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 لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاع و طاقة

من إعداد: خديجة زعبي

هرمس إكرام

حوامد عفاف

الموضوع

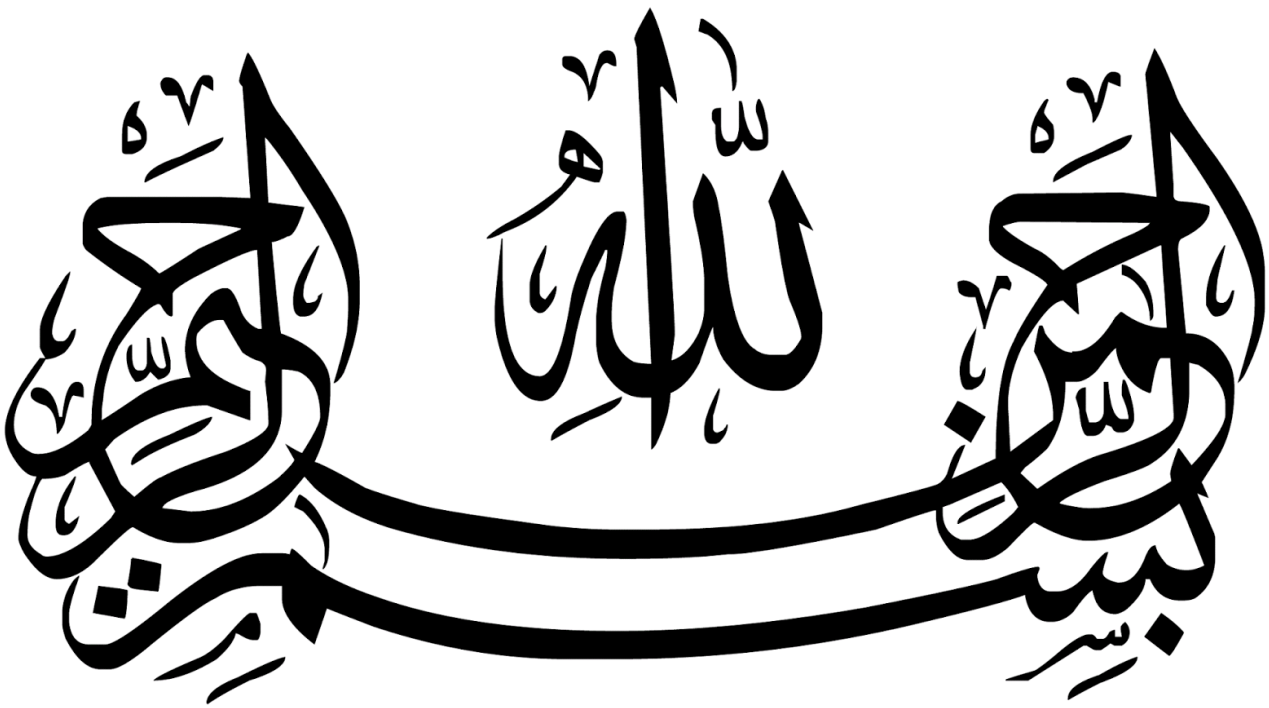
دراسة كفاءة مجفف شمسي في منطقة الجنوب الشرقي بالجزائر –الوادي–

نوقشت يوم 27 /2021/06

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

حاج عمار محمد علي	جامعة الشهيد حمه لخضر – الوادي -	مؤطرا
عطية محمد الهادي	جامعة الشهيد حمه لخضر – الوادي -	رئيسا
اللبي عبد القادر	جامعة الشهيد حمه لخضر – الوادي -	مناقشا

الموسم الجامعي: 2021/2020


بسم الله الرحمن الرحيم

الإهـــداء

نحمد الله عز وجل على منه وعونه لإتمام هذا البحث.

إلى الذين وهبونا كل ما يملكون حتى نحقق لهم آمالهم، إلى من كانوا يدفعوننا قدما نحو الأمام لنيل المبتغى، إلى الناس الذين امتلكوا الإنسانية بكل قوة، إلى الذين سهروا على تعليمنا بتضحيات جسام مترجمة في تقديسهم للعلم، إلى مدرستنا الأولى في الحياة، أباءنا الغاليين على قلوبنا أطال الله في عمرهم؛ إلى اللواتي وهبن فلذات أكبدهن كل العطاء والحنان، إلى اللواتي صبرن على كل شيء، اللواتي رعونا حق الرّعاية و كانوا سندا في الشدائد، وكانت دعواتهن لنا بالتوفيق، تتبعونا خطوة خطوة في عملنا، إلى من ارتحنا كلما تذكرنا ابتسامتهن في وجوهنا نبع الحنان أمهاتنا أعز ملاك على قلوبنا والعين جزاهم الله عنا خير الجزاء في الدارين.

إليهم نهدي هذا العمل المتواضع لكي ندخل على قلوبهم شيئا من السعادة إلى إخوتنا وأخواتنا الذين تقاسموا معنا عبء الحياة إلى الاستاذ المشرف **حاج عمار محمد علي** والى أفراد أسرنا، سندنا في الدنيا ولا نحصي لهم فضل إلى كل أقاربنا و إلى كل أصدقائنا وأحبابنا من دون استثناء إلى أساتذتنا الكرام و كل رفقاء الدراسة.

وفي الأخير نرجو من الله تعالى أن يجعل عملنا هذا نفعا يستفيد منه جميع الطلبة المقبلين على التخرج.

" خديجة، عفاف، إكرام "

الإهـــــداء

إلى **الله عز وجل** أولا.. أصل البدايات وأصل النهايات

إلى اليد الطاهرة التي أزالت من طريقنا أشواك الفشل، إلي من ساندتني عند ضعفي وهزالي، و إلي التي ارتاح لها قلبي، إلي من رسمت لي المستقبل بخطوط من الثقة والحب، إلى من انحني لها العطاء أمام قدميها، وأعطتنا من دمها وروحها وعمرها وزهرة شبابها، حبا وتصميا ودافعا لمستقبل أجمل، إلى الغالية التي لا نرى الحب والحنان إلا في عينيها : **أمي الحبيبة**.. الغالية وأغلي من سكنت القلب.

إلى زهرة النرجس التي تفيض حبا وطفولة عطرا أختي الغالية **"سارة "**

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة ورياحين حياتي من ينادوني خالتي **"قطر ندى، إسراء"**، إلى الأغلى على قلبي **"نافع "**، إلى الروح الطاهرة التي فارقت الدنيا ولم تفارق قلبي **"جدتي رحمها الله"**، إلى "**أبي الغالي**"، إلى من تحلو بالإخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء صديقاتي "**إيمان ، هالة**"، إلى الأستاذ المشرف **"حاج عمار محمد علي"**، إلى من أدركهم شغاف القلب ولم يدركهم شغاف القلم.

" عفاف "

الشكر والعرفان

لك الحمد ربنا يا من مننت علينا بنعمة العلم، ويسرت لنا سبله، وأعنتنا على تحصيله، وعلمتنا ما لم نعلم، الصلاة والسلام على خير المعلمين محمد سيد الخلق وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد:

نتوجه بالشكر الجزيل والإمتنان الكبير لأساتذتنا الأفاضل "حاج عمار محمد علي" و"لعويني عبد الجليل" لتتويجهما لعملنا بإكليل من النصح والإرشادات فكانا لنا خير معين وسند في إنجاز هذا البحث رغم انشغالهما.

أيضا نتوجه بالشكر لكل من ساعدنا في هذا العمل عن قريب أو بعيد.

" شكرا "

الفهـارس

فهرس المحتويات

الإهداء	.....	I
التشكرات	.....	II
فهرس المحتويات	.....	III
فهرس الأشكال	.....	X
فهرس الجداول	.....	XIII

العنوان	الفصل	الصفحة
	مقدمة العـــامة	
مقدمة العامة	.....	2
	الفصل الأول: دراسة عامة حول المجففات وطرق عملها	
1-1 المقدمة	.....	6
1-2 تعريف التجفيف	.....	6
1.2.1 التجفيف الطبيعي	.....	6
2.2.1 التجفيف الصناعي	.....	7
1. 3 أنواع المجففات الشمسية حسب طريقة تسخين الهواء	.....	8
1 .3.1 المجففات الشمسية المباشرة	.....	8
1 .3. 2 المجففات الشمسية الغير المباشرة	.....	9
1 .3 . 3 المجففات الشمسية المختلطة	.....	10
1 .3 . 4 المجففات الشمسية الهجينة	.....	11
1 .4. أنواع المجففات حسب طبيعة تدفق الهواء	.....	12
1 .4. 1 مجففات الحمل الطبيعي	.....	12
1 .4. 2 مجففات الحمل القسري	.....	13

1 .5 مميزات حفظ الأغذية بالتجفيف 15
1 .6 فوائد حفظ الأغذية 15
1 .7 التغيرات الغذائية التي تحدث على الغذاء أثناء عملية التجفيف 16
1 .8 الشروط اللازمة للحصول على أعلى قيمة غذائية للمنتج المجفف 16
9.1 الخاتمة 17

الفصل الثاني: تحليل مبدأ عمل المجفف الشمسي ووصف تصميمه

1.2 المقدمة 18
2.2 الظواهر الفيزيائية التي تحدث خلال عملية التجفيف 18
2 .1.2 الانتقال الحراري 18
2 .2. 1.1 التجفيف بالحمل الحراري 19
2.2. 1 .2 التجفيف بالتوصيل الحراري 19
2.2 . 1 .3 التجفيف بالإشعاع الحراري 19
2.2.2 الانتقال الكتلي 20
2.2.2. 1 الانتشار الجزيئي 20
2.2.2.2 الانتقال الكتلي الحملي 20
2 .3 الخواص الأساسية لهواء التجفيف 21
2 . 3 . 1 الرطوبة 21
2 . 3 .2 الرطوبة النسبية 21
2 . 3 .3الرطوبة المطلقة 21
4.3.2درجة الحرارة الجافة للغاز 21

3.2 .5 درجة الحرارة الرطبة للغاز 22

4.2 الخواص الأساسية للمادة الرطبة 22

1.4.2 أشكال توزيع الماء داخل المنتج 22

2.4.2 النشاط المائي للمنتج 23

3.4.2 المحتوى الرطوبي 23

5.2 سرعة التجفيف 23

6.2 حركية التجفيف 24

7.2 تأثير عوامل هواء التجفيف على حركية التجفيف 26

7.2 . 1 تأثير درجة حرارة هواء التجفيف 26

7.2 . 2 تأثير سرعة هواء التجفيف 27

7.2 . 3 تأثير رطوبة هواء التجفيف 27

8.2 مردودية التجفيف 27

1.8.2المردودية الكتلية 27

2.8.2المردودية الطاقوية 27

9.2عناصر المجفف الشمسي 28

10.2مبدأ عمل المجفف الشمسي 29

11.2الأجهزة المستعملة في القياس 30

12.2وصف منطقة التجربة 34

13.2 الخاتمة 35

الفصل الثالث: تحليل النتائج التجريبية ومناقشتها

3- 1 المقدمة 36

1) التجربة الأولى تحليل ومناقشة 36

2) التجربة الثانية تحليل ومناقشة 38

3) التجربة الثالثة تحليل و مناقشة 42

الخاتمة العـــامة

الخاتمة العامة 47

المـــراجع

المراجع 49

رقم الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
	الفصل الثاني	
(1-2)	عناصر المجفف الشمسي و دورها	28
	الفصل الثالث	
(1-3)	القيم المتوسطة في الحمل الطبيعي و الحمل القسري	36
(2-3)	قيم كتلة النعناع	42
(3-3)	قيم كتلة البطاطا	46

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
	الفصل الأول	
(1-1)	التجفيف الطبيعي للمحاصيل الزراعية	7
(2-1)	صورة مجفف شمسي مباشر	8
(3-1)	رسم تخطيطي وصورة فوتوغرافية لمجفف شمسي غير مباشر	9
(4-1)	مجففات الطاقة الشمسية المختلطة مع الدوران القسري	10
(5-1)	الطاقة الشمسية الهجينة مجفف الغاز	11
(6-1)	رسم تخطيطي للمجفف الشمسي المباشر مع الحمل الطبيعي	12
(7-1)	رسم تخطيطي للمجفف الشمسي المباشر مع الحمل القسري	13
(8-1)	يلخص الفرق بين المجففات الشمسية المباشرة و الغير مباشرة و المجففات الشمسية المختلطة، حسب طبيعة حركة الهواء في كل نوع .	14
	الفصل الثاني	
(1-2)	رسم تخطيطي لانتقال الحرارة و الكتلة أثناء التجفيف	21
(2-2)	منحنى حركية التجفيف	24
(3-2)	تطور الهواء خلال عملية التجفيف بالحمل الحراري	30
(4-2)	بطاقة جمع القياسات	31

