموس، "التجفيف الشمسي للفواكه والخضروات"، مركز أبحاث التنزع الحيوي والبيئة نابلس، ص 9، فلسطين (2016).

[31]: زعبي خ، حوامد ع، هرمس إ، "دراسة كفاءة مجفف شمسي في منطقة الجنوب الشرقي بالجزائر– الوادي"، مذكرة ماستر، جامعة حمه لخضر- الوادي، الجزائر (2021).

[32] C .I.Speirs,&H.C.coote, “Solar drying: practical methods of food preservation”, Geneva: international Labor organization,.(1986)

[33] :د. سعد أحمد سعد حلابو، د. عادل زكي محمد بديع، د. محمود علي أحمد بخيت، "تكنولوجيا الصناعات الغذائية- أسس حفظ وتصنيع الأغذية"، المكتبة الأكاديمية، شركة مساهمة مصرية- صفحة 104، (2008).

[34]: https://adlat.net/showthread.php ?t=38951424/04/2021.

الفصل الثاني

ظواهر التجفيف ومبدأ عمل المجفف المحسن

II-1- مقدمة:

يعتبر التجفيف عملية جد مهمة لحفظ الأغذية وتخزينها لمدة أطول كما لها عدة مزايا إيجابية ويتم ذلك بخفض النشاط المائي أي الرطوبة للمنتج ولهذا سنتعرف في هذا الفصل عن جهاز التجفيف وكيفية عمله وأهم الظواهر الفيزيائية التي تحدث للمنتج أثناء تجفيفه من إنتقال للحرارة والكتلة وكذا الخواص الأساسية لهواء التجفيف والمادة الرطبة وكذلك العوامل التي تؤثر في سرعة التجفيف.

II-2- الظواهر الفيزيائية التي تحدث خلال عملية التجفيف:

التجفيف عبارة على تداخل ظاهرتين فيزيائيتين. تقوم هذه الظاهرتين على مبدأ نقل الطاقة والكتلة في نفس الوقت.

- نقل حراري إلى منتج مصدره حرارة.
- نقل كتلة الرطوبة من داخل المنتج إلى سطحه ومن سطحه إلى الهواء [1].

II-2-1- الإنتقال الحراري:

يحدث إنتقال الحرارة عند إرتفاع درجة حرارة الهواء في الغرفة أي حدوث فرق في درجة الحرارة بين الهواء والمنتج، يتم الإنتقال الحراري بأنواعه الثلاثة: التوصيل، الحمل والإشعاع، تحدث هذه الأنواع بمفردها أو مع بعضها البعض [3.2].

II-2-1-1- التجفيف بالحمل الحراري:

التجفيف بواسطة الحمل الحراري يعتمد على طريقة إتصال بالغاز، حيث يتدفق هذا الغاز في نظام المضطرب بشكل عام حول الجسم حتى تتم عملية تجفيفه والذي يكون في شكل جسيمات أو قطرات. يتم معرفة هواء التجفيف بواسطة معاملات التحويل على السطح والتي تعتمد على المميزات الرئيسية للهواء، ففي حالة الحمل الحراري يتم نقل الحرارة بطريقة مباشرة عن طريق السائل الذي يخزن حرارة قد يكون هواء ساخن، ماء، بخار مثلا، فالحمل يعرف بالنقل سريع للحرارة [4]، في هذه الحالة نميز طريقتين للحمل هما:

- **الحمل الطبيعي:**

إذا كانت حركة المائع تنتج إنطلاقا من الإختلافات في الكثافة الناتجة عن الإختلافات في درجة الحرارة فيتم التدفق بشكل طبيعي، ومن المتفق عليه عند وجود إختلافات في الكثافة لمناطق مختلفة من السائل فإنه تحدث عملية الحمل الحراري الطبيعي [4].

- **الحمل القسري:**

تحدث عملية الحمل الحراري القسري إذا تم ضبط السائل بواسطة الحركة الخارجية مثل مروحة أو رياح وغيرها، ويعبر عن قيمة الإنتقال الحراري بأنها دالة لطبيعة السائل ودرجة حرارته وسرعته والخصائص الهندسية لسطح التلامس إما صلب أو سائل [4].

II-2-1-2- التجفيف بالتوصيل الحراري:

في هذا الوضع يتم توفير الطاقة اللازمة للتجفيف عن طريق الإتصال المباشر للمنتج بسطح ساخن (جدار ساخن)، ولا يتم توفير الطاقة الحرارية بواسطة غاز يتحرك حول المنتج ليتم تجفيفه [4].

II-2-1-3- التجفيف بالإشعاع الحراري:

يتم تجفيف المنتجات في هذا الوضع من التجفيف بواسطة طاقة الموجات الكهرومغناطيسية (الإشعاع)، أو عن طريق رفع درجة حرارة باعثة للأشعة تحت الحمراء، عملية التجفيف هذه فعالة جدا للتخلص من الماء خاصة عندما يكون المنتج المراد تجفيفه غير حساس للحرارة [5].

II-2-2- الإنتقال الكتلي:

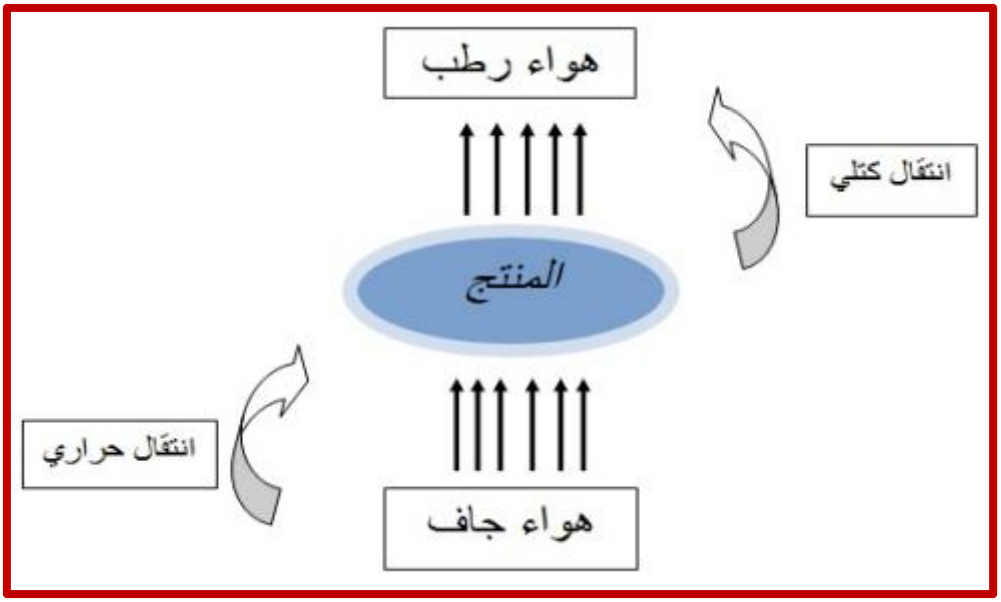
ظاهرة نقل الكتلة هي نقل أحد مكونات المحلول السائل من منطقة إلى أخرى ذات تراكيز مختلفة (منطقة ذات تركيز عالي إلى منطقة ذات تركيز منخفض)، يمكن فهم آلية نقل الكتلة عن طريق مقارنتها مع إنتقال الحرارة (لا يوجد تشابه كبير بين إنتقال الكتلة وإنتقال الحراري)، حيث تنتقل الحرارة في نفس إتجاه تدرج الحرارة بينما تنتقل الكتلة في إتجاه تدرج التركيز في نفس الوقت [7,6].

❖ الإنتشار الجزيئي:

يوجد الإنتشار الجزيئي بين نقطتين من السائل مع وجود فرق في التركيز بين كل نقطة، ويحدث التشريد العشوائي لجزيء من أجل توحيد التركيز في الوسط، ويكون إنتقال الكتلة عن طريق إنتشار الجزيئي مشابه تماما للإنتقال بواسطة التوصيل الحراري [7].

❖ الإنتقال الكتلي الحملي:

في الإنتقال الكتلي بالحمل تنقل الكتلة (أو كمية المادة) مباشرة للمائع المذاب. والحمل هو شكل من أشكال الإنتقال السريع بالمقارنة بالإنتشار الجزيئي. وعند ترك المائع المذاب يتحرك لوحده أو بفعل التيار الكتلي الناتج من زيادة ذوبان المادة، نسمي هذا النوع بالحمل الكتلي الطبيعي (الحر)، لكن عند التأثير على المائع بقوة كعمل ميكانيكي (مروحة) نسمي الحمل بالحمل الكتلي القسري [8].



الشكل (II-1): رسم تخطيطي لإنتقال الحرارة و الكتلة أثناء التجفيف.

II-3- الخواص الأساسية لهواء التجفيف:

- **الرطوبة:** الرطوبة هي تعبير يشير إلى كمية الماء الموجودة في جسم ما سواء أكان في الحالة الغازية أو الحالة الصلبة [9].
- **الرطوبة النسبية:** الرطوبة النسبية أو كما تسمى أيضا بدرجة الرطوبة هي النسبة بين الضغط الجزيئي لبخار الماء الموجود في الخليط على ضغط البخار المشبع في الخليط، عند نفس درجة الحرارة [10].
- **الرطوبة المطلقة:** تعرف الرطوبة المطلقة للهواء الرطب بكمية بخار الماء بالنسبة للهواء الجاف [11].
- **درجة الحرارة الجافة:** تمثل درجة الحرارة الجافة للغاز و للحصول على هذه الدرجة يوضع مقياس حرارة في الهواء الطلق [12].
- **درجة الحرارة الرطبة:** درجة الحرارة الرطبة هي درجة الحرارة التي تؤخذ عن طريق مادة صلبة المبللة بواسطة ماء النقي، في فترة السرعة الثابتة من عملية التجفيف ويتم وضع هذا المقياس في هواء تدفقه سريع نسبيا [13].