(5-2)	مزدوج الحرارة (thermocouple)	31
(6-2)	الميزان	32
(7-2)	جهاز قياس الإشعاع الشمسي	33
(8-2)	جهاز قياس سرعة الرياح	34
(9-2)	بطارية	35
(10-2)	خلية شمسية	36
(11-2)	مروحة	36
	الفصل الثالث	
(1-3)	مجفف شمسي بناءا على الحمل الطبيعي	36
(2-3)	مجفف شمسي بناءا على الحمل القسري	37
(3-3)	منحنى تغيرات درجة الحرارة بدلالة الزمن خلال الحمل الطبيعي و الحمل القسري	38
(4-3)	صورة النعناع داخل المجفف	39
(5-3)	صورة النعناع عند أخذ كتلته خلال عملية التجفيف	39
(6-3)	منحنى تغيرات كل من الإشعاع الشمسي و درجة حرارة الجو	40
(7-3)	منحنى تغيرات درجات حرارة عناصر المجفف بدلالة الزمن	41
(8-3)	منحنى محتوى الرطوبة بدلالة وقت التجفيف	41
(9-3)	صور للبطاطا داخل المجفف	43
(10-3)	صور للبطاطا عند أخذ كتلتها خلال عملية التجفيف	43
(11-3)	منحنى تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الجو بدلالة الزمن	44
(12-3)	منحنى تغيرات درجة حرارة عناصر المجفف بدلالة الزمن	45
(13-3)	تغيرات محتوى الرطوبة بدلالة وقت التجفيف	46

مقدمة عامة

المقدمة العامة:

يتجه العلم الحديث الآن للبحث في إمكانية استغلال الطاقة المتجددة في كافة المجالات الصناعية ومنها انتاج الكهرباء، تسخين وتحليل المياه....الخ، حيث تعتبر الشمس المصدر الرئيسي للطاقة على كوكب الارض [1]. يمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية بشكل مباشر أو غير مباشر بواسطة تحويلها إلى نوع آخر من الطاقة (حرارية أو ميكانيكية أو كهربائية أو كيميائية). وهكذا نقلل اعتماد مصادر الطاقة التقليدية كالنفط والغاز والفحم الحجري والطاقة النووية، لأن استخدام مثل هذه العناصر يسبب مشاكل بيئية[2].

التجفيف هو إحدى الطرائق المستعملة بشكل واسع لحفظ الأغذية و قد استعمله منذ العصور القديمة و قبل ألاف السنين البابليون و المصريون و اليونانيون و الرمان في حفظ بعض أنواع الفواكه و الخضر و محاصيل الحبوب، اللحوم، الأسماك و الحليب. يعمل التجفيف على إيقاف نشاط البكتيريا ، التخمر و الإنزيمات مما يؤدي الى توقف التلف و تكون الأغذية مركزة و محتفظة بنكهتها و قيمتها الغذائية و سهلة الخزن ، التحضير و خفيفة الوزن[3] .

بين حسن و Tiris و أخرون [4] أن الأغذية المجففة تحت أشعة الشمس تتعرض الى التغيرات في الظروف الجوية المختلفة و التلوث بالإحياء المجهرية و الغبار و الحشرات مما يؤدي الى خفض قيمتها الغذائية و تحتاج هذه العملية مساحة كبيرة و زمن طويل نسبيا للتجفيف و إن الأمطار ممكن أن تفشل عملية التجفيف بالكامل و تنعدم السيطرة عليها .

إن التجفيف بالطاقة الشمسية هو عبارة عن تقنية الاستفادة من طاقة الإشعاع الشمسي و ذلك بتحويلها إلى طاقة حرارية باستخدام مجمع شمسي [5].

بسبب تلك السلبيات الناتجة عن التجفيف الشمسي الطبيعي فقد عمد الإنسان إلى التجفيف الصناعي أي استعمال الحرارة المولدة لغرض التجفيف باستخدام المجففات الألية

[6] ، و هي المجففات الميكانيكية التي تعتمد في عملها على الطاقة الكهربائية و تمتاز بالسرعة العالية في تجفيف الأغذية إلا أنها تعطي منتج غير متجانس و ذو نوعية غير جيدة كما أنها مكلفة للغاية. كذلك قام عبد الجليل لعويني وآخرون [7]، بتجفيف الفلفل الاحمر بواسطة الاشعاع الشمسي الساقط على مجمع شمس من النوع المقعر في منطقة الوادي لشهر افريل 2018، وخلصا الى الحصول على المدة الزمنية الكافية الى تجفيف الفلفل ودرجة الحرارة المثالية وهي على التوالي 5 ساعات وتحت 55 م°.

من هنا بدأ التفكير في تصميم مجفف يتميز بمواصفات المجففات الصناعية إلا أنه يعتمد في تسخين الهواء على الطاقات الشمسية، التي تزخر بيها الجزائر حيث يصل معدل ساعات الإشعاع السنوي في المناطق الصحراوية التي تشكل 86 % من المساحة الكلية للوطن إلى 3500 ساعة سنويا ، و هذا ما يجعلها مصدر طاقوي لا تستهان به . حيث يشترط في الطريقة البديلة للتجفيف اعتمادها على تقنية بسيطة و زهيدة الثمن و فعالة لتصبح في متناول الجميع ليسهل اقتنائها و تشغيلها بكل يسر[9.8].

إن التجفيف بالطاقة الشمسية يعطي منتوج متجانس و غير منكمش و ذو قيمة غذائية أفضل مقارنة مع المجففات الكهربائية و التجفيف الشمسي- الطبيعي. و ان رطوبة الأغذية تنخفض مع زيادة ساعات النهار كما أشار ألحلفي إلى أن التمر عندما يجفف بطريقة التجفيف الشمسي- الطبيعي فانه يمتص رطوبة من الجو خلال فترة انعدام الاشعاع الشمسي مما يؤدي إلى زيادة زمن التجفيف[10].

تمت دراسات كثيرة من قبل طلبة و دكاترة و أكاديميين في مختلف الدول مثل العراق ، فلسطين ، مصر- و الجزائر . حيث تم فيها دراسة كفاءة مجففات غير مباشرة و توزيع درجات الحرارة، الهدف منها الحصول على مجففات شمسية ذات تكلفة أقل صديقة للبيئة و تعطي منتج ذو جودة عالية.

والسؤال الذي يطرح نفسه هو ماهي كفاءة المجفف الشمسي- في منطقة الجنوب الشرقي الجزائر واد سوف؟

ولهذا سنقسم المذكرة إلى ثلاثة فصول على النحو التالي:

- **الفصل الأول:** دراسة عامة حول المجففات الشمسية المباشرة و الغير مباشرة و طرق عملها.
- **الفصل الثاني:** نتعرف على الظواهر الفيزيائية التي تحدث خلال عملية التجفيف و خواص كل من هواء التجفيف و المادة الرطبة . سنتطرق الى دراسة تجريبية لمجفف شمسي ذو الماص المقلوب في منطقة وادي سوف حيث سنتعرف على المراحل التجريبية التي قمنا بها والمكونات والاجهزة والادوات المستعملة.
- **الفصل الثالث:** سنخصصه لتحليل ومناقشة **نتائج التجفيف بـ**المجفف الشمسي- ذو الماص المقلوب المنجز خلال هذه التجربة **وقد** حقق ما هو مطلوب من قيم لدرجات الحرارة **لتجفيف** بعض المحاصيل الزراعية تحت **طقس** ولاية الجنوب الشرقي (وادي سـوف).

الفصل الأول

دراسة عامة حول المجففات
وطرق عملها

1.1 مقدمة

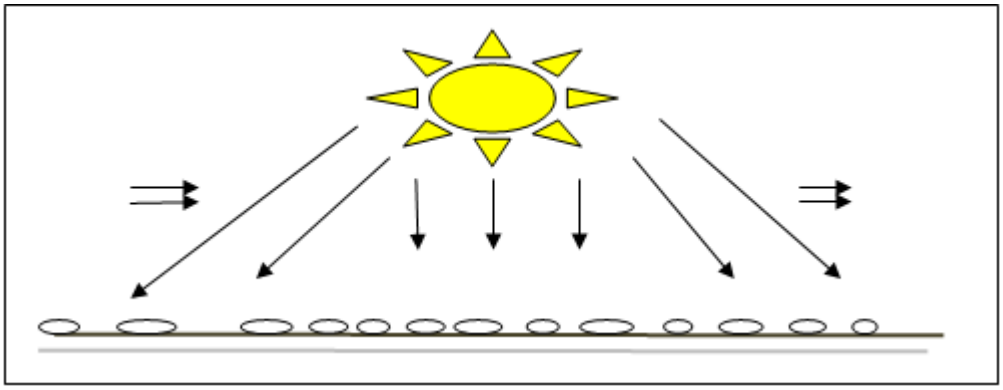
تعتمد عملية التجفيف على خفض نسبة الرطوبة إلى حد معين، حيث تستخدم الحرارة لتخفيض نسبة الرطوبة إلى درجة لا تسمح بنمو الأحياء الدقيقة وتكاثرها أو التعرض إلى عوامل الفساد الأخرى [11]. هناك عدة طرق لتجفيف الأغذية مثل التجفيف الشمسي الطبيعي حيث يوضع المنتج على الأرض هذا يتطلب وقتا طويلا و مساحة واسعة ناهيك عن الغبار و الحشرات التي تأخذ كثيرا من قيمة و جودة المنتج بعد ذلك تم اللجوء إلى طرق أخرى أفضل كالتجفيف الصناعي ، و بسبب تكلفتها العالية طورت مجففات تعمل بالطاقة الشمسية سنتعرف في هذا الفصل عليها و على أهم أنواع المجففات و طرق عملها [12].

1.2 تعريف التجفيف

هو عملية خفض نسبة الرطوبة التي تحتويها المادة الغذائية ورفع تركيز المادة الصلبة بالقدر الكافي لتثبيط الميكروبات و الإنزيمات و التفاعلات الكيميائية مع المحافظة على قيمتها الغذائية و المعادن و الفيتامينات التي تحتويها ،فالخضروات على سبيل المثال تجفف حتى تصبح نسبة الرطوبة بها من 4 - 6 %، بينما تجفف الفاكهة إلى مستوى رطوبة من 16- 22 % [13]، كما يعمل أيضا على تقليل وزن المنتج وتصغير حجمه [14]. وللتجفيف نوعان هما:

1.2.1 التجفيف الطبيعي

يعتبر التجفيف الطبيعي من أقدم طرق حفظ الأغذية التي مارسها الإنسان وابسط طريقة للتجفيف تتم بوضع المحصول مباشرة على سطح أسود مستوي مما يسمح للشمس و الرياح بتجفيف هذا المحصول ،وهذا في البلدان التي تتميز بدرجة حرارة عالية وهواء جاف كما في الشكل(1.1) [14]. لكن لهذه العملية العديد من السلبيات نذكر منها [15]:



الشكل(1.1): التجفيف الطبيعي للمحاصيل الزراعية [14].

- الحاجة إلى أيدي عاملة كثيرة لتحميل و تقليب الصواني.
- عدم التحكم في الرطوبة النهائية للمادة المجففة.
- تعرض الأغذية للأتربة نهارا و الندى ليلا مما يسبب تخسيرها قبل تجفيفها.
- تعرض الأغذية لتغير لونها الطبيعي بفعل الإنزيمات المؤكسدة.
- تحتاج إلى مساحة واسعة كمناشر.
- من الصعب الحصول على مستوى منخفض من الرطوبة في الثمار ..

1. 2. 2 التجفيف الصناعي

في هذا النوع من المجففات يتم ملامسة الهواء الساخن مع المادة الرطبة لتسهيل انتقال الحرارة، حيث يوضع المحصول فوق أرضية مثقوبة للسماح بمرور الهواء الساخن من خلالها[16]، كما تعطي هذه المجففات منتجات ذات نوعية أفضل وبذلك تعتبر الطريقة الأكثر شيوعا. فهي تمنح قدرا اكبر من المرونة مقارنة بالتجفيف التقليدي والمجففات الأخرى. وبالرغم من توافر العديد من المجففات الصناعية في السوق إلا أنها تشترك جميعها على مصدر للحرارة، ومنظم للحرارة، ونظام لتدفق الهواء. للمجففات الصناعية عدة محاسن مقارنة بالمجففات الشمسية الطبيعية منها [17]:

- تتوفر فيه النظافة و الشروط الصحية.
- يستغرق وقت أقل من التجفيف الشمسي الطبيعي.
- الأغذية المجففة المتحصل عليها تكون أكثر جودة من الأغذية المجففة طبيعيا.
- الحفاظ على المنتج من عوامل التلوث.
- التحكم الجيد في سير عملية التجفيف.
- إمكانية استمرار عملية التجفيف ليلا، كذلك في الأيام التي تشهد تقلبات جوية.

هناك العديد من أنواع المجففات الصناعية نذكر منها [19.18]: مجففات الأنفاق، مجففات النفق المتوازية، مجففات النفق المتعاكسة الجريان، مجففات النفق المزدوجة، مجففات الرذاذ، المجففات الأسطوانية، مجففات الضغط المجفف، مجففات تستعمل الطاقة الناتجة عن الموجات القصيرة.

1. 3 أنواع المجففات الشمسية حسب طريقة تسخين الهواء

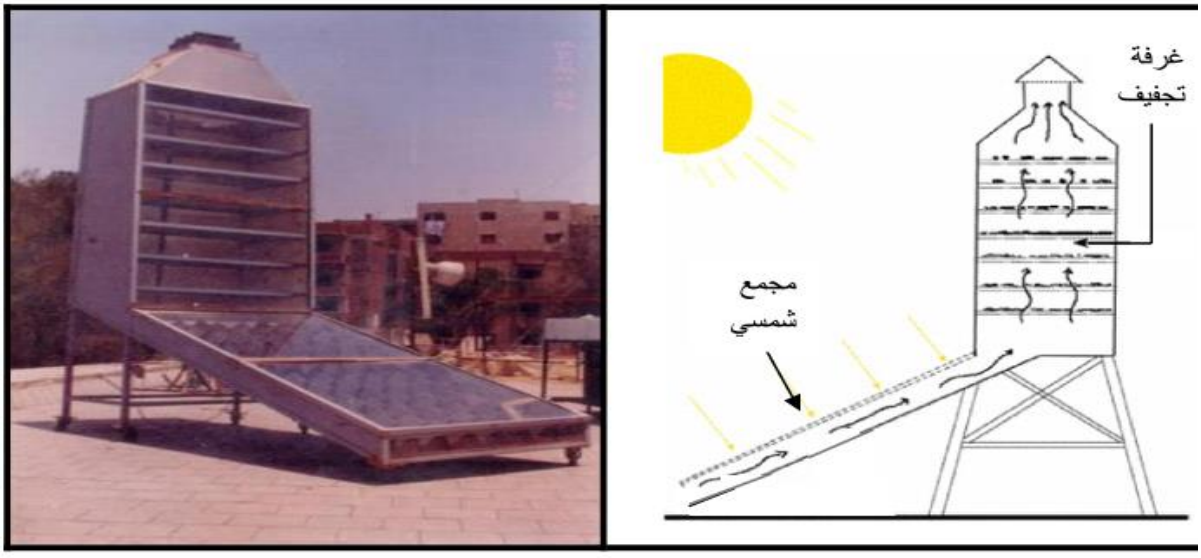
1. 3. 1 المجففات الشمسية المباشرة

الشكل(2.1): صورة مجفف شمسي مباشر[20].

المجفف الشمسي المباشر ذو تجهيز بسيط وسهل، يتكون من جزء واحد يلعب دور مجمع الأشعة الشمسية وفي نفس الوقت غرفة تجفيف، مغطى من أعلى بصفة من الزجاج تسمح بمرور الأشعة الشمسية ومن الأسفل بصفيحة معدنية (غالبا ما تكون من الألمنيوم) مطلية بالأسود. الشكل(2.1). للمجففات الشمسية المباشرة عدة مزايا مقارنة بالمجففات التقليدية من ناحية النوعية والمجمعات الصناعية من ناحية الطاقة[21]:

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

1 .3. 2 المجففات الشمسية الغير المباشرة

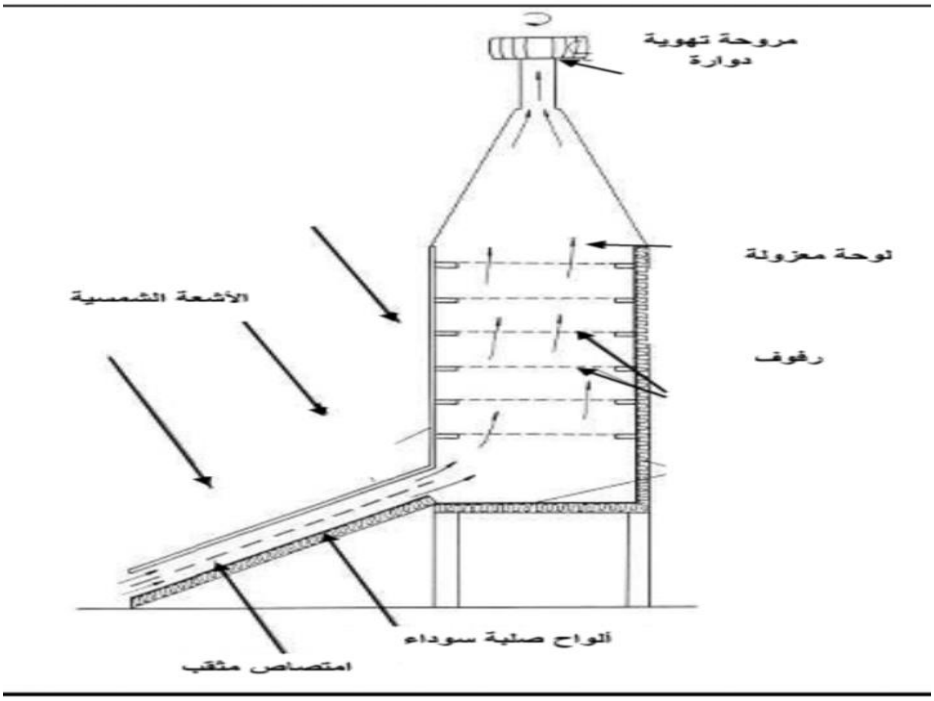


الشكل(1. 3): رسم تخطيطي وصورة فوتوغرافية لمجفف شمسي غير مباشر [21] .

هذا النوع من المجففات يتكون من جزئيين: مجمع الأشعة الشمسية مغطى بطبقة من أعلى بالزجاج، ومن الأسفل بصفيحة معدنية مطلية بالأسود، تسمح بتزويد غرفة التحفيف التي يحتوي بداخلها المنتج بالحرارة اللازمة للتجفيف الشكل (1. 3).
للمجففات الشمسية الغير مباشرة مزايا مقارنة بالمجففات الشمسية المباشرة منها:[22]

- المنتج غير معرض مباشرة لأشعة الشمس مما يحافظ على اللون والقيمة الغذائية خاصة الفيتامينات A و C.
- تسييره لا يتطلب أي مصدر آخر للطاقة (طاقة كهربائية، فحم، وقود...).

1 .3. 3 المجففات الشمسية المختلطة

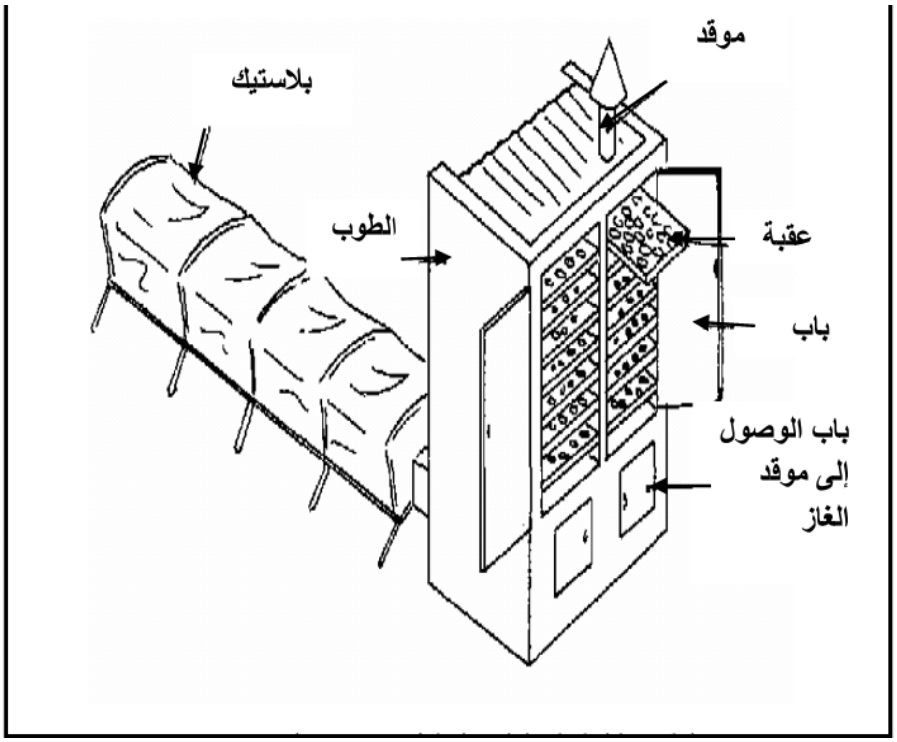


الشكل(4.1): مجففات الطاقة الشمسية المختلطة مع الدوران القسري [23]

هذا التركيب عبارة عن مجفف مباشر وغير مباشر في نفس الوقت، فالهواء يسخن بواسطة المجمع الشمسي وعندما يدخل غرفة التجفيف تزداد سخونته فهو يساعد في رفع درجة الهواء بالنسبة للمجفف الغير مباشر، لهذه المجففات نفس تركيبة المجففات الغير مباشرة (مجمع شمسي، غرفة التجفيف، مدخنة)، ولكن لها نفس سلبيات المجففات المباشرة لتعرض المنتج

إلى الإشعاعات الشمسية المباشرة والتي تؤثر على القيمة الغذائية [23]. كما هو موضح في الشكل(4.1).

1 .3 . 4 المجففات الشمسية الهجينة



الشكل(5.1): الطاقة الشمسية الهجينة مجفف الغاز [24].

تستخدم أنظمة التجفيف النشطة (الهجينة) أنظمة تسخين الطاقة الشمسية أو الكهربائية أو الوقود الأحفوري والمراوح أو المضخات بمحركات لتدوير الهواء، مدخلات الطاقة الإضافية يمكن ان تكون الطاقة الإضافية تساعد في حفاظ على درجة الحرارة ثابتة داخل المجفف مهما كانت الظروف الجوية فتصبح الطاقة الشمسية ثانوية فهي تتيح تسخين الهواء.

• تضمن المروحة دوران الهواء داخل المجفف. وتظل الطاقة الشمسية المصدر الوحيد للحرارة ولكن للمجفف قدرة تبخر أكبر بفضل مهم لتحسين التهوية [24]. لهذا نوع من المجففات العديد من الفوائد مقارنة بالمجففات الأخرى:

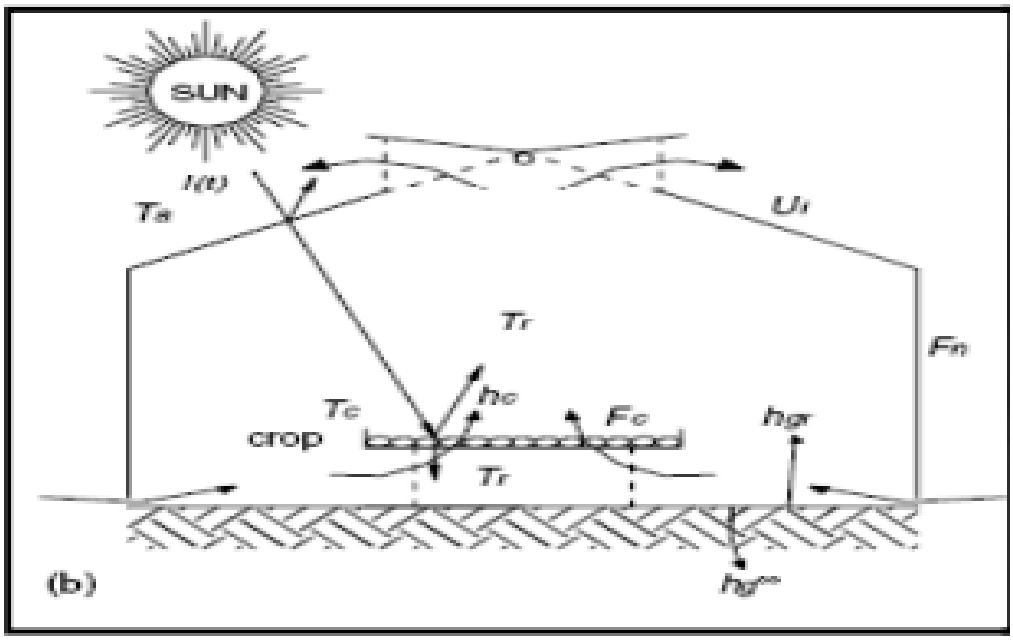
- زيادة نسبة إنتاج مقارنة بالمجفف الشمسي.