II-4- الخواص الأساسية للمادة الرطبة:

II-4-1- أشكال توزيع الماء داخل المنتج:

بإعتبار المنتجات الزراعية أجسام مسامية (تحتوي على فراغات متصلة ببعضها البعض وتحتوي على مائع داخلها) [14]، فإن توزيع الماء داخلها يكون كالتالي:

- **الماء الحر:** يتموضع في أغلب أجزاء فراغات الجسم، موجود على شكل سائل بواسطة القوة الشعيرية [15]. وهذا الماء يكون قريب من السطح (القشرة) ويتبخر عندما يتعرض المنتج إلى أي حرارة وبذلك فهي تفقده ببساطة [16].
- **الماء المرتبط:** يكون عبارة عن طبقة رقيقة مع جدار الثغر، وهو موجود في شكل سائل بواسطة القوة الشعيرية القوية [15]، وهو ينفذ من خلال الأغشية الخلوية من التركيز العالي إلى التركيز المنخفض[16].
- **الماء المتحد:** هذه المياه لا يمكن السيطرة عليها و إزاحتها لأنها من أصل وتركيب الثمرة ونسبتها بسيطة ولا تحتاج إلى إزاحة لأن بإزاحتها يتغير تركيب الثمرة وشكلها [16].
- **بخار الماء:** ويتواجد في الفراغ الخالي من الماء السائل، وهو ممزوج بالهواء الجاف [15].

II-4-2- النشاط المائي للمنتج:

النشاط المائي هو عامل رئيسي ومهم في عمليات تصنيع الأغذية مثل النمو الميكروبي وتكوين السموم والتفاعلات الأنزيمية، وهو الذي يحدد المدة التي يمكن تخزين الغذاء دون أي مضاعفات، حيث النشاط المائي للماء الحر يساوي 1، الماء المرتبط بشكل ضعيف يكون أكبر من 0,7، الماء المرتبط بشكل معتدل يكون أكبر من 0,3 [17].

II-3-4- المحتوى الرطوبي (الرطوبة النسبية للمنتج) على الأساس الجاف:

وهي تمثل النسبة المئوية لكتلة الماء الموجود في المنتج بالنسبة إلى كتلته الكلية [18]. ويعبر عنه بالغرامات من الماء لكل 100g من المادة الرطبة.

ويعبر عن كمية الماء القابلة للتبخر في المادة كما هو موضح في العلاقة (**1.II**) .

$$Mc = \frac{mi-mf}{mf} \qquad (1.\ II)$$

حيث: - **Mc**: محتوى الرطوبة.

- **mi**: وزن المادة قبل التجفيف.

- **mf**: وزن المادة بعد التجفيف

II-5- سرعة التجفيف:

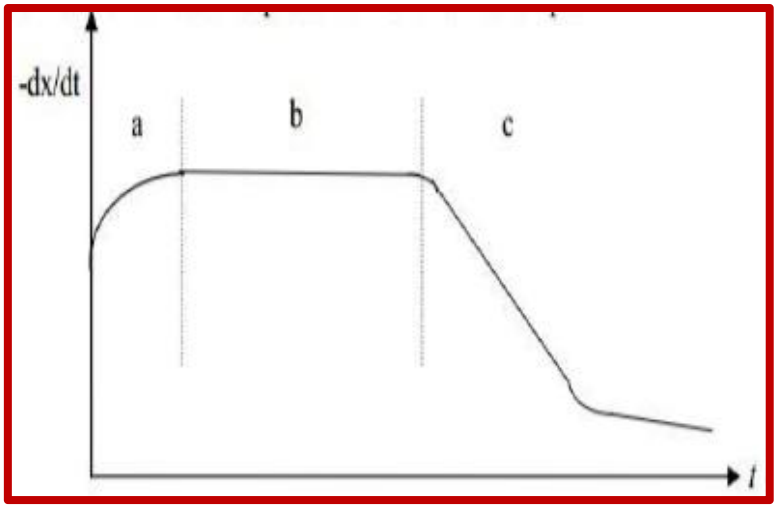
تعرف سرعة التجفيف بالفرق في المحتوى الرطوبي للفاصل الزمني، وهو المقدار الذي يميز وتيرة التحول وهي دالة لعدة عوامل أهمها:

- الطبيعة، المسامية، الشكل والرطوبة للمنتج.

- درجة الحرارة، الرطوبة وسرعة الهواء [19].

II-6- حركية التجفيف:

ويقصد بها تطور سرعة تجفيف المنتجات بالنسبة للزمن، وتتم الدراسة من خلال منحنيات تمثل تطور سرعة التجفيف كدالة للزمن [19]. نحصل على المنحنيات عند إخضاع طبقة رقيقة من المنتج لتيار هواء ثابت درجة الحرارة، الرطوبة والسرعة ثم قياس كتلة المنتج كدالة للزمن [20]. هذه المنحنيات تميز السلوك العام لمنتجات مختلفة أثناء عملية التجفيف [19].



الشكل(II-2): منحنى حركية التجفيف [21].

المنحنى أعلاه يمثل حركية التجفيف بدلالة الزمن، لكن في الكثير من الأحيان يتم أيضا رسم منحنى حركية التجفيف بدلالة الرطوبة المتبقية في المادة أثناء التجفيف [20].

من خلال المنحنى نلاحظ ثلاث مراحل أساسية:

أ-المرحلة الأولى: مرحلة الإحماء (المنطقة a)

عند تعريض منتج لتيار من الهواء الساخن يحدث إنتقال للحرارة والكتلة بين المنتج والهواء الجاف، تتطلب كميات الماء الموجودة في المنتج إلى طاقة كافية للتبخير، تؤدي الحرارة الزائدة التي يوفرها الهواء إلى زيادة حرارة المنتج حتى تصل إلى درجة حرارة وسط التجفيف. هذه الفترة عادة ما تكون قصيرة جدا مقارنة مع الوقت الكلي للتجفيف [20].

ب-المرحلة الثانية : مرحلة السرعة الثابتة(المنطقة b)

في هذه المرحلة سرعة التجفيف ثابتة، الرطوبة تنتقل إلى السطح على شكل سائل بسبب القوة الشعيرية، حيث يحدث توازن بين الإنتشار الغشائي وآلية إنتقال الرطوبة الداخلية إلى السطح، درجة الحرارة تبقى منتظمة في جميع أنحاء المادة لأن التدفق الحراري أستعمل في تبخير الماء إلى السطح [22].

ج-المرحلة الثالثة: مرحلة التباطؤ(المنطقة c)

تتميز هذه المرحلة بأن سطح المنتج لم يعد مشبع ببخار الماء ويتم التحكم في نقل الكتلة من خلال الآليات المعقدة لحركة الماء من الداخل إلى سطح المنتج، وتمثل هذه المرحلة كل التجفيف تقريبا، يتم تفسير تباطؤ سرعة التجفيف بالظواهر التالية:

- ✓ **إختفاء الماء الحر من سطح المنتج:**

منطقة التبخر التي كانت على سطح المنتج تتحرك لتصبح داخل المنتج [20]. لذلك يتحول الماء المرتبط داخل المنتج إلى بخار، أما الماء الحر الموجود على السطح إلى سائل، وهذه الظاهرة تتعلق ببداية إنخفاض المنحنى [16].

- ✓ **سمك المنتج:**

بخار الماء الذي يعبر المنتج يتعلق بسمك هذا المنتج بحيث كلما كان سمك المنتج كبير كلما كان المسار أطول، وهذا ما يفسر تباطؤ معدل التجفيف [20].

- ✓ **إنتشار الماء داخل المنتج:**

تتغير حسب نسبة الماء داخل المنتج، بحيث كلما كانت جافة تنقص سماحيتها للماء [20].

- ✓ **القوة الميكانيكية لجدران الخلايا:**

تمنع جدران الخلايا بخار الماء من المرور بكميات كبيرة إلى سطح المنتج [16].

- ✓ **التقشير:**

يصاحب الماء المتبخر أثناء مرحلة السرعة الثابتة بعض المركبات القابلة للذوبان بما في ذلك السكريات والأملاح وتتموضع على السطح، تسمى هذه الظاهرة بالتقشير وهي مسؤولة عن التركيز العالي لهذه المركبات، القابلة للذوبان على السطح والتي تغلق مسام المنتج. تراكم وتجفيف هذه المذابات تجعل سطح المنتج لا مسامي (غير نفاذي) [20] .

II-7- تأثير عوامل هواء التجفيف على حركية التجفيف:

II-7-1- تأثير درجة حرارة هواء التجفيف:

درجة حرارة هواء التجفيف لها تأثير كبير على سرعة التجفيف وعلاقتهما طردية بحيث كلما زادت درجة حرارة الهواء زادت معه درجة حرارة المنتج المجفف، مما ينتج عنه أن إنتقال الكتلة من المنتج ترتفع أيضا [23]، ويجب ألا تكون درجة حرارة الهواء عالية جدا لأن ذلك يؤدي إلى تلف المنتج، يتم تعريض معظم الفواكه والخضروات إلى درجة حرارة مابين (60°C - 65°C) ماعدا الملفوف والبصل تكون أقل من (57°C)، كما لا ينبغي تعريض المكسرات لدرجة حرارة أعلى من (54°C) بإستثناء الجوز يجب ألا يتجاوز (43°C)، عند تعريض المنتجات إلى درجة حرارة أعلى مما يجب فإنها تفقد جودتها، فتظهر بلون داكن وينقص عمر تخزينها [24].

II-7-2- تأثير سرعة هواء التجفيف:

إن سرعة تدفق هواء التجفيف يزيد إنتقال الكتلة من المنتج أي زيادة سرعة التجفيف [24]، وعليه سرعة هواء التجفيف له أثر إيجابي على حركية التجفيف خاصة في بداية العملية، بينما في المواد التي تتحكم حركية التجفيف فيها بالهجرة الداخلية للماء، فسرعة هواء التجفيف يكون لها أثر ضعيف جدا [23].

II-7-3- تأثير رطوبة هواء التجفيف:

يلعب بخار الماء في الهواء دور مهم في سلوك حركية التجفيف في عدد من المنتجات كما هو الحال مع سرعة الهواء [23]. فعندما تكون الرطوبة النسبية للهواء المحيط بالمنتج منخفضة تزداد سرعة التجفيف. يؤدي تسخين الهواء إلى تقليل الرطوبة النسبية بما يكفي لإنتاج مستويات الرطوبة النسبية المنخفضة المطلوبة لتسريع التجفيف [24].