- استهلاك منخفض للطاقة مقارنة بالمجفف الصناعي.
- التحكم الجيد في درجة الحرارة وسرعة التجفيف داخل المجفف.

1 .4. أنواع المجففات حسب طبيعة تدفق الهواء

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

1 .4. 1 مجففات الحمل الطبيعي

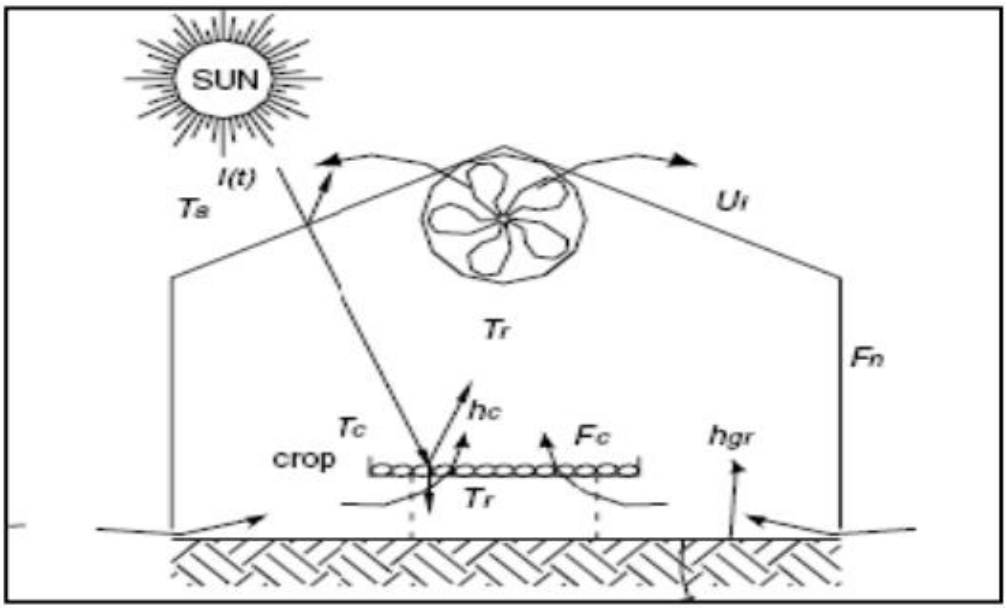


الشكل(6.1): رسم تخطيطي للمجفف الشمسي المباشر مع الحمل الطبيعي [25]

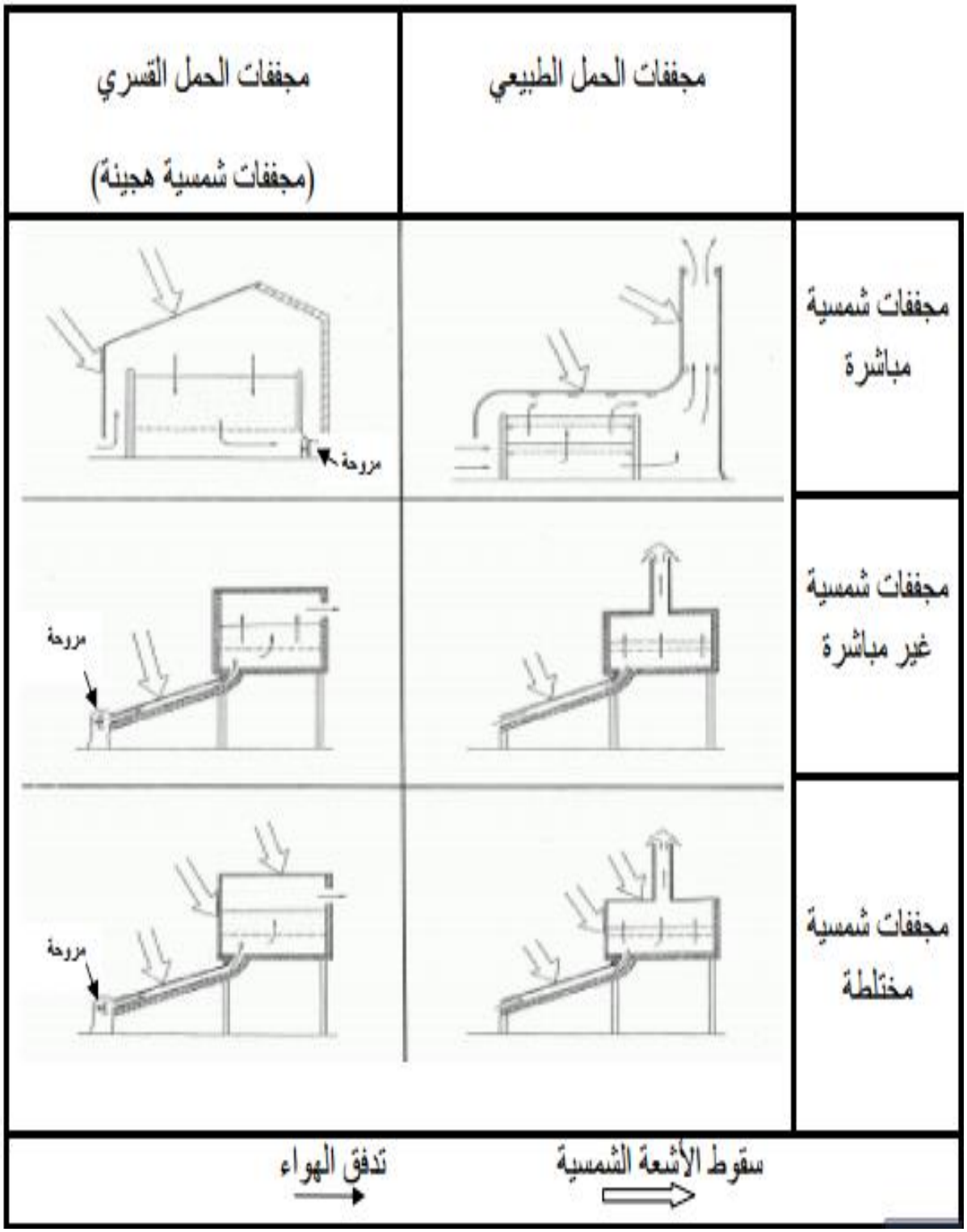
وتعتمد حركة الهواء الساخن ضمن غرفة التجفيف على الحمل الطبيعي بمعنى آخر يسخن الهواء فتنخفض كثافته فيتحرك نحو الاعلى مجففا المنتجات المراد تجفيفها وعندما يمتص منها رطوبتها ويبرد يتم طرده إلى الوسط الخارجي من خلال المدخنة [25].

1 .4. 2 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 [26]، وتسمح هذه الفئة من المجففات الشمسية بالتحكم الجيد في عملية التجفيف وذلك بسبب سرعة واستمرارية الهواء الساخن. ولهذا النوع من المجففات عيوب كغيره من المجففات منها تكلفته العالية بالنسبة لإنتاج والاستثمار مقارنة بالمجففات الحمل الطبيعي، كما يتطلب الإمدادات المحلية من الكهرباء التقليدية أو نظام الضوئية لتشغيل المروحة. ويمكن اعتبار هذا الصنف من المجففات الهجينة لاستعماله مصدر آخر للطاقة غير الطاقة الشمسية [14] .



الشكل(7.1): رسم تخطيطي للمجفف الشمسي المباشر مع الحمل القسري[27].



الشكل(8.1): يلخص الفرق بين المجففات الشمسية المباشرة و الغير مباشرة و المجففات الشمسية المختلطة، حسب طبيعة حركة الهواء في كل نوع [28].

1 .5 مميزات حفظ الأغذية بالتجفيف

- ✓ انخفاض كتلة و حجم المواد المجففة نتيجة لإزالة جزء كبير من رطوبتها مما يؤدي الى انخفاض تكاليف التعبئة و النقل و التخزين و تبدو أهمية ذلك بصفة خاصة أثناء الحروب أو المجاعات.
- ✓ انخفاض التكاليف اللازمة لإجراء عملية التجفيف مقارنة بطرق الحفظ الاخرى مثل التعليب أو التجميد خاصة في حالة التجفيف الطبيعي (الشمسي) بالإضافة الى عدم الحاجة الى استعمال خامات اخرى مثل السكر كما في حالة الأغذية المعلبة .
- ✓ سهولة تخزين الأغذية المجففة حيث لا يتطلب الامر أكثر من مكان تخزين نظيف و جاف و خالي من الحشرات و القوارض بينما تحتاج الأغذية المحفوظة بالتجميد مثلا الى تخزينها في المجمدات و التحكم تماما في درجة الحرارة و الرطوبة طوال فترة التخزين و إلا تعرضت الى التلف أو الفساد اذا ارتفعت درجة الحرارة و أدى ذلك الى انصهارها[29] .

1 .6 فوائد حفظ الأغذية

- ✓ الاحتفاظ بالخضراوات و الفاكهة لتناولها في غير مواسمها الزراعية و إتاحة الفرصة لاستخدامها في إعداد الطعام في معظم أوقات السنة .
- ✓ يساعد في توفير النقود، حيث أن الاحتفاظ بالأغذية الفائضة عن حاجتنا و عدم التخلص منها يمنحنا الفرصة لتناولها وقتما نرغب.
- ✓ البعض يقوم بشراء السلع و الأغذية عندما تكون أرخص ثمنا بكميات كبيرة فيلزمهم حفظها من التلف لحين استخدامها.

- ✓ يوفر الكثير من الوقت و الجهد بدلا من تضييع الوقت في التسوق كل مرة في شراء الأطعمة لإعداد الوجبات.
- ✓ من أهم فوائد حفظ الأغذية هو حمايتها من التلف أو الفساد مع الحفاظ على القيم الغذائية بداخلها [30].

1 .7 التغيرات الغذائية التي تحدث على الغذاء أثناء عملية التجفيف

تزود الخضروات و الفواكه الانسان بالطاقة و الأملاح المعدنية و الفيتامينات و الألياف. و تأتي الطاقة من الكربوهيدرات و البروتينات . ولا تؤدي عملية التجفيف إلى فقد في الألياف أو الطاقة .

في حين يفقد جزء صغير من فيتامين C في أثناء عملية تبييض الغذاء عن طريق التسرب أو النض. و لهذا يستلزم الأمر ألا تتجاوز فترة التبييض الوقت اللازم لإتمام العملية و ذلك من أجل التقليل من التسرب إلى الحد الأدنى. و يراعى في الوقت نفسه عدم تقليل الوقت المطلوب لإتمام هذه العملية، لأن ذلك قد يؤدي إلى بقاء جزء من إنزيمات الغذاء فعالة، الأمر الذي قد يؤدي إلى خفض نوعية الغذاء المجفف. و تؤدي المعاملة الأولية للفواكه ذات اللون الفاتح إلى حمايتها ضد فقد فيتامينات A و C.

1 .8 الشروط اللازمة للحصول على أعلى قيمة غذائية للمنتج المجفف

ينبغي من أجل ضمان الحصول على أعلى قيمة غذائية للمنتج المجفف تحقق مايلي :

- تجنب التبييض المفرط.
- إجراء عملية التجفيف في أقصر وقت ممكن دون زيادة درجات الحرارة على 65 درجة مئوية في بداية التجفيف أو على 60 درجة مئوية في بقية فترة التجفيف.

- تجنب تحميل المجفف أكثر من اللازم.
- وضع قطع الغذاء على صواني التجفيف متباعدة بشكل جيد و غير متداخلة معا.
- المحافظة على تدفق جيد للهواء في المجفف، و ذلك لحمل الرطوبة بعيدا عن الغذاء أثناء عملية التجفيف.
- إجراء عملية التجفيف عندما تكون الرطوبة النسبية للهواء منخفضة كلما أمكن ذلك.
- فحص الغذاء للتأكد من أنه قد أصبح جافا بما فيه الكفاية.
- تكييف الفواكه المجففة.
- تخزين المواد المجففة بعبوات لا تسمح بوصول الرطوبة أو الأكسجين إلى داخلها.
- تخزين الأغذية المجففة في مكان بارد، مظلم و جاف.
- تخزين الغذاء المجفف بكميات يسهل استهلاكها في المرة الواحدة [31].

9.1 الخاتمة :

تعرفنا في هذا الفصل على عملية التجفيف من خلال تعريف التجفيف و أنواع المجففات الشمسية و مبدأ عمل كل منها و الفرق بينها و في الأخير تطرقنا لأهمية و الشروط اللازمة لحفظ الأغذية و التغيرات التي تطرأ عليها أثناء عملية التجفيف .

الفصل الثاني

تحليل مبدأ عمل المجفف الشمسي
ووصف تصميمه

1.2 المقدمة

من أهم طرق حفظ الأغذية لأطول مدة ممكنة هي عملية تجفيفها أي عن طريق خفض النشاط المائي و الرطوبة للمواد المراد تجفيفها ، لذلك يطرح هذا الفصل كيفية حدوث ذلك و الظواهر التي تميز عملية التجفيف في المجفف الشمسي غير المباشر من انتقال للحرارة و الكتلة بين المنتج و هواء التجفيف ، و يشرح أيضا الظروف الواجب توفرها من حيث درجة الحرارة للتعرف على المجفف الشمسي المستعمل و مبدأ عمله و الأجهزة المستعملة في أخذ القياس [32]، سرعة و رطوبة هواء التجفيف و تأثير كل منها على حركية التجفيف، و يبين أشكال توزع الماء داخل المواد الرطبة و كيفية التخلص منه أثناء التجفيف، كذلك نتطرق في هذا الفصل.

2.2 الظواهر الفيزيائية التي تحدث خلال عملية التجفيف

يلاحظ خلال عملية التجفيف ظاهرتين فيزيائيتين ناتجتين عن التفاعل بين المنتج المراد تجفيفه و الهواء . فالظاهرة الأولى الانتقال الحراري الذي يأثر عن المنتج انطلاقا من الهواء. و الظاهرة الثانية و هي الانتقال الكتلي (بخار الماء) من المنتج باتجاه الهواء [33].

2. 1.2 الانتقال الحراري

إن الفرق في درجة الحرارة بين الهواء و المنتج ينتج عليه انتقال للحرارة .أي بسبب ارتفاع درجة الحرارة في الغرفة، و يؤدي هذا الانتقال الى خفض درجة الحرارة فيها و بالتالي خفض الضغط في غرفة التجفيف، يحدث الانتقال الحراري بأنواعه الثلاثة : التوصيل، الحمل و الإشعاع، تحدث هذه الأنواع بفردها أو مع بعضها البعض[35.34] .

2 .2. 1.1 التجفيف بالحمل الحراري

في التجفيف ، ربما يكون الحمل الحراري الأسلوب الأكثر شيوعا لنقل الطاقة، و يتم النقل الحراري عن طريق الاتصال بين مائع متحرك و سطح ما، و في التجفيف يكون الاتصال بين الهواء المتدفق و الجسم المراد تجفيفه و الذي قد يكون على شكل جزيئات ، قطرات أو لويحات [34].

في هذا النوع من الانتقال الحراري نستطيع تمييز نوعين من الحمل :

1- الحمل الطبيعي

في هذه الحالة حركة المائع متعلقة بالتغير في كتلته الحجمية مع درجة الحرارة ، هذا التغير يخلق قوة جاذبة تساعد في انتقال جزيئات المائع [33].

2- الحمل القسري

حركة المائع في هذه الحالة مستقلة تماما عن الظاهرة الحرارية، حيث تجرى بطريقة ميكانيكية مثل مضخة أو مروحة [33].

2.2. 1. 2 التجفيف بالتوصيل الحراري

يتم عن طريق الاتصال المباشر بين المنتج و الجدار الساخن ، يتم امتصاص الأبخرة الناتجة عن التجفيف أو المدفوعة بغاز متدفق يكون معدل تدفقه منخفضا دائما مقارنة مع ذلك المطلوب لتجفيف الحمل الحراري [34].

2.2 . 1. 3 التجفيف بالإشعاع الحراري

يتم نقل الطاقة اللازمة للتبخر عن طريق الإشعاع ، عملية التجفيف هذه فعالة جدا لتخلص من الماء خاصة عندما يكون المنتج المراد تجفيفه غير حساس للحرارة[34].

2.2.2 الانتقال الكتلي

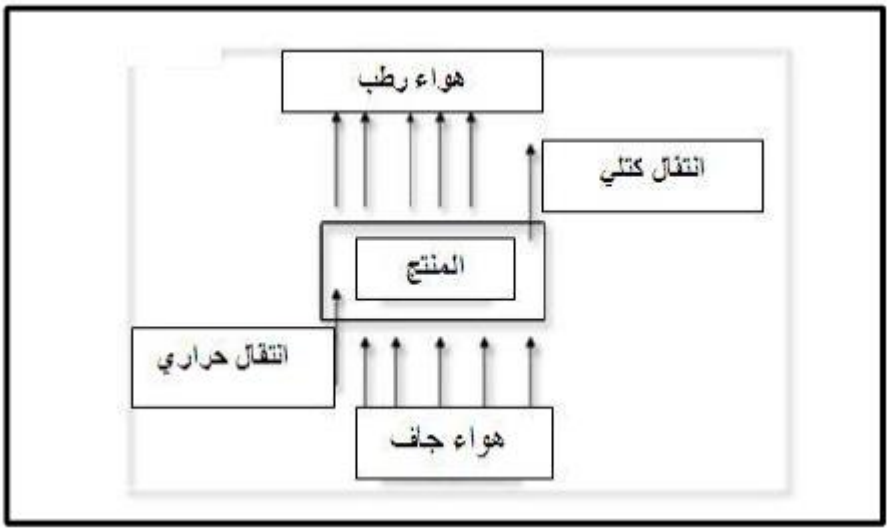
نقل الحرارة و نقل الكتلة هي عمليات حركية يمكن أن تحدث و تجري دراستها بشكل منفصل أو مشترك [35] ، حيث يتم انتقال الكتلة في الأوساط المادية التي يكون فيها فرق في التركيز (الكتلي أو المولي) ، و يتم ذلك إما بالانتشار الجزيئي أو بالحمل إلى غاية تساوي التركيز [33] .

2.2.2. 1 . الانتشار الجزيئي

انتقال الكتلة بالانتشار الجزيئي ، هو تشابه مباشر لانتقال الحرارة بالتوصيل ، و الانتشار الجزيئي يتم في مائع بحركة منتظمة في سريان رقائقي [33].

2.2.2. 2. الانتقال الكتلي الحملي

في الانتقال الكتلي بالحمل تنقل الكتلة (أو كمية المادة) مباشرة للمائع المذاب . و الحمل هو شكل من أشكال الانتقال السريع بالمقارنة بالانتشار الجزيئي . و عند 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 ميكانيكيا (مروحة) نسمي الحمل بالحمل الكتلي القسري [33].



الشكل(1.2) : رسم تخطيطي لانتقال الحرارة و الكتلة أثناء التجفيف [36].

2 . 3 الخواص الأساسية لهواء التجفيف :

2 . 3 . 1 الرطوبة :

الرطوبة عبارة عن السائل الموجود في الجسم الصلب أو السائل أو المعجون، و يجب التخلص منه أثناء التجفيف [37].

2 . 3 .2 الرطوبة النسبية :

الرطوبة النسبية تعطى بالعلاقة الضغط الجزئي للبخار في الخليط إلى ضغط تشبعه في نفس الخليط، تؤخذ في نفس درجة الحرارة [37].

2 . 3 .3 الرطوبة المطلقة :

تسمى الرطوبة المطلقة أو محتوى الرطوبة، و هي كتلة الرطوبة الممزوجة بكيلو غرام واحد من الغاز الجاف [37].

4.3.2 درجة الحرارة الجافة للغاز :

درجة الحرارة الجافة للغاز هي درجة الحرارة المشار إليها بواسطة مسبار درجة الحرارة الذي يتم وضعه في تيار الغاز [38].

3.2 .5 درجة الحرارة الرطبة للغاز :

درجة الحرارة الرطبة هي درجة الحرارة التي تؤخذ عن طريق مادة صلبة مبللة أثناء مرحلة ثبات سرعة التجفيف [38] .

4.2 الخواص الأساسية للمادة الرطبة :

1.4.2 أشكال توزيع الماء داخل المنتج :

باعتبار المنتجات الزراعية أجسام مسامية فإن توزيع الماء داخلها يكون كالتالي :

1-الماء الحر :

تموضع الماء الحر يكون في أغلب أجزاء فراغات الجسم و هو موجود على شكل سائل بواسطة القوة الشعيرية [39] ، و هذا الماء يكون قريب من السطح (القشرة) و يتبخر عندما يتعرض المنتج لأي حرارة مباشرة كأشعة الشمس و بذلك فهي تفقد ببساطة [40].

2-الماء المرتبط :

يكون الماء المرتبط عبارة عن طبقة رقيقة مع جدار الثغر ، و هو موجود في شكل سائل بواسطة القوة الشعيرية القوية [39] ، و هو ينفذ من خلال الأغشية الخلوية من التركيز العالي الى التركيز المنخفض [40].

3-الماء المتحد :

و هذه المياه لا يمكن السيطرة عليها و إزاحتها لأنها من أصل و تركيب الثمرة و نسبتها بسيطة و لا تحتاج إلى الإزاحة لأن بإزاحتها يتغير تركيب الثمرة و شكلها [40].

4-بخار الماء :

و يتواجد في الفراغ الخالي من الماء السائل ، و هو ممزوج بالهواء الجاف [39].

2.4.2 النشاط المائي للمنتج :

النشاط المائي هو عامل رئيس و مهم في عمليات تصنيع الأغذية مثل النمو الميكروبي و تكوين السموم و التفاعلات الإنزيمية، و هو الذي يحدد المدة التي يمكن تخزين غذاء 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 و أقل من 0.7 ، الماء المرتبط بقوة يكون النشاط المائي له أقل من 0.3 [41].

3.4.2 المحتوى الرطوبي:

المحتوى الرطوبي أو الرطوبة النسبية للمنتج و تمثل النسبة المئوية لكتلة الماء الموجودة في المنتج بالنسبة إلى كتلته الكلية [42] . ويعبر عنه بالغرامات من الماء لكل 100 g من المادة الرطبة .

5.2 سرعة التجفيف:

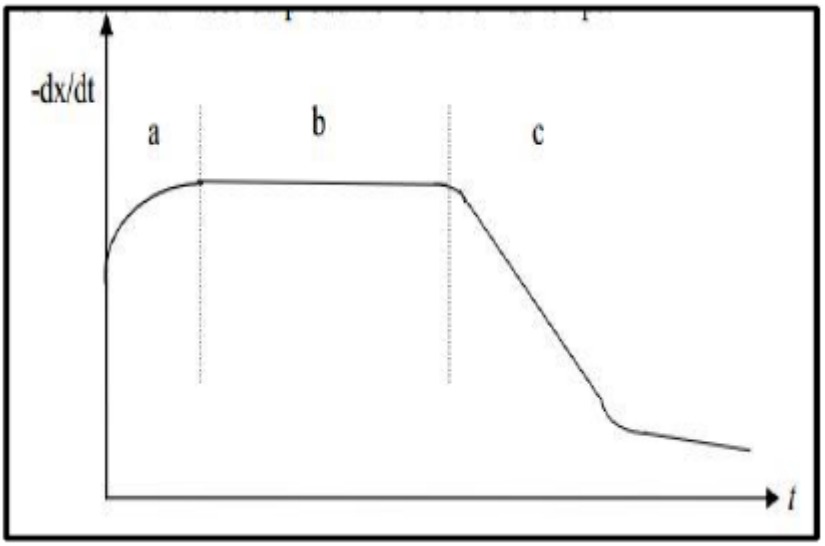
تعرف سرعة التجفيف بالفرق في المحتوى الرطوبي للفاصل الزمني ، و هو المقدار الذي يميز وتيرة التحول [38].

سرعة التجفيف دالة لعدة عوامل أهمها :

- ✓ الطبيعة ، المسامية ، الشكل و الرطوبة للمنتج .
- ✓ درجة الحرارة ، الرطوبة و سرعة الهواء [38].

6.2 حركية التجفيف:

يتم الحصول على منحنيات تمثل تطور سرعة التجفيف بلالة الزمن عند اخضاع طبقة رقيقة من منتج ما لتيار الهواء ثابت درجة الحرارة، الرطوبة و السرعة ثم قياس كتلة المنتج كدالة للزمن [36] . تتميز المنتجات أثناء التجفيف من خلال هذه المنحنيات [38] .