II-8- مردودية التجفيف:

II-8-1- المر دودية الكتلية:

يعتمد المردود الكتلي على طبيعة، المحتوى الرطوبي وحجم المنتج وكما يتعلق أيضا بدرجة حرارة وسرعة الهواء حول المنتج.

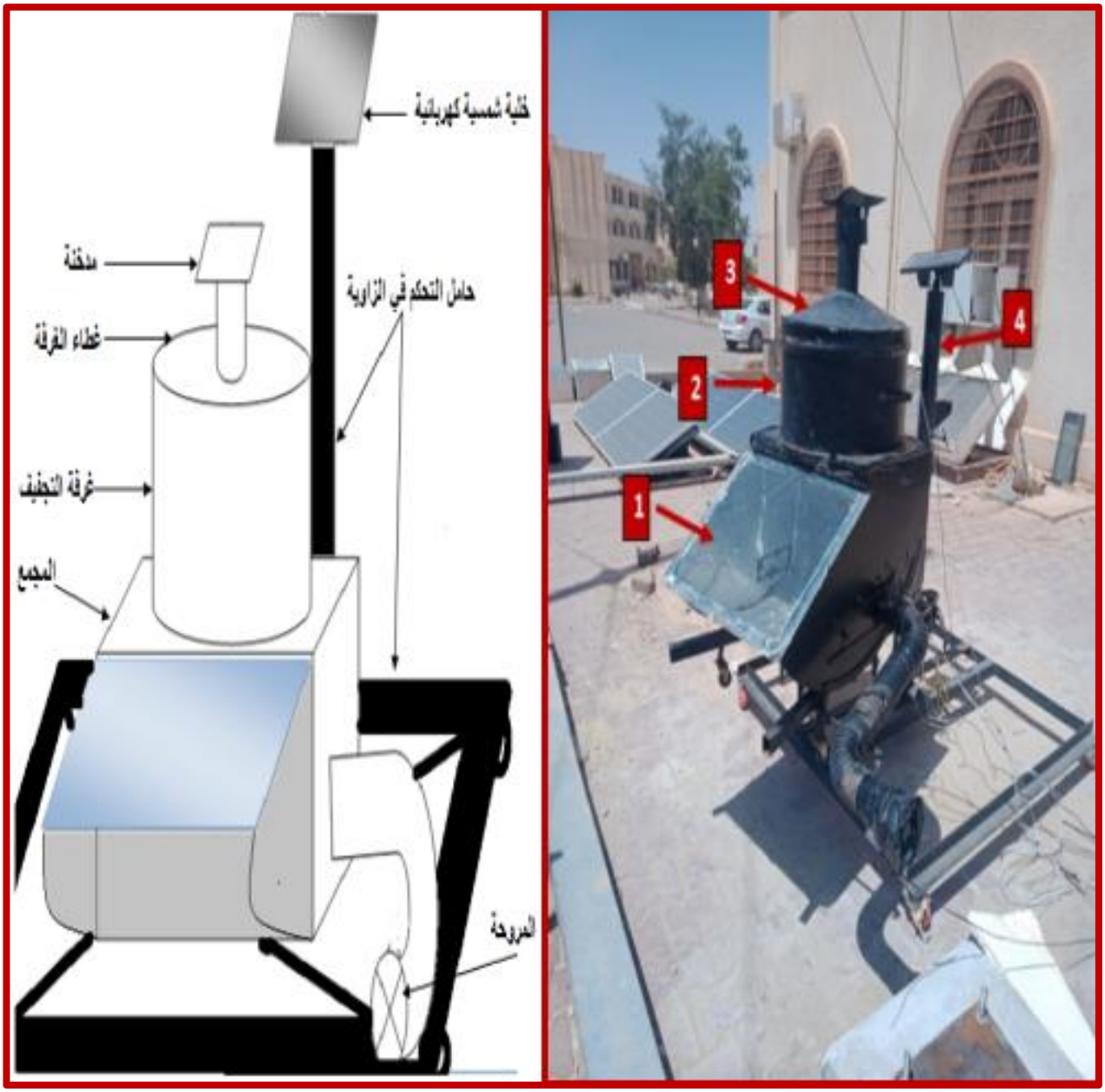
II-8-2- المرد ودية الطاقوية:

في عملية التجفيف يتم تعريف كميتين تميزان الطاقة المستهلكة [25]:

- ✓ متوسط إستهلاك الطاقة وهو مقدار الطاقة اللازمة لتبخير 1كغ من المياه الموجودة في المنتج.
- ✓ نسبة إستهلاك الطاقة.

II-9- وصف المجفف الشمسي قيد الدراسة:

في ما سبق وبعد الشرح النظري والمفصل للعوامل والظواهر المؤثرة على عملية التجفيف، قررنا العمل بمجموعة من التجارب على التركيب أو النموذج المقترح في السنة الماضية ولكن بإدخال جملة من التحسينات لتقليل من فترة التجفيف والخفض من ضياع كمية الحرارة وهذا وفقا للتصميم المبين في الشكل **(3-II)** والمتبع بالتفصيل في الجدول**(1-II)**:



الشكل(3-II): صورة فوتوغرافية ورسم تخطيطي لمجفف الشمسي ذو الماص المقلوب.

الجدول(II-1): عناصر المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب.

الاسم	الصورة	مميزاته
1 المجمع		أبعاد الزجاج cm (57×35) المائل بزاوية °30، الصفيحة المقوسة المغلفة بورق الألمنيوم، تحتوي على نافذتين أبعاد كل منهاcm(20 × 6.5) دوره جمع أشعة الشمس.
2 غرفة التجفيف		وهي عبارة عن المكان الذي يوضع به المنتج دورها حفظ المادة المراد تجفيفها من الغبار والحشرات كما يمنح شكلها الإسطواني ضياع أقل للحرارة وذلك لعدم وجود زوايا حادة بها قطرها 44.5cm تحتوي على نافذة أبعادها cm(11.5× 6)، لتسهيل أخذ العينة لقياس كتلتها في كل مرة كما تحتوي على ثقوب في الأسفل لإمتصاص الأشعة المنعكسة أبعاده cm (45.5×57) نضع في الغرفة كذلك درج مشبك لوضع المنتج قطره 42cm .
3 غطاء الغرفة		قطرهcm 47 يحتوي على مدخنة إسطوانية الشكل قطرها 7.5cm وإرتفاعها cm 18.5 لخروج الهواء.

4 حامل التحكم في الزاوية		يحمل الجهاز ككل كما يعمل على دورانه بسهولة لإستقبال القيمة العظمى من أشعة الشمس.
5- درج مشبك		توضع فيه المحاصيل الزراعية لتجفيفها قطره 42 cm .
6- شبكة		توضع فيها المواد الخازنة للحرارة (الحصى الأسود والفحم).

II-10- مبدأ عمل المجفف الشمسي:

يعمل المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب بإدخال وجمع الهواء الساخن بواسطة شدة الإشعاع ونقله الى المادة المراد تجفيفها والمتواجدة على مستوى غرفة التجفيف فوق المجمع، نستعمل مروحة للتحكم في سرعة الهواء حيث تقوم بسحب الهواء من الوسط الخارجي لتدفعه إلى اللاقط الشمسي (حمل قسري) عبر أنبوب، فيتم تسخينه عن طريق تحويل الإشعاع الشمسي الساقط على سطح اللاقط إلى طاقة حرارية، وعندما يسخن الهواء يتمدد وتقل كثافته ويكبر حجمه ويتحرك بإتجاه غرفة التجفيف، فيتوزع الهواء الساخن في الغرفة التي تحوي المنتج الرطب المراد تجفيفه، لينتج فرق في درجة الحرارة بين الهواء والمنتج فيؤدي للتبادل الحراري بينهما، ليخرج الهواء من الغرفة عن طريق المدخنة حاملا معه الرطوبة (هواء رطب).
ولغرض التحسين من أداء المجفف تم إقتراح إضافة مواد خازنة للحرارة وتتمثل في ما يلي:

❖ الكربون المنشط:

تبين من خلال الدراسة التجريبية (إضافة اسطوانات الفحم على المقطر الشمسي) أنه كلما زاد إمتصاص الإشعاع الشمسي كلما إرتفع الفارق بين درجة حرارة الماء ودرجة حرارة الزجاج الداخلي للمقطر بحيث توصلت التجربة أن إضافة إسطوانات الفحم للمقطر ساهمت هذه الأخيرة في زيادة مساحة إلتقاط الإشعاع الشمسي ومضاعفة فترة تخزين الطاقة [27]. ولهذا تم إقتراح إضافة الكربون المنشط إلى الجهاز و الصورة أدناه توضح الكربون المنشط المستعمل في التجربة.

الشكل(II-4): صورة توضح الكربون المنشط .

❖ الحصى الأسود:

تم إقتراح إضافة الحصى الأسود إلى غرفة التجفيف لأن الأجسام السوداء تتميز بقدرتها العالية على إمتصاص الطاقة وإنبعاثها إضافة إلى أن الحصى يعتبر من المواد قليلة المسامية مما يجعلها تتميز بقلة تخزينها للطاقة وعليه فإن الحصى الأسود يعمل على إمتصاص الأشعة الشمسية وإنبعاثها مباشرة. والشكل **(II-5)** يظهر الحصى الأسود المستعمل في التجربة .

الشكل(II-5): صورة توضح الحصى الأسود.

ولتتبع هذه التطورات (درجة الحرارة، الرطوبة والكتلة...) نستعمل مجموعة من الأجهزة للقياس والمبينة في الجدول أدناه:

الجدول(II-2): أجهزة القياس وتعريفها.

الجهاز	صورته	تعريفه
جهاز قياس درجة الحرارة		هو جهاز رقمي يقيس درجة الحرارة يحتوي على مستشعر خارجي إسمه مزدوج الحرارة (Thermocouple) يعطي قيمة درجة الحرارة في المكان الموضوع فيه .
الميزان		هو آلة تستعمل لقياس كتلة العينة.
جهاز قياس الإشعاع الشمسي (بيرانو متر)		يتم إجراء قياس شدة الشعاع المباشر للإشعاع الشمسي. وذلك بدخول ضوء الشمس إلى الأداة من خلال نافذة للصعود إلى أداة حرارية في الآلة والتي تحول الحرارة إلى إشارة كهربائية يمكن تسجيلها . يتم تحويل إشارة الجهد عبر صيغة لقياس القدرة بوحدة واط للمتر الواحد [26].