الشكل(2.2) :منحنى حركية التجفيف [43].

المنحنى أعلاه يمثل حركية التجفيف بدلالة الزمن. لكن في كثير من الأحيان يتم أيضا رسم منحنى حركية التجفيف بدلالة الرطوبة المتبقية في المادة أثناء التجفيف [36].

من خلال المنحنى الممثل لحركية التجفيف نلاحظ ثلاث مراحل رئيسية هي :

1- المرحلة الأولى : مرحلة الإحماء (المنطقة a)

عند تعريض منتج لتيار من الهواء الساخن يحدث انتقال للحرارة و الكتلة بين المنتج و الهواء الجاف ، تتطلب كميات الماء الموجودة في المنتج 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 [36] .

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

تبقى سرعة التجفيف ثابتة في هذه المرحلة، الرطوبة تنتقل إلى السطح في شكل سائل بسبب القوة الشعيرية، حيث يحدث توازن بين الانتشار الغشائي و ألية انتقال الرطوبة الداخلية إلى السطح، درجة الحرارة تبقى منتظمة في أنحاء المادة لأن التدفق الحراري أستعمل في تبخير الماء إلى السطح [37].

عند توقف انتقال الرطوبة الى السطح تتوقف السرعة عن الثبات، و هذا راجع إلى أن جدران الخلايا تعطل الانتقال السريع للرطوبة إلى الوسط الخارجي للمنتج بسبب تصلب و تقلص سطح المنتج و هذا ناتج عن انتقال المواد المذابة (الانتقال الكتلي) التي كانت تسد المسام [36] .

3- المرحلة الثالثة : مرحلة التباطؤ (المنطقة c)

خلال هذه الفترة ، لم يعد سطح المنتج مشبعا ببخار الماء و يتم التحكم في نقل الكتلة من خلال الاليات المعقدة لحركة الماء من الداخل إلى سطح المنتج، و تمثل هذه المرحلة كل التجفيف تقريبا، يتم تفسير تباطؤ سرعة التجفيف بالظواهر التالية :

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

منطقة التبخر التي كانت على سطح المنتج تتحرك لتصبح داخل المنتج [36] ، لذلك يتحول الماء المرتبط داخل المنتج إلى بخار ، أما الماء الحر الموجود على السطح إلى سائل ، و هذه الظاهرة تتعلق ببداية انخفاض المنحنى[40].

- ✓ **سمك المنتج:**

كلما زاد سمك المنتج كلما كان المسار الذي يعبره بخار الماء أطول ، و بالتالي يفسر هذا إلى حد كبير تباطؤ معدل التجفيف [36] .

- ✓ **انتشار الماء داخل المنتج:**

تتغير حسب نسبة الماء داخل المنتج ، فكلما كانت جافة تنقص سماحيتها للماء [36].

- ✓ **القوة الميكانيكية لجدران الخلايا:**

تمنع جدران الخلايا بخار الماء من المرور بكميات كبيرة إلى سطح المنتج [40].

- ✓ **التقشير:**

بعض المركبات القابلة للذوبان بما في ذلك السكريات و الأملاح تصاحب الماء المتبخر أثناء مرحلة السرعة الثابتة و تتموضع على السطح، هذه الظاهرة تسمى التقشير و هي مسؤولة عن التركيز العالي لهذه المركبات القابلة للذوبان على السطح و التي تغلق مسام المنتج. تراكم و تجفيف هذه المذابات تجعل سطح المنتج لا مسامي (غير نفاذي) [36].

7.2 تأثير عوامل هواء التجفيف على حركية التجفيف:

7.2 . 1 تأثير درجة حرارة هواء التجفيف :

زيادة درجة حرارة الهواء تزيد من درجة حرارة المنتج المجفف، نتيجة لذلك فإن معدلات خروج الماء (انتقال الكتلة) من المنتج ترتفع أيضا [44]. و مع ذلك يجب ألا تكون درجة حرارة الهواء عالية جدا فذلك قد يؤدي إلى تلف المنتج و فقدان جودته ، فيظهر بلون داكن و ينقص عمر تخزينه ، حيث يجب تعريض معظم الفواكه و الخضروات إلى درجة حرارة ما بين (60 –65°C) ما عدا الملفوف و البصل تكون أقل من(57 ° C) ، لا ينبغي تعريض المكسرات لدرجة حرارة أعلى من (54 ° C) باستثناء الجوز يجب ألا تتجاوز (43 ° C) [45] .

7.2 . 2 تأثير سرعة هواء التجفيف :

سرعة تدفق هواء التجفيف يزيد من معدل فقدان الرطوبة من المنتج و بالتالي تزداد سرعة التجفيف [45]. 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 له أثر ضعيف جدا[44].

7.2 . 3 تأثير رطوبة هواء التجفيف:

يلعب بخار الماء في الهواء دورا مهما جدا في سلوك حركية التجفيف في عدد من المنتجات. كما هو الحال مع سرعة الهواء [44]، فعندما تكون الرطوبة النسبية للهواء المحيط بالمنتج منخفضة تزداد سرعة التجفيف. يؤدي تسخين الهواء إلى تقليل الرطوبة النسبية بما يكفي نقل الحرارة و نقل الكتلة [35] .

8.2 مردودية التجفيف

1.8.2المردودية الكتلية

المردود الكتلي يعتمد بشكل كبير على طبيعة و حجم المنتج و المحتوى الرطوبي و درجة الحرارة و سرعة الهواء حول المنتج .

2. 8.2 المردودية الطاقوية :

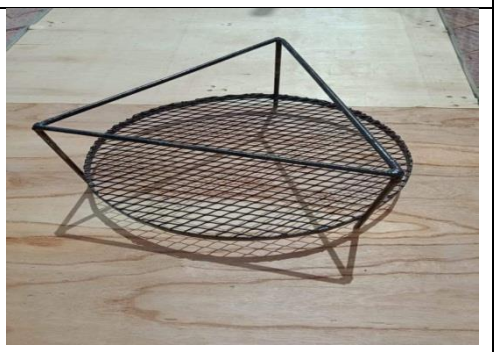
في عملية التجفيف يتم تعريف كميتين تميزان الطاقة المستهلكة : [46]

- متوسط استهلاك الطاقة هو مقدار الطاقة اللازمة لتبخير 1 كغ من المياه الموجودة في المنتج .
- نسبة استهلاك الطاقة.

9.2 وصف المجفف الشمسي المستعمل

التركيب التجريبي المستعمل عبارة عن مجفف شمسي غير مباشر ذو الماص المقلوب يعمل بالحمل الطبيعي و القسري، تم تصميمة باستخدام مواد محلية الصنع كماهي موضحة في الجدول(1.2) : حيث يتكون من عدة عناصر وهي:

	اللاقط او العاكس (المجمع) ذو الماص المقلوب أبعاد الزجاج 57 x 35 سم المائل بزاوية 33° . الصفيحة المقوسة المغلفة بورق الألمنيوم ، تحتوي على نافذتين أبعاد كل منها 20 x 6.5 سم . دوره جمع أشعة الشمس .
	الماص المثقوب دوره امتصاص الأشعة المنعكسة أبعاده 57 x45.5 سم

غرفة التجفيف دورها حفظ المادة المراد تجفيفها من الغبار و الحشرات و بما أنها ذات شكل اسطواني فإنها تضمن ضياع أقل في الحرارة بسبب عدم وجود زوايا حادة بها حيث قطرها 44.5 سم . تحتوي على نافذة أبعادها 6 x 11.5 سم ، لتسهيل أخذ العينة لقياس كتلتها في كل مرة .	
درج مشبك لوضع المحاصيل الزراعية (العينات) المراد تجفيفها . قطرها 42 سم .	
غطاء لغرفة التجفيف قطره 47 سم يحتوي على مدخنة اسطوانة الشكل قطرها 7.5 سم و ارتفاعها 18.5 سم لخروج الهواء .	

جدول (1.2) : عناصر المجفف الشمسي و دورها

10.2مبدأ عمل المجفف الشمسي :

يعمل المجفف شمسي ذو الماص المقلوب على آلية تسخين مزدوج الجوانب للمجمع من الأعلى و الأسفل. يمر الإشعاع الشمسي عبر الزجاج ليحدث مباشرة على السطح العلوي

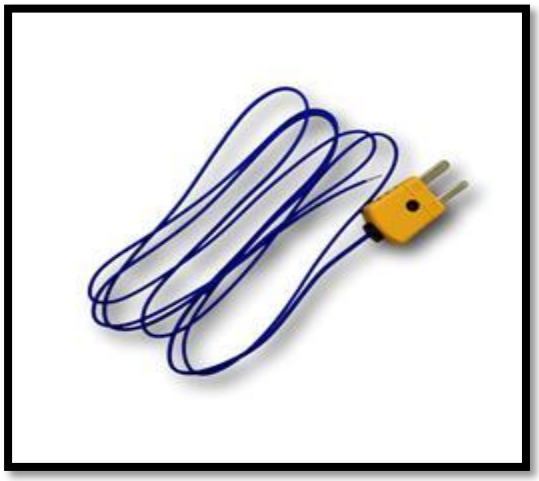
للمجمع بينما بشكل غير مباشر على السطح السفلي (أي بعد الانعكاس من السطح الداخلي للعاكس). ينتج عن هذا المزيد من نقل هذه الحرارة الممتصة إلى كتلة العينة فوق السطح العلوي للمجمع. يساعد في زيادة درجة حرارة العينة .نظرا لانتقال الحرارة الإضافي إلى كتلة العينة مقارنة مع التجفيف الشمسي التقليدي.

11.2 الأجهزة المستعملة في القياس :

- **جهاز قياس درجة الحرارة :** هو جهاز رقمي لقياس درجة الحرارة موصول بمزدوج حراري(Thermocouples) يعطي قيمة درجة الحرارة في المكان الموضوع فيه المزدوج .

الشكل (4.2): بطاقة جمع القياسات

يحتوي هذا الجهاز على مستشعر خارجي اسمه مزدوج الحرارة (thermocouple).



الشكل(5.2) :مزدوج الحرارة (thermocouple)

- **الميزان :** لقياس كتلة العينة.

الشكل(6.2) :الميزان

- **جهاز قياس الاشعاع الشمسي :**هو أداة لقياس الشعاع المباشر للإشعاع الشمسي. ضوء الشمس يدخل الأداة من خلال نافذة ويتم توجيه الشعاع للصعود إلى أداه حرارية في الآلة والتي تحول الحرارة إلى إشارة كهربائية يمكن تسجيلها. يتم تحويل إشارة الجهد عبر صيغة لقياس القدرة بوحدة واط للمتر المربع الواحد [47].

الشكل(7.2) :جهاز قياس الإشعاع الشمسي

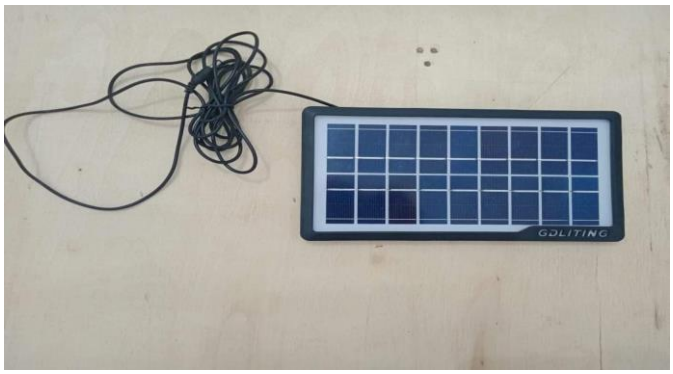
- **جهاز قياس سرعة الرياح:** التغير في نسبة غازات الغلاف الجوي حيث تؤثر سرعة الرياح على التنبؤ بدرجة حرارة الجو وايضًا على كلًا من حركات الملاحة الجوية والبحرية والتمثيل الضوئي للنبات تقاس سرعة الرياح بجهاز المرياح أو الأنيمومتر، تتحدد اتجاه الرياح في الاغلب بواسطة دوارة الرياح هي عبارة عن ذراع حديدي على شكل سهم يوضع على عمود رأسي 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 اتجاه الرياح في محطات الارصاد الجوية كل يوم في ساعة معينة ويتضح من النسب المئوية عدد تكرارات الرياح من الاتجاهات المختلفة هذا يعرف منه اتجاه الرياح [47].

الشكل(8.2) :جهاز قياس سرعة الرياح

- **بطارية :** لتخزين الطاقة الكهربائية.

الشكل (9.2) : بطارية

- **خلية شمسية :** التقاط الاشعة الشمسية ثم تحويل الطاقة الشمسية لطاقة كهربائية لتغذية المروحة .