جهاز قياس سرعة الرياح		التغير في نسبة غازات الغلاف الجوي حيث تؤثر سرعة الرياح على التنبؤ بدرجة حرارة الجو وأيضا على كلا من حركات الملاحة الجوية والبحرية والتمثيل الضوئي للنبات تقاس سرعة الرياح بجهاز المرياح أو الأنيمومتر، تحدد إتجاه الرياح في الأغلب بواسطة دوارة الرياح هي عبارة عن ذراع حديدي على شكل سهم يوضع على عمود راسي من الحديد الصلب يدور هذا السهم بسهولة شديدة ويرتكز هذا السهم والعمود على عمود أخر مثبت على ذراعين لتحديد الجهات الأصلية (الشمال، الشرق، الجنوب، الغرب) تكون مؤخرة السهم عريضة تدفعها الرياح بشكل مستمر وتسجل إتجاه الرياح في محطات الأرصاد الجوية كل يوم في ساعة معينة ويتضح من النسب المئوية عدد تكرارات الرياح من الإتجاهات المختلفة هذا يعرف منه إتجاه الرياح [26] .
البطارية		تستعمل البطارية لتخزين الطاقة الكهربائية المنتجة أو الفائض منها.
خلية شمسية كهربائية لتغذية المروحة		وهي خلايا حساسة لضوء الشمس تستقبل الأشعة الشمسية ثم تحولها إلى طاقة.

المروحة		هي عبارة عن مروحة ريشية مثبتة في إطار دائري ذات تيار مباشر DC تستخدم لتطبيق الحمل القسري في البرتوكول التجريبي.

II-11- خاتمة الفصل:

من خلال هذا الفصل تم التعرف على التجفيف وأهم الظواهر الفيزيائية التي تحدث خلال هذه العملية وعن المواد التي نستطيع إضافتها إلى الجهاز للتسريع من عملية التجفيف مثل الحصى الأسود والكربون المنشط مع المحافظة على القيمة الغذائية للمنتج وفي الفصل الموالي سيكون فصل عملي تجريبي بإضافة المواد المذكورة سابقا إلى الجهاز للتحسين من أداء المجفف.

قائمة مراجع الفصل الثاني

[1]: K.Benamrane,utilization des capteurs solaires sous vide pour le fonctionnement du système de climatisation(Region de ouargla),mémoire de magistere,Universite de ouargla,(2004).

[2]: A. charreau, R. cavaille,"séchage lhéorie et pratique technique de l'ingénieur", génie des procédés, 2480-1,2480-23(1991).

[3]:Er.R.K.Rajput,"heat and mass transfer",S.chand,New delhi,India(2012)

[4]:Technique de lingénieur-génie des procédésséchage,Théorique et calcul.

[5]:A.charreau, R.Cavaille,"séchage théorie et pratique technique de l'ingénieur", génie des procèdès,2480-1,2480-23(1991)

[6]: J.F. Sacadura,"Initiation aux Transferts Thermiques mass-transfer opera-tions",Mc Graw-Hill I, nternational Edition,(1981).

[7]: R.E.Treybai, "Mass-Transfer Operations",MC Graw-Hill Interanational Edi-tion, (1981).

[8]:مختار العاتي، "المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية"، رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، الجزائر(2011).

[9]:Brockhaus ABC chemie,VEBF.A. Brockhaus verlag Leipzig 1965,S.408-409.

[10]: H,BEN CHEIKCH,M,OULD SIDI MED,Y,DRAOUI, "conception et realiza-tion d'un séchoir solaire indirect operant en mode covectif", mémoire d'ingénieur d'état en génie mécanique, université kasdi merbah uargla, Algerie (2011).

[11]: M.Duminil, Air Humide, « techniques de l'ingénieur ». B2230,(1993).

[12]:Ahmed Bahadj ,"Etude expérimentale de séchage solaire de la pomme de terre", Mémoire de Master academique , université Kasdi Merbah Ouargla , Algerie , 2014

[13]:ش .قادرس، "دراسة مقارنة تجريبية وعددية لانتقال الحرارة في المجفف الشمسي"، مذكرة ماستر، جامعة حمه لخضر –الوادي، الجزائر(2019).

[14]: عاتي مختار، "المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية"، رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، ص 28-38.

[15]: Khaled DJEBNOUN, "Etude théorique et expérimentale des performances d'un séchoir couplé à un capteur solaire plan à air", Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider-Biskra, Algerie (2012).

[16]: ي. طريلي، ف. قريشة، "تجفيف المحاصيل الزراعية باستغلال الطاقة الشمسية"، "مذكرة ليسانس أكاديمي، جامعة حمه لخضر- الوادي، الجزائر(2013).

[17]: ص. الشطي، أ. الحلفي، ع. جعفر، "دراسة الصفات الحسية والفيزيائية لأسماك الكارب المجففة بمجفف يعمل بالطاقة الشمسية وتحت التفريغ المصنع محليا"، مجلة جامعة ذي قار للبحوث الزراعية، المجلد 3 (2014).

[18]: R. Miri, O. Mokrani, F. siad, M. Belhamel, "Etude Expérimentale d'un Séchoir Solaire", Rev. Energ. Ren : Zones Arides (2002).

[19]: Ahmed BAHADJ, "Etude expérimentale de séchage solaire de la pomme de terre", Mémoire de Master academique, Université Kasdi Merbah Ourgla, Algerie(2014).

[20]: Slimane Boughali, "heat and mass transfer", S. chand, New delhi, India(2012). Agroalimentaires dans les zones arides et desertiques", Thése de doctorat, Université Hadj Lakhdar Batna, Algerie (2010).

[21]: C. Brison, j. Perret, j. canler, "le séchage solaire des boues : etat actuel de l'art et retours d'expérience", cemagref, N°36, Loyn, France.

[22]: H, BEN CHEIKCH, M, OULD SIDI MED, Y, DRAOUI, " Conception et réalisation d'un séchoir solaire indirect opérant en mode convectif", Mémoire d'ingénieur d'état en génie mécanique, Université Khasdi Merbah Ouargla, Algerie (2011).

[23]:Boumediene Touti, "etude theorique et experimentale du sechage solaire des feuilles de la menthe verte (Mentha viridis)", Thése de doctorat, Université Abou Beker Belkaid _ Tlemcen, Alerie(2008) .

[24]: the United States Agency for International Development (USAID), "drying fruits and vegetables with the chimney solar dryer", FEED THE FUTURE, section2, U.S.A(2018).

[25]: Yves JANNOT,"Thermique solaire ", edilivre, France (2007).

[26]:ع .عطا الله، ع.عمري، ع.لطيرق، "دراسة تجريبية لتأثير حجر زهرة الرمال على مردود المقطر الشمسي بمنطقة وادي سوف"، مذكرة ماستر، جامعة حمه لحضر-الوادي، الجزائر(2020).

[27]: عبيدي. ن، خياري.م، "استعمال مواد تخزين الطاقة (اسطوانات الفحم) لتحسين محصول نواتج التقطير الشمسي في منطقة الوادي"، مذكرة ماستر، جامعة حمه لخضر الوادي، الجزائر (2021).

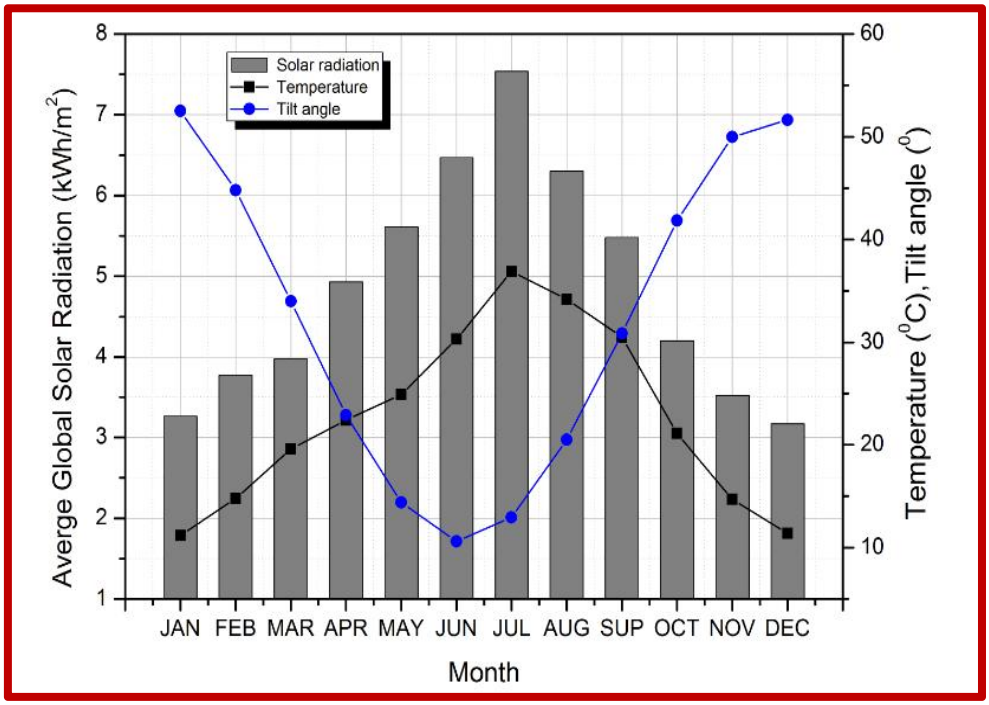
الجزء العملي

الفصل الثالث

دراسة ومناقشة نتائج المجفف المحسن

III-1- مقدمة

بعد وصف جهاز التجفيف وشرح دور كل عنصر في الفصل السابق، ومن خلال إدخال بعض التحسينات على مستوى المجفف والمتثلة في تحسين زاوية إستقبال الإشعاع الشمسي بوضع المجفف على محور دوار لإستقبال وإستغلال أقصى كمية للإشعاع، إضافة الى وضع عازل (البوليسترين) داخل غرفة التجفيف والأكثر من ذلك إضافة مواد حافظة للطاقة على شكل حرارة (مثل الحصى الأسود والكربون المنشط) لهدف الحصول على نتائج أفضل لكفاءة و أداء المجفف مقارنة بالمجفف التقليدي [1]. تم وضع النموذج في ساحة التجارب على مستوي مخبر الميكانيك بكلية التكنولوجيا - جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي- الجزائر. حيث تتميز الساحة والمنطقة ككل بإمكانيات عاليةٍ من الشعاع الشمسي كما يظهر من الشكل**(1-III)** [2]، من خلال ذلك تختص المنطقة بمتوسط إشعاع سنوي يبلغ $4.85\ kwh/m^2$ مع فترة تشمس كلي 3900 ساعة على السنة. كما يوضح الشكل أيضا المتوسط الشهري لدرجات الحرارة المحيطة وزاوية الميل المناسبة لإمتصاص الحد الأقصى للإشعاع الشمسي. يمكن أن يرى كذلك أن فترة الشتاء لديها إمكانيات شمسية أقل بمتوسط إشعاع شمسي يومي يتراوح بينkwh/m^2[3.77 -3.17]. ليصبح الإشعاع الشمسي مهمًا جدًا بين أفريل وسبتمبر عندها يختلف متوسط الإشعاع الشمسي اليومي kwh/m^2 [7.54 - 4.93]. يمكن أن يصل متوسط درجة الحرارة إلى 37 °C في الصيف ولا تقل عن 10 °C في بقية العام.

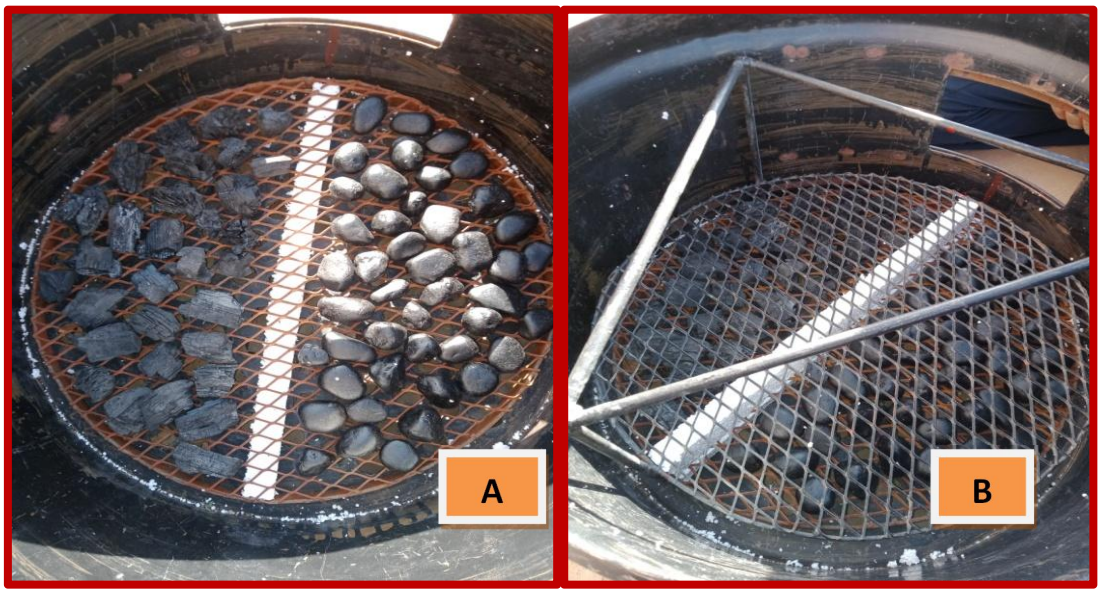


الشكل(1-III): متوسط الإشعاع الشمسي اليومي ودرجة الحرارة وزاوية الميل في منطقة الوادي- الجزائر[2].

وعليه إرتأينا أن تكون التجارب في الفترة المختارة مع الأخذ بإعتبار طبيعة الأحوال الجوية في المنطقة خلال فترة التجفيف، لتقع التجربة في يوم 14 ماي 2022 بناءا على البروتوكول الموضح في الشكل**(2-III)** والمراحل التجريبية التالية:

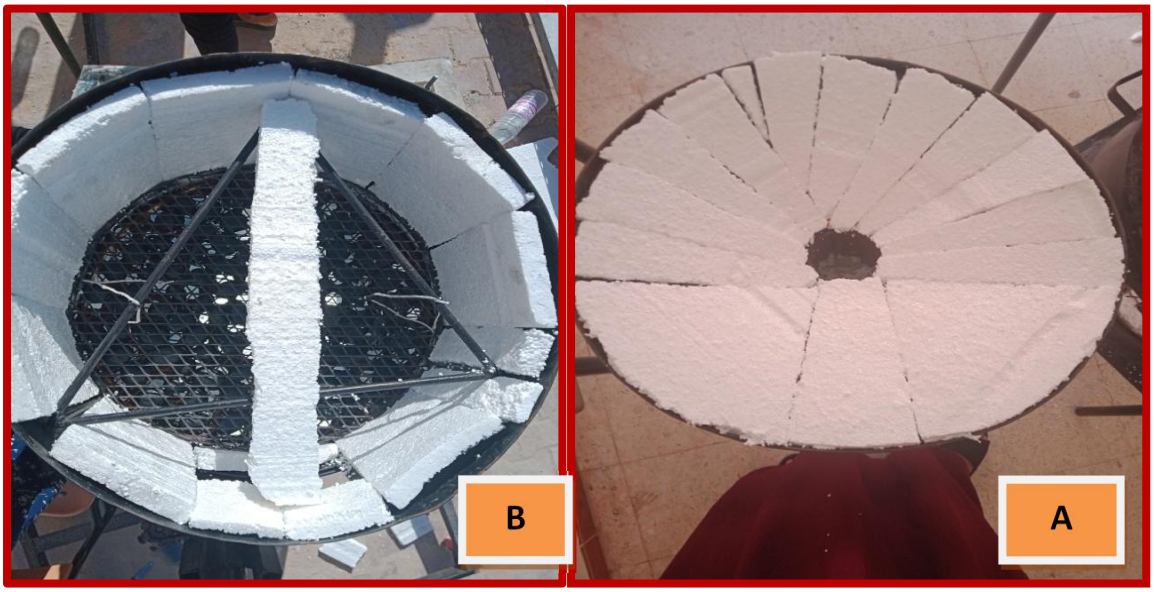
الشكل(2-III): المجفف شمسي ذو الماص المقلوب.

- ❖ قبل القيام بتجفيف بعض المحاصيل ذات الطابع الصلب، تم تنظيف الجهاز جيدا.
- ❖ تعريض البروتوكول التجريبي لأشعة الشمس لمدة زمنية قصيرة قبل وضع المادة المراد تجفيفها.
- ❖ تقسيم غرفة التجفيف الكلية للجهاز إلى قسمين بعازل إرتفاعه 3cm و وضع الشبكة بنفس الإرتفاع عن قاعدة الغرفة مع وضع الحصى الأسود فوق النصف الأول من الشبكة ووضع قطع الفحم المنشط فوق النصف الآخر من الشبكة التي قطرها 42cm (الصورةA) وضع عازل يفصل بين الحصى والفحم فوق الشبكة السابقة إرتفاعه5cm مع وضع شبكة ثانية قطرها 42cm على نفس إرتفاع العازل (5cm) (الصورةB) كما يوضحه الشكل**(3-III)** .



الشكل(III-3): صورة توضح كيفية وضع الشبكتين مع إضافة الحصى الأسود والفحم.

- إحاطة الغرفة من الداخل وفصلها بعازل (الصورةA) مع تغليف الغطاء بالعازل كذلك (الصورة B) من أجل المحافظة على جودة المنتج المجفف ولتجنب التبادل الحراري بين الغرفتين ولمعرفة دور وأداء المواد المضافة والمخزنة للحرارة (الحصى الأسود و الكربون المنشط) في أداء وكفاءة غرفة التجفيف كما يوضح الشكل **(III-4)**.



الشكل(III-4): صورة توضح كيفية وضع العازل في الغرفة والغطاء.

- تحضير كمية من البطاطا بتقشيرها وتقطيعها إلى شرائح دائرية بحوالي سمك 2mm ، كتلة العينة الكلية 180.05g ، وتم أخذ عينتين منها للغرفتين بوزن (14.63g) للغرفة الأولى و(13.71g) للغرفة الثانية كما يوضحه الشكل**(III-5)**.

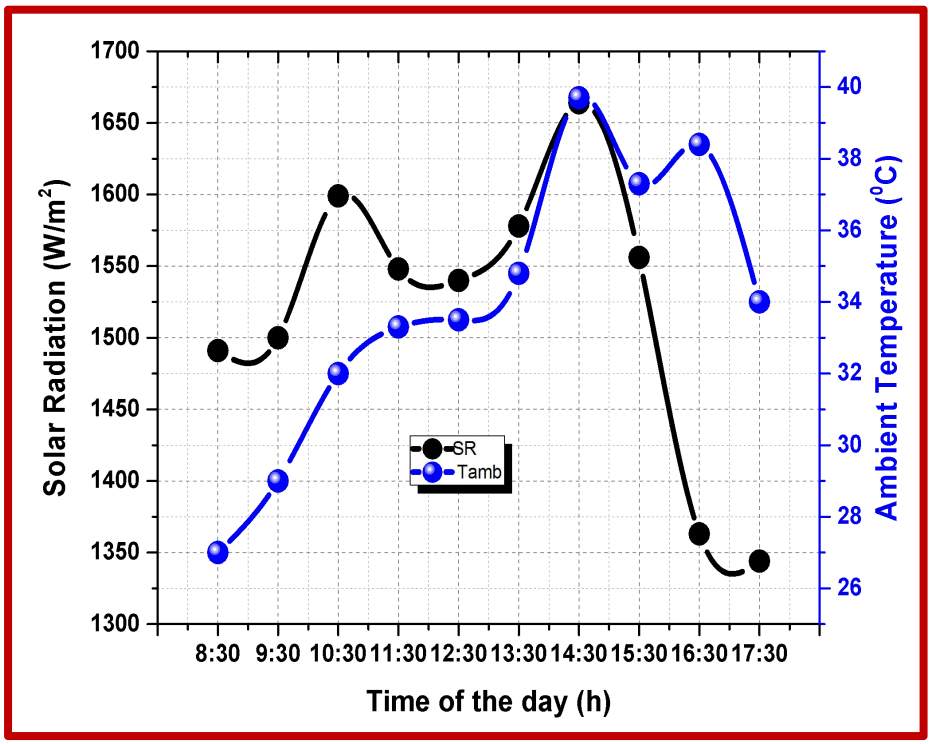
الشكل(III-5): صورة قطع البطاطا داخل الغرفة.