الشكل (10.2) : خلية شمسية

- **مروحة:** تستعمل لتطبيق الحمل القسري في البروتوكول التجريبي .

الشكل (11.2) : مروحة

12.2 وصف منطقة التجربة:

أجريت الدراسة التجريبية في ولاية واد سوف الواقعة في الجنوب الشرقي للجزائر، تمتد أراضيها بين خطي طول 6 ° - 8 ° شرقا و دائرتي عرض 31 ° - 34 ° شمالا ،

تتميز بطابع صحراوي جاف حار صيفا وبارد شتاءا حيث يصل المتوسط الحراري في فصل الصيف إلى 34°C و قد يتعدى في بعض الأحيان 50°C و في فصل الشتاء يكون المتوسط الحراري 10°C ، و قد تصل أحيانا إلى ما دون الصفر ليلا ، التيارات الهوائية نشطة على مدار السنة في الوادي ، فتهب رياح شمالية و شمالية شرقية من فيفري إلى أفريل ، و تهب رياح شرقية من أوت إلى أكتوبر ، و تهب رياح جنوبية حارة خلال الصيف ، و نظرا لقلة هطول الأمطار بسبب بعد المنطقة عن البحر (يصل المتوسط

السنوي للتساقط بالمنطقة إلى 80.3 ملم) .فإن أغلب أيام السنة تكون مشمسة و هذا ما يجعلها منطقة غنية بالطاقة الشمسية .

13.2 الخاتمة :

من خلال هذا الفصل تم التعرف على أهم ظاهرتين فيزيائيتين تحدثان أثناء عملية التجفيف ، و هما الانتقال الحراري والكتلي، كما يعرض أهم خواص هواء التجفيف و كذلك الخواص المميزة للمواد الرطبة، ليتطرق بعدها لمنحنى حركية التجفيف الذي يميز أغلب عمليات التجفيف للمواد الرطبة، و يعرف أيضا المردودية الكتلية و الطاقوية للتجفيف .

بناءا على التعرف على عناصر المجفف و تصميمه سوف نتطرق في الفصل الموالي إلى القيام بعمل تجريبي لمعرفة مدى كفاءة المجفف المصمم.

الفصل الثالث:

دراسة النتائج التجريبية للمجفف تحت طقس منطقة وادي سوف

1.3 مقدمة :

بعد وصف كل عناصر المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب ودور كل عنصر في عملية التجفيف، يمكننا الأن وضمن هذا الفصل سرد الخطوات التجريبية لعمل المجفف تحت طقس منطقة الوادي، ومن ثما الحصول على النتائج المراد تحقيقها لتجفيف بعض المحاصيل الزراعية المحلية. في التالي يمكن عرض التجارب المنجزة:

1) التجربة الاولى

قبل القيام بتجفيف بعض المحاصيل ذات الطابع الورقي أو الصلب، كان لنا أولا عمل تجريبي للمجفف يومي 8 و 9 ماي 2021 بدون عينة بناءا على الحمل الطبيعي (الشكل (1.3)) والقسري (الشكل(2.3))، وذلك لمعرفة توزيع وتغيرات درجات الحرارة ضمن نقاط مختلفة من المجفف كدرجة حرارة الماص وغرفة التجفيف والمخرج، ونتائج التجريب مبينة في الشكل(3.3).

الشكل (1.3) :مجفف شمسي بناءا على الحمل الطبيعي

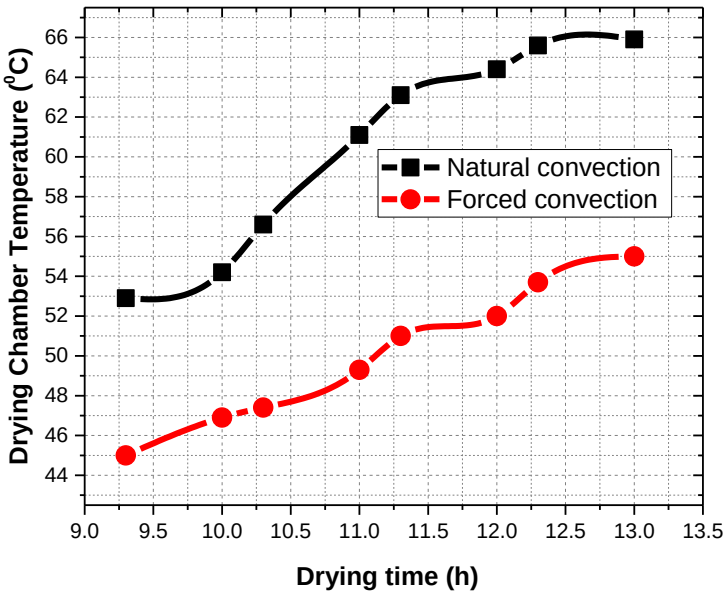
الشكل(2.3) :مجفف شمسي بناءا على الحمل القسري

من خلال المنحنيات المبينة أدناه نلاحظ أن تغير درجة حرارة غرفة التجفيف بفعل الحمل الطبيعي كانت نوعا ما أكبر من تغير درجة حرارة غرفة التجفيف بفعل الحمل القسري رغم تقارب شروط التشغيل المناخية للمجفف كما هو موضح في الجدول(1.3) .

ولكن يوجد عامل آخر قد يساعد أكثر في تجفيف المواد وهو سرعة التجفيف المطبقة في الحمل القسري (الشكل(2.3)) وهذا ما سنثبته في التجارب الأتية.

	الحمل الطبيعي	الحمل القسري
القيمة المتوسطة للإشعاع الشمسي (W/m^2)	904.36	929.45
القيمة المتوسطة لسرعة الرياح(m/s)	1.08	1.64
القيمة المتوسطة لدرجة حرارة الجو (م)	25.92	30.11

الجدول(1.3) :القيم المتوسطة لمعلمات التشغيل خلال يومي الدراسة



الشكل (3.3) :منحنى تغيرات درجة الحرارة بدلالة الزمن خلال مدة التجريب

2) التجربة الثانية

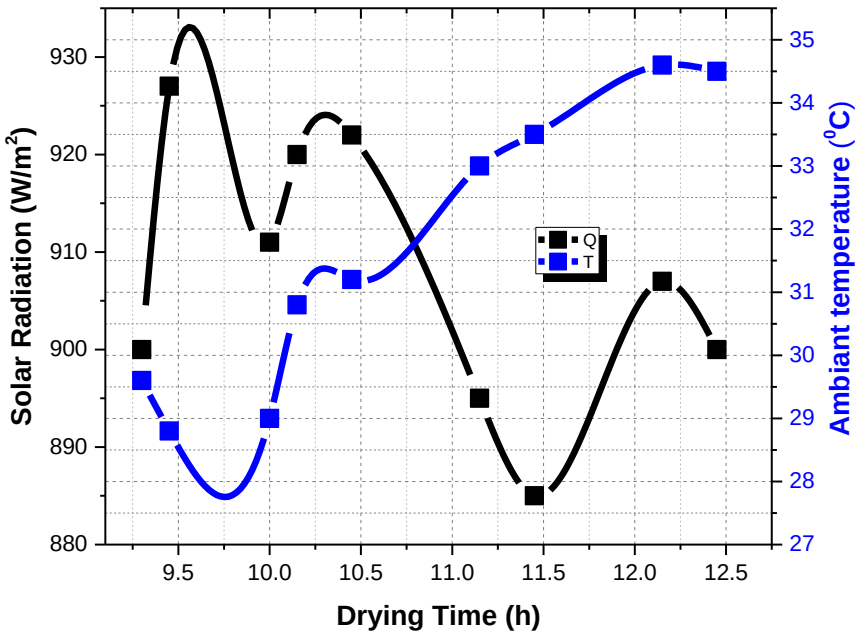
بناءا على ما سبق يمكن استغلال البروتوكول التجريبي في تجفيف مادة النعناع الورقية بالحمل الطبيعي.

قمنا بتجفيف مادة النعناع يوم 22 ماي 2021، و ذلك باتباع الخطوات التجريبية التالية
أولا : تعريض البروتوكول التجريبي لأشعة الشمس لمدة زمنية قبل وضع المادة المراد تجفيفها
ثانيا : تحضير كمية من النعناع الطازج كتلتها الكلية 95 غ، ليتم فصل 10 غ منها كعينة لأخذ قياسات الكتلة عليها .
ثالثا : وضع العينة داخل البروتوكول التجريبي كما هو موضح في الشكل (4.3) مع تثبيت المزدوجات الحرارية في ثلاث مواضع المراد قياس درجة حرارتها.

الشكل(4.3) : صورة النعناع داخل المجفف

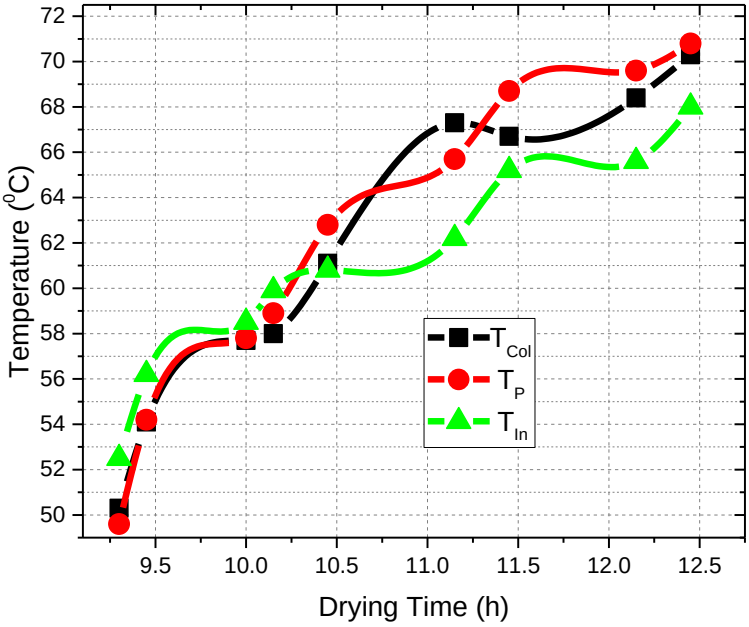
رابعا : أخذ القياسات 4 مرات كل 15 دقيقة، بعدها 5 مرات كل 30 دقيقة كما هو موضح في الشكل (5.3) ، و النتائج مبينة في المنحنيات التالية .

الشكل (5.3) : صورة النعناع عند أخذ كتلته خلال عملية التجفيف

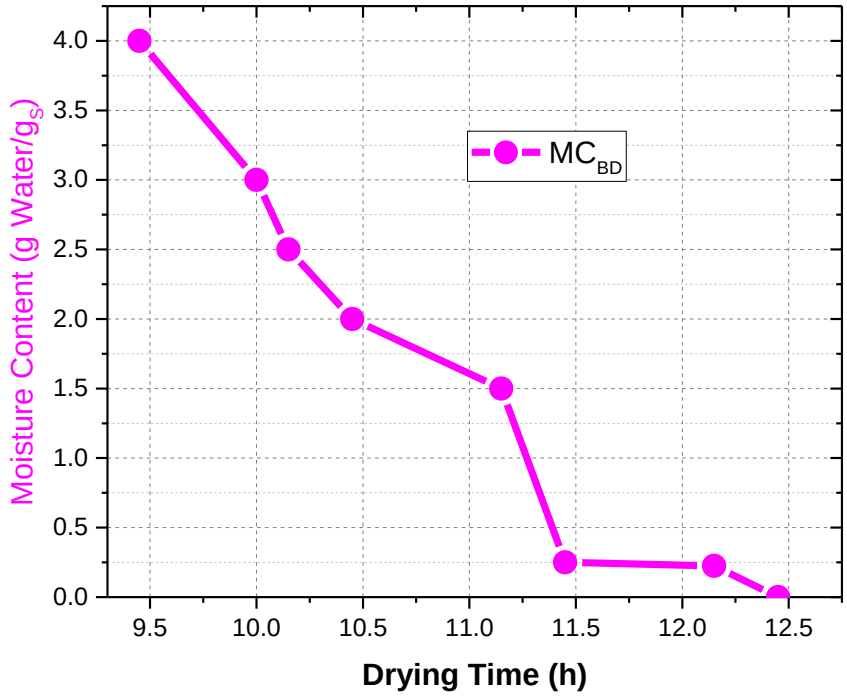


الشكل(6.3): منحنى تغيرات كل من الإشعاع الشمسي و درجة حرارة الجو

الشكل(6.3) يوضح منحنى تغيرات كل من الإشعاع الشمسي و درجة حرارة الجو خلال مرحلة التجفيف. نلاحظ ان متوسط الاشعاع الشمسي كافي لعملية التجفيف و كذلك درجة حرارة الجو الخارجي ملائمة لنقص الضياع الحراري من غرفة التجفيف. بينما الشكل(7.3) يوضح منحنى تغيرات درجات حرارة خلال مواضع مختلفة من المجفف بدلالة الزمن. حيث نلاحظ تزايد درجة الحرارة في كل من العاكس (المجمع)، غرفة التجفيف و المخرج خلال مدة التجفيف، فهي درجة حرارة كافية لنزع محتوى الماء من النعناع كما هو موضح في الشكل (8.3) و الذي يبين تناقص محتوى الرطوبة من مادة النعناع خلال فترة التجفيف. كما يمكن ملاحظته من خلال المنحنى أن تناقص محتوى الرطوبة يكون بنسب مختلفة خلال فترة التجفيف، وهذا راجع الى اختلاف سرعة التجفيف خلال فترة التجريب. كذلك الجدول (2.3) يبين ملخص النتائج لقيم كتلة النعناع خلال مدة التجريب، حيث من ذلك يمكن استنتاج نسبة الرطوبة الابتدائية في مادة النعناع والمساوية الى 74,73%.