تثبيت اللوح الشمسي لتغذية المروحة التي تعمل على تحريك جزيئات الهواء داخل المجمع وبتالي الزيادة في تسريع عملية التجفيف ونقل الحرارة.

III-2- نتائج التجربة ومناقشتها

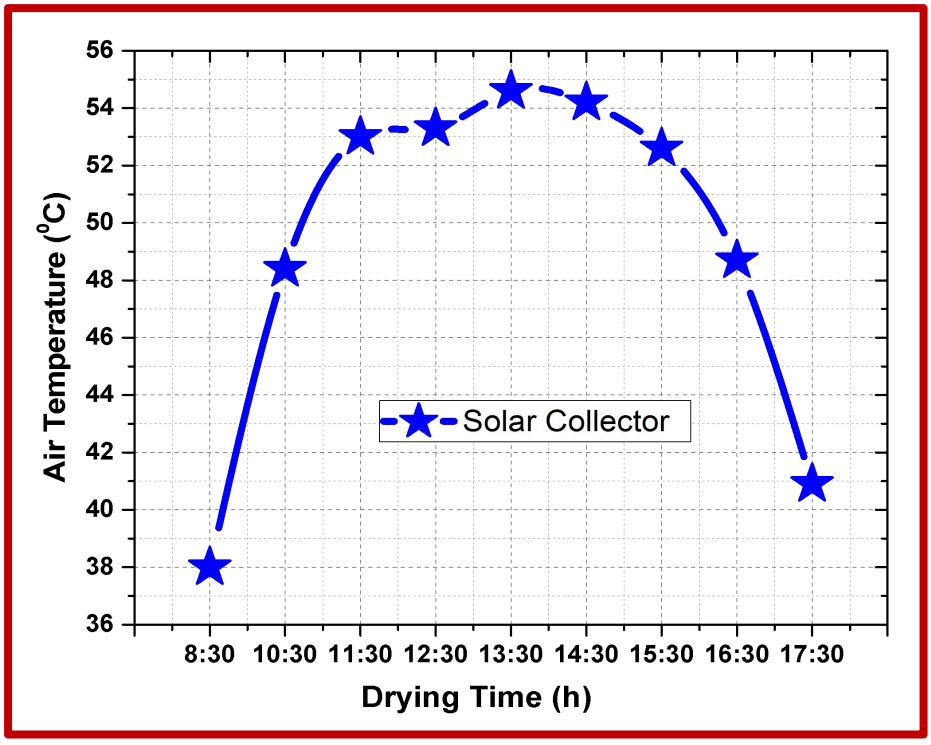
لأخذ قياسات الكتلة ودرجة الحرارة تم وضع مزدوج الحرارة (Thermocouple) في عدة مواضع من الجهاز (داخل المجمع، مدخل الغرفة الأولى والثانية، فوق العينة الأولى والثانية، داخل الغرفة الأولى والثانية ومخرج المجفف)، وذلك لمعرفة الطاقة المكتسبة من طرف المجمع وغرفة التجفيف، لتكون النتائج مترجمة على شكل منحنيات كمايلي:

يمثل الشكل**(III-6)** تطورالإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة خلال يوم التجريب، حيث وقت شروق الشمس وغروبها خلال هذا اليوم في الساعة 05:32 و19:24 على التوالي. كما يتضح من الشكل أن القيمة الأعظمية للإشعاع الشمسي الساقط على المجمع تبلغ حوالي $1664W/m^2$ ، وإجمالي الطاقة الشمسية بحوالي$29.95\ mj/m^2$. كما كان متوسط سرعة الرياح حوالي$1.42\ m/s$.



الشكل(III-6): منحنى تغيرات درجات الحرارة وشدة الإشعاع الشمسي.

يمثل الشكل **(III-7)** منحنى تغيرات درجة حرارة المجمع في الماص المقلوب خلال فترة التجفيف كما نلاحظ من المنحنى تزايد درجة الحرارة داخل المجمع الى أن وصلت أقصى قيمة لها 54.6°C في الفترة ما بين الساعة 13:30 إلى 14:30 وهذا راجع إلى زيادة شدة الإشعاع الشمسي كما يوضح الشكل**(III-6)** وإنخفاضها حتى القيمة 40.9°C على الساعة 17:30.

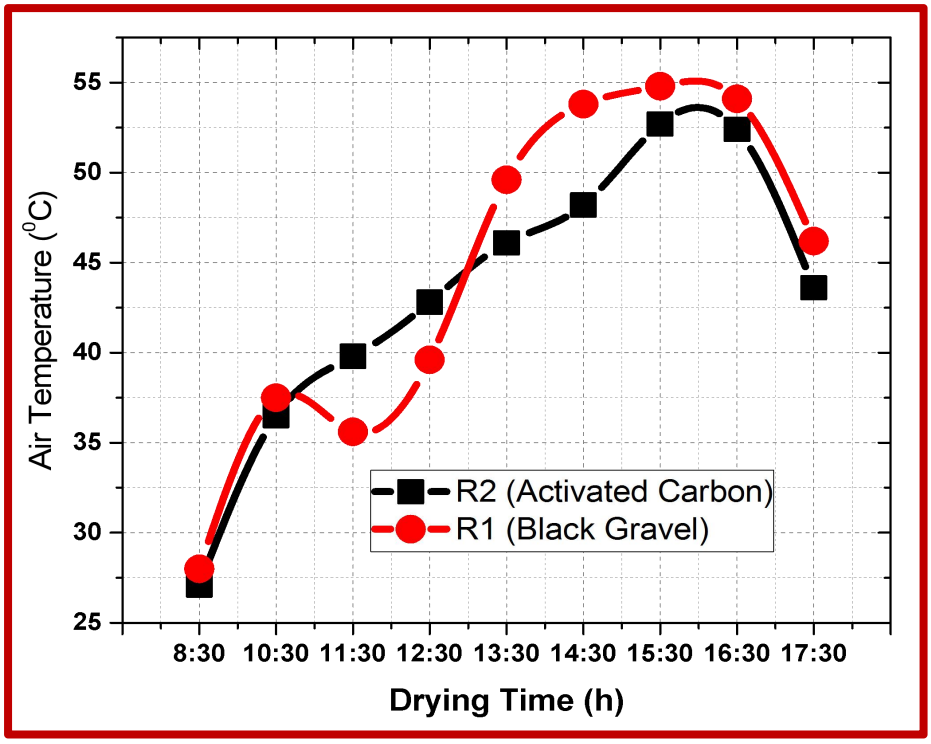


الشكل(III-7): منحنى تغيرات درجة حرارة المجمع خلال فترة التجفيف.

تعتبر درجة حرارة المجمع مهمة جدا لرفع كمية الحرارة المكتسبة من طرف غرفة التجفيف، فمتوسط درجة حرارة الغرفة لها دور فعال للحصول على منتج مجفف وذو جودة عالية وهذا حسب نتائج بعض باحثي مجال التجفيف الذين عملوا على وضع مجال درجة الحرارة المثلى وكمية الحرارة المكتسبة للحصول على نسبة الرطوبة النهائية المطلوبة في المادة المجفف[3].

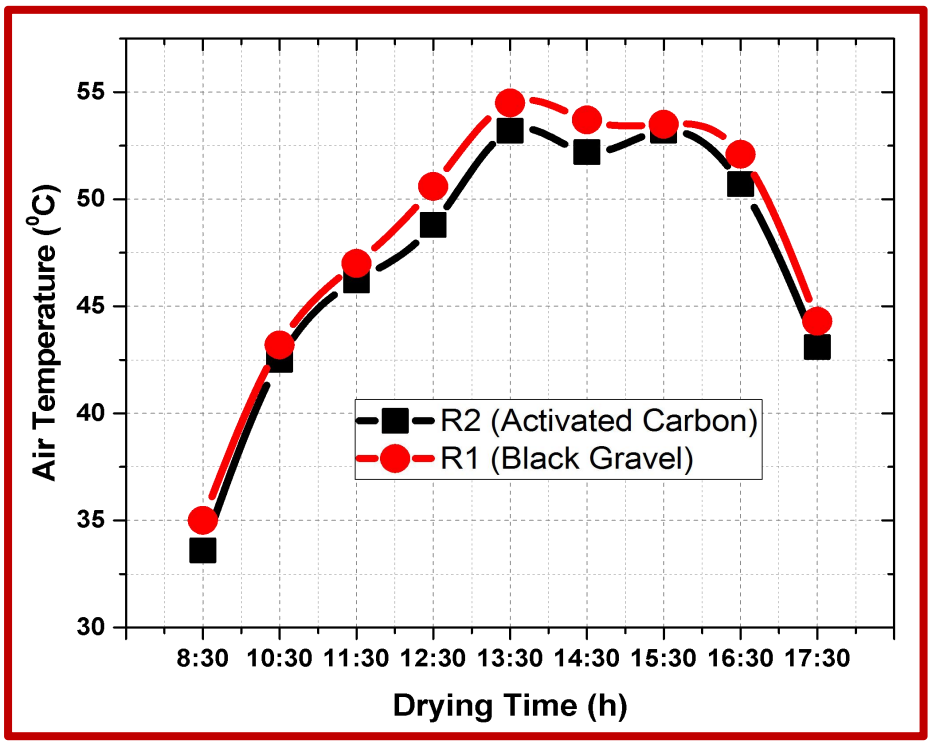
كما يوضح الشكل (**III-8**) منحنى تغير درجة حرارة العينة (البطاطا) في الغرفتين، كما هو ملاحظ تزايد درجة حرارة العينة في الغرفتين حتى تقريبا 10:30، أين يلاحظ بعد ذلك إنخفاض طفيف في درجة حرارة العينة المتواجدة في الغرفة الأولى (الحصى الأسود).بينما في الفترة نفسها نلاحظ إستمرار زيادة درجة حرارة العينة المتواجدة في الغرفة الثانية (الفحم المنشط). بعد الساعة 12:30 زوالا، نلاحظ تزايد درجة حرارة العينتين حتى الوصول إلى أقصي قيمها عند الساعة 15:30، لنلاحظ بعدها إنخفاض في درجة الحرارة حتى نهاية فترة التجفيف. ويمكن تفسير كل هذا كما يلي:

الإنخفاض الطفيف في درجة حرارة العينة المتواجدة في الغرفة الأولى (الحصى الأسود) وإستمرار الزيادة في الغرفة الثانية (الفحم المنشط) يمكن إرجاعه إلى نقص في شدة الإشعاع (الشكل(**III-6**)) في الفترة نفسها، وهنا يكمن دور مادة الفحم المنشط التي تتميز بالخاصية المسامية وسعة تخزين كمية الحرارة في الفترة أين يكون الإشعاع الشمسي أعظمي وكذلك نشرها في حالة إنخفاض شدة الإشعاع. ولذلك فإن كفاءة غرفة التجفيف المتواجد فيها الفحم المنشط تظهر في حالات أين يحدث سقوط شدة الإشعاع الشمسي مقارنة بغرفة التجفيف المتواجد فيها الحصى الأسود.



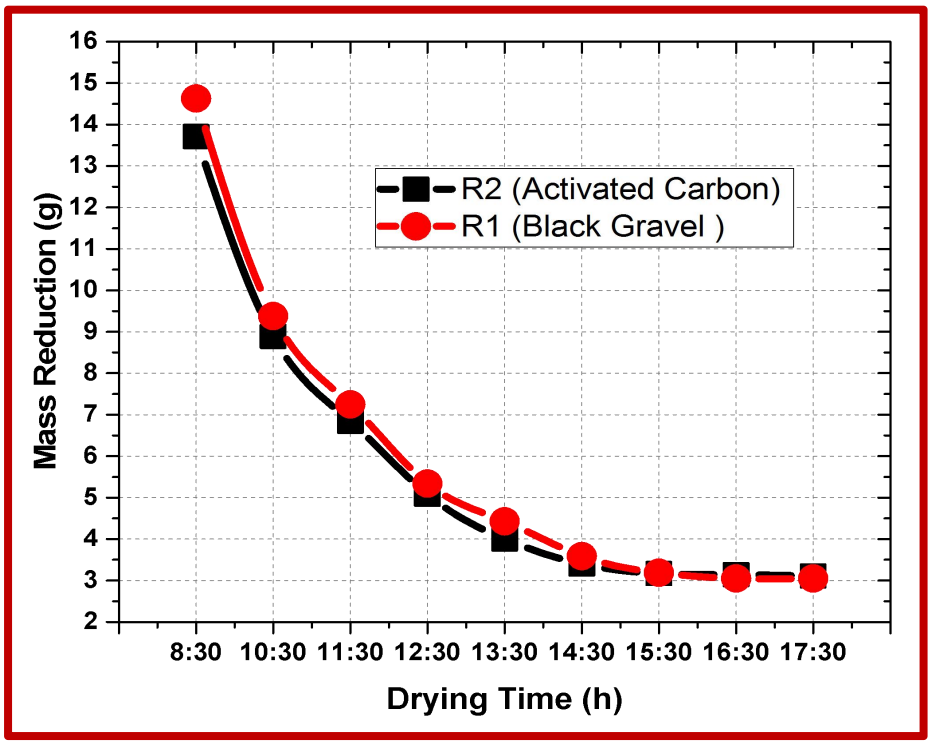
الشكل(III-8): منحنى تغير درجة حرارة لعينة البطاطا في الغرفتين.

كما يبين المنحنيين في الشكل (III-9) فارق في تغير درجة حرارة الغرفتين، فهو فارق طفيف راجع الى خاصية كل مادة مضافة في إمتصاص وإنعكاس شدة الإشعاع نحو مادة البطاطا المراد تجفيفها. فهذة النتائج تثبت مدى أهمية ودور الذي يؤديه كل من الحصى الأسود والكربون المنشط في تخزين وتوزيع كمية الحرارة في الغرفتين، التي في حقيقة الأمر لديها علاقة وطيدة بالفارق في درجة حرارة مدخل ومخرج كل غرفة.

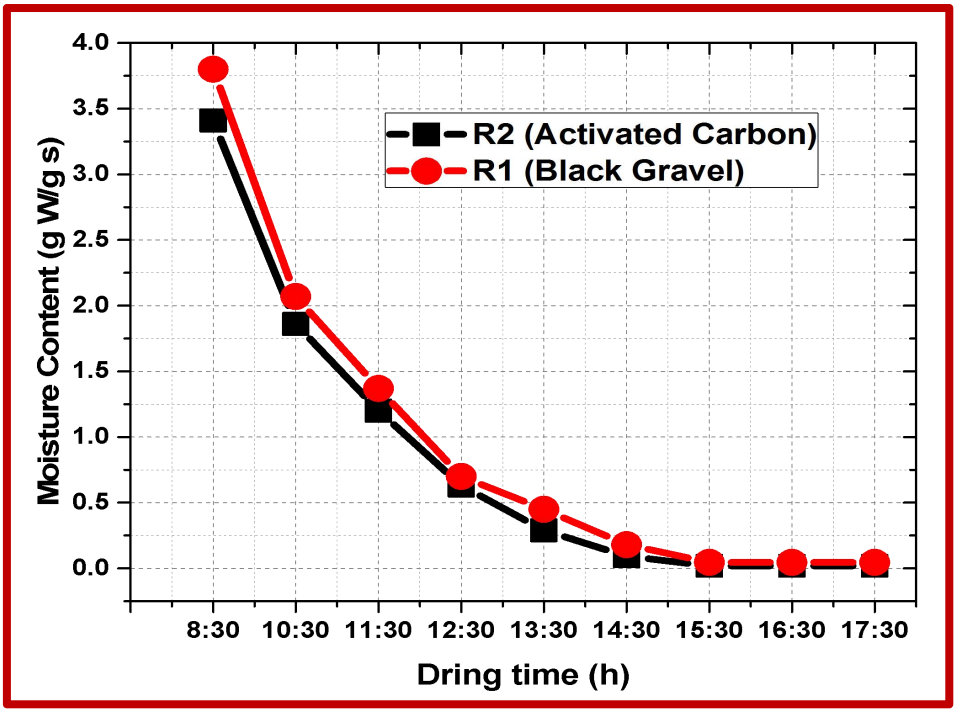


الشكل(III-9): منحنى تغير درجة الحرارة الغرفتين.

بناءا على تغيرات درجة حرارة الغرفتين الموضحة سابقا، تم الحصول عن طريق قياس الوزن والحساب على الشكلين (**III-10**) و (**III-11**) اللذان يمثلان منحنى تغيرات الكتلة ومحتوى الرطوبة للعينتين المتواجدتين في الغرفتين على التوالي خلال فترة التجفيف. من الملاحظ أن تغيرات درجة الحرارة في غرفة التجفيف وحسب الأعمال السابقة للباحثين [3]، فإن كمية الحرارة المكتسبة في الغرفتين كافية لنزع محتوى الماء من عينة البطاطا. كما لوحظ سابقا من خلال دور الكربون المنشط في تخزين وتوزيع كمية من الحرارة المكتسبة فهو يظهر كذلك من خلال الشكل وذلك عند نهاية فترة التجفيف أي وقت إنخفاض شدة الإشعاع في آخر نهار القياس، حيث يلاحظ إستمرار نقصان الكتلة للعينة داخل غرفة الكربون المنشط ولو بفارق طفيف بالنسبة إلى كتلة العينة المتواجدة داخل غرفة الحصى الأسود. كما يمكن إيضاح التغير في كتلة العينتين المتواجدتين في الغرفتين خلال فترة التجفيف في الجدول(**III-1**) أدناه.



الشكل(III-10): منحنى تغيرات الكتلة للعينتين داخل الغرفتين.



الشكل(III-11): تغيرات محتوى الرطوبة للعينتين.

الجدول(III-1): الحالة الإبتدائية والنهائية للعينتين.

	الحالة الإبتدائية للعينة	الحالة النهائية للعينة
غرفة الحصى الأسود		
غرفة الفحم المنشط		

ومن خلال النتائج سالفة الذكر نستطيع التحدث بلغة الأرقام قبل وبعد التجفيف للعينتين والمتمثلة في الجدول**(III-2)** أدناه:

الجدول(III-2): ملخص النتائج لقيم كتلة البطاطا قبل وبعد التجفيف.

قبل التجفيف			بعد التجفيف			النتائج النهائية للتجفيف		
الكتلة الكلية	كتلة العينة		الكتلة الكلية	كتلة العينة		كتلة المادة الرطبة المفقودة من الكتلة الكلية	كتلة المادة الرطبة المفقودة من العينة	
	الحصى	الفحم		الحصى	الفحم		الحصى	الفحم
180.05g	14.63g	13.71g	32.92g	3.05g	3.11g	147.13g	11.58g	10.6g

III-3- خاتمة الفصل

بعد الدراسة التجريبية المنجزة نستطيع القول بأن التحسين من أداء المجفف الشمسي أمر ممكن، بحيث نجد أن حامل التحكم في الزاوية سهل من عملية إستقبال أكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي، كما عمل العازل على تحسين جودة المنتج (البطاطا) كذلك المواد الخازنة للحرارة كان لها دور جد مهم فنجد أن الحصى الأسود يبرز دوره عند إرتفاع شدة الإشعاع الشمسي في حين نجد أن الفحم له دور كبير خاصة عند إنخفاض شدة الإشعاع الشمسي وعليه نستطيع أن نستخلص القول بأنه تم التحسين من أداء المجفف الشمسي.

قائمة مراجع الفصل الثالث

[1]: زعبي خ، حوامد ع، هرمس إ، "دراسة كفاءة مجفف شمسي في منطقة الجنوب الشرقي بالجزائر– الوادي"، مذكرة ماستر، جامعة حمه لخضر- الوادي، الجزائر (2021).

[2]: M.A. Hadj Ammar, B. Benhaoua, M. Balghouthi, "Simulation of tubular adsorber for adsorption refrigeration systempowered by solar energy in sub-Sahara region of Algeria". Energy Conversion and Management 106, 31–40 (2015).

[3]: AbhayBhanudasLingayata, V.P. Chandramohana, V.R.K. Rajua, Venkatesh-Medab A review on indirect type solardryers for agricultural crops – Dryer setup, itsperformance, energy storage and important highlights. Applied Energy 258 114005 (2020).

الخاتمة العامة

خاتمة عامة

إنطلاقا من أبحاث سابقة حول التجفيف الشمسي والطرق المتبعة في ذلك، كان موضوع مذكرتنا – دراسة مجموعة من التجارب تحسينية لتعزيز كفاءة المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب تحت شروط طقس مدينة الوادي.

بعد القيام بتحضير وتصميم المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب بناء على إدخال بعض التحسينات على عناصره كغرفة التجفيف مثلا (إضافة مادة البوليسترين كعازل ومواد لديها القدرة على حفظ وتخزين الطاقة على شكل حرارة مثل الحصى الأسود والكربون المنشط)، قمنا بوضع النموذج على محور دوار ليقوم بتتبع زاوية السقوط المثلى لإستقبال أقصى شدة إشعاع، وكل هذا يهدف الى تحسين وتعزيز أداء المجفف والرفع من الكفاءة للحصول على منتج ذو جودة وبأقل وقت تجفيف ممكن.

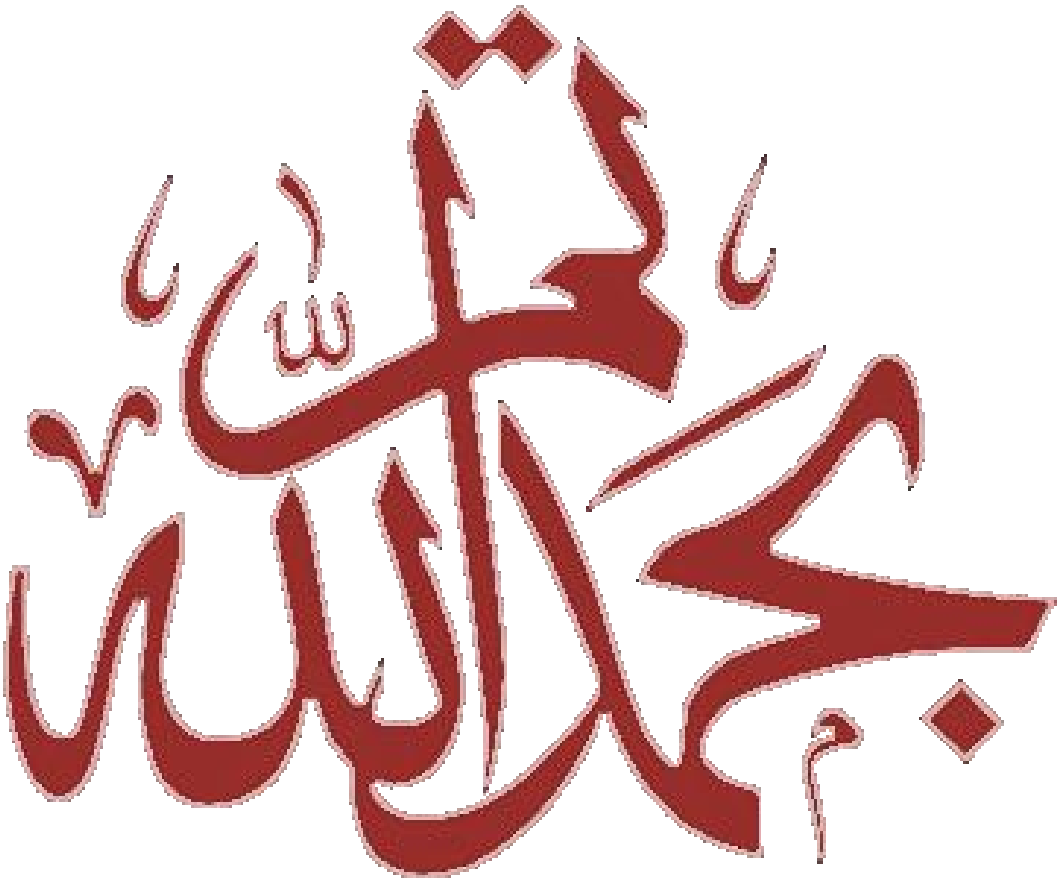
تمت الدراسة التجريبية في ساحة التكنولوجيا بمخبر الميكانيك بجامعة الشهيد حمة لحضر بالوادي خلال شهري أفريل وماي، حيث واجهتنا العديد من الصعوبات وخاصة تغيرات الجو (سحاب، سرعة الرياح...)، ولكن بتاريخ 14 ماي 2022 وبإتباع جملة من الخطوات التجريب كانت نتائج عمل المجفف المحسن مرضية ومقبولة خلال كل مراحل التجريب ويحقق ما هو مطلوب من قيم لدرجات الحرارة وتجفيف محصول البطاطا تحت ظروف مناخية حقيقية. وبناءا على ذلك يمكن إستنتاج جملة من النقاط المراد إتباعها والتى تم الوصول إليها من أجل العمل على تحسين أداء المجفف، وهي كتالي:

- حسن إختيار فترة التجفيف (الأشهر التي تتميز بإشعاع شمسي معتبر) خلال السنة.
- أن يكون الجو ملائم (عدم وجود سحب كثيفة أو أمطار أو رياح...).
- إستعمال العازل على مستوي غرفة التجفيف أو المجمع يساهم في التقليل من الضياع الحراري، وكذلك تحسين من جودة المنتج المجفف والمحافظة على اللون الموحد له.

إضافة مواد حافظة وخازنة للطاقة على شكل حرارة (مثل الحصى الأسود والكربون المنشط) على مستوي غرف التجفيف يساهم بشكل كبير في زيادة إمتصاص وبعث شدة الإشعاع الشمسي في أوقات إنخفاضه ومن ثما تقليص فترة التجفيف.

وأخيرا نستنتج أن المجفف الشمسي المدروس له عدة مزايا وهي:

- ✓ تجفيف المنتوجات بأقل وقت ممكن وبأحسن جودة.
- ✓ نتائج عمل المجفف المحسن مرضية ومقبولة خاصة دور المواد الخازنة للحرارة في الحفاظ وإعادة بعث الحرارة في وقت إنخفاض شدة الإشعاع. حيث تم تجفيف مادة البطاطا بشكل تام في غضون 5 الى 6 ساعات، فقد ونزع ما يقارب نسبة 81.71 % من محتوى الرطوبة منها.
- ✓ المساهمة في إقتصاد الدولة من ناحيتين الناحية الأولى أنه يشتغل بالطاقة الشمسية فقط التي تعتبر طاقة نظيفة ومتجددة، وثانيا الحفاظ على فائض الإنتاج الغذائي من التلف لأطول فترة ممكنة.
- ✓ تصميمه المناسب وعدم إصداره للضجيج أثناء التجفيف كما أنه سهل الصنع والصيانة.


تم بحمد الله

الملخص

تعتبر الشمس مصدر طاقة نظيف ومتجدد، لذى وجب إستغلالها في عدة مجالات لغرض التقليل من مصادر الطاقة الأحفورية التقليدية. في هذا العمل، تمت دراسة ميدانية الهدف منها تحسين أداء وكفاءة المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب تحت ظروف تشغيل حقيقة في جامعة الوادي- وذلك بإدخال مواد حافظة وخازنة للحرارة (الحصى الأسود والكربون المنشط) على مستوي غرفة التجفيف، كما تم عزل هذه الأخيرة بمادة بوليسترين عن الوسط الخارجي لحفظ ضياع الحرارة وجودة البطاطا المجففة، كما تم وضع المجفف على محور دوار لإستقبال أقصى شدة للإشعاع.

تم العمل التجريبي في يوم تميز بإشعاع شمسي معتبر(14ماي 2022) ، وبإتباع جملة من الخطوات التجريب للحصول على أفضل النتائج، حيث كانت نتائج عمل المجفف المحسن مرضية ومقبولة خاصة دور المواد الخازنة للحرارة في الحفاظ وإعادة بعث الحرارة في وقت إنخفاض شدة الإشعاع. حيث تم تجفيف مادة البطاطا بشكل تام في غضون 5 الى 6 ساعات، فقد ونزع ما يقارب نسبة 81.71 % من محتوى الرطوبة منها.

الكلمات المفتاحية: الشمس، المجفف الشمسي، كفاءة، تعزيز، أداء.

ABSTRACT

The solar is a renewable energy source, which must be exploited in several areas for the purpose of reducing traditional energy sources. In this work, a study was conducted aimed to improve the thermal performance of the inverted absorber solar dryer under real climatic conditions (El-Oued University). The solar dryer integrated with energy storage materials (Gravel Black and Activated Carbon) in the drying room, and the latter was isolated with polystyrene to preserve the heat loss and the quality of the dried potatoes. As well, the dryer was placed on a controlling angle arm to receive the maximum intensity of radiation. The experimental work was carried out on a day characterized by significant solar radiation (14 May 2022) for obtained the best results. The results of the study of the improved dryer were satisfactory and acceptable, especially the role of heat-storage materials in preserving and re-emitting heat at a time of low solar intensity. The potato material was completely dried within 5 to 6 hours, and about 81.71% of the moisture content was removed from it.

Keywords: Solar Dryer, Performance, Iimprove, Efficiency