الشكل(7.3) : منحنى تغيرات درجات حرارة عناصر المجفف بدلالة الزمن



الشكل(8.3) : منحنى تغيرات محتوى رطوبة النعناع بدلالة وقت التجفيف

قبل التجفيف		النتائج النهائية للتجفيف	
الكتلة الكلية	كتلة العينة	كتلة المادة الرطبة المفقودة من الكتلة الكلية	كتلة المادة الرطبة المفقودة من العينة
95 غ	10 غ	71 غ	8 غ

جدول (2.3) : ملخص النتائج لقيم كتلة النعناع قبل وبعد التجفيف

3) التجربة الثالثة

بناءا على ما سبق يمكن استغلال البروتوكول التجريبي في تجفيف مادة البطاطا بالحمل القسري.

قمنا بتجفيف مادة البطاطا يوم 23 ماي 2021، و ذلك باتباع الخطوات التجريبية التالية

أولا : تعريض البروتوكول التجريبي لأشعة الشمس لمدة زمنية قبل وضع المادة المراد تجفيفها

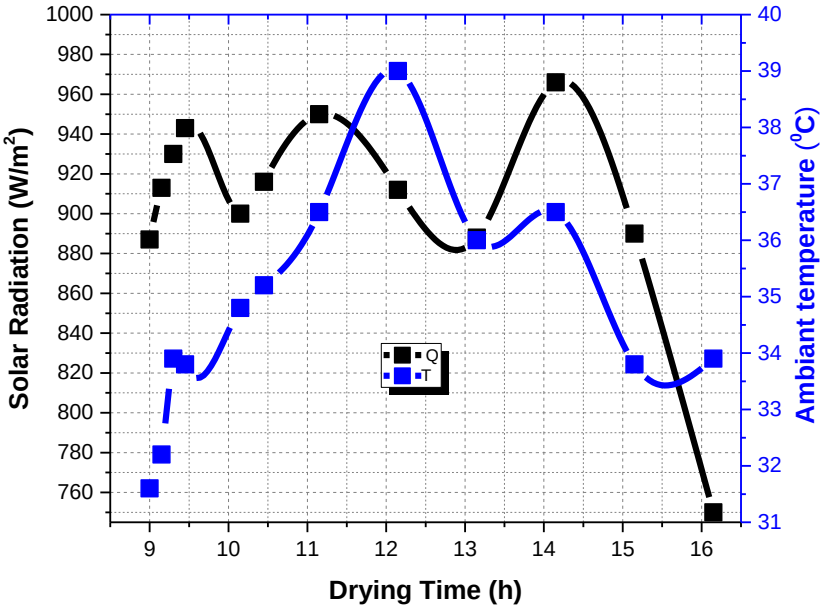
ثانيا : تقشير البطاطا (كتلتها الكلية 419 غرام) ثم تقطيعها باستخدام سكين إلى شرائح دائرية بسمك 5 مم، تم فصل 32 غرام منها كعينة لأخذ قياسات الكتلة عليها .

ثالثا : وضع العينة داخل البروتوكول التجريبي كما هو موضح في الشكل (9.3) مع تثبيت المزدوجات الحرارية في ثلاث مواضع المراد قياس درجة حرارتها.

الشكل(9.3) : صور للبطاطا داخل المجفف

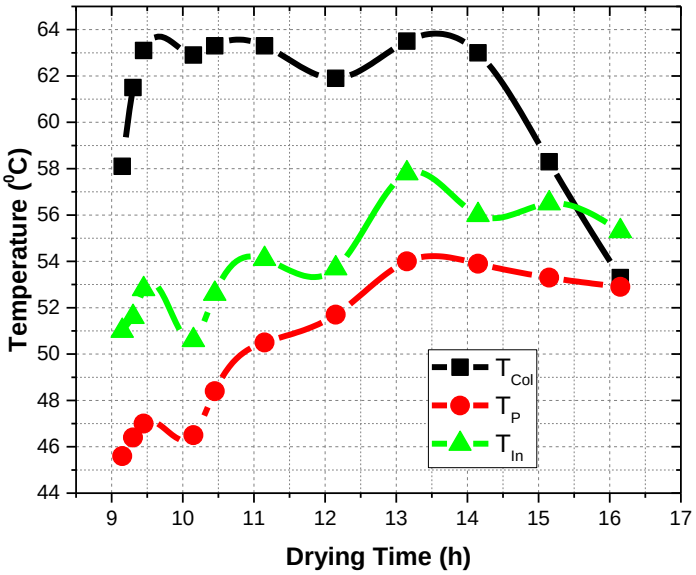
رابعا : أخذ القياسات 4 مرات كل 15 دقيقة بعدها 3 مرات كل 30 دقيقة ثم 5 مرات كل 1 ساعة كما هو موضح في الشكل (10.3) ، و النتائج مبينة في المنحنيات التالية.

الشكل (10.3) : صورة البطاطا عند أخذ كتلتها خلال عملية التجفيف



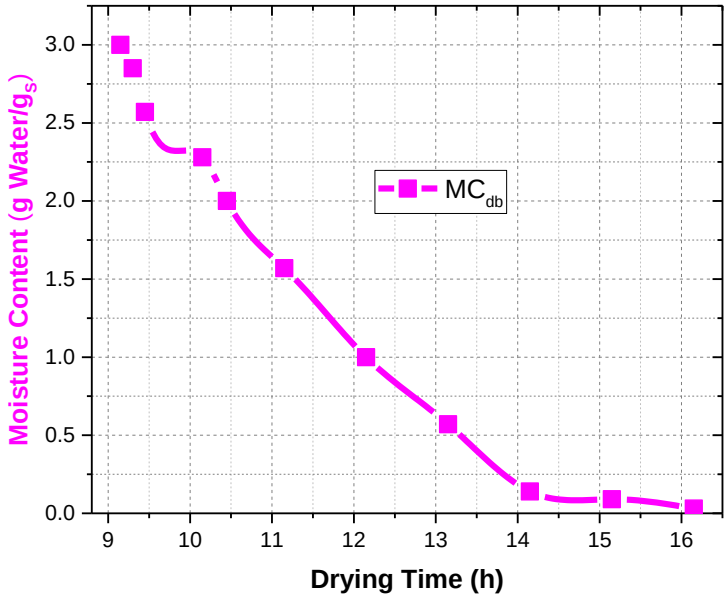
الشكل(11.3) : منحنى تغيرات الإشعاع الشمسي و درجة الحرارة الجو بدلالة الزمن

الشكل(11.3) يوضح منحنى تغيرات كل من الإشعاع الشمسي و درجة حرارة الجو خلال مرحلة التجفيف. نلاحظ ان متوسط الاشعاع الشمسي كافي لعملية تجفيف مادة البطاطا كذلك درجة حرارة الجو الخارجي ملائمة لنقص الضياع الحراري من غرفة التجفيف.



الشكل (12.3) : منحنى تغيرات درجة حرارة عناصر المجفف بدلالة الزمن

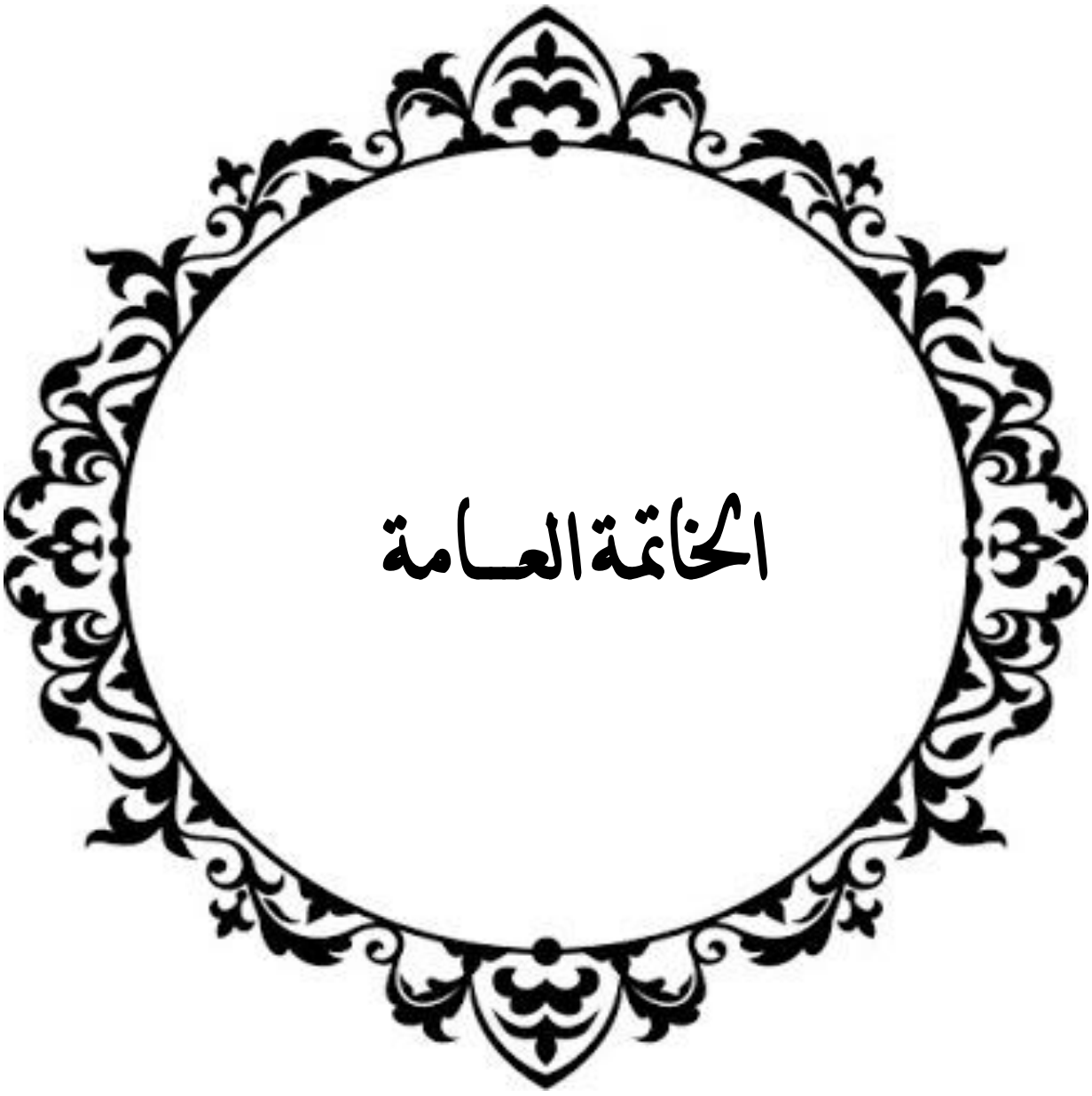
الشكل(12.3) منحنى يوضح تغيرات درجات حرارة خلال مواضع مختلفة من المجفف بدلالة الزمن. نلاحظ تزايد درجة الحرارة في كل من العاكس(المجمع)، غرفة التجفيف و المخرج خلال فترة التجفيف، فهي درجة حرارة كافية لنزع محتوى الماء من البطاطا كما هو موضح في الشكل (13.3) الذي يمثل تغيرات محتوى الرطوبة بدلالة زمن التجفيف و من الملاحظ تناقص محتوى الرطوبة من مادة البطاطا خلال زمن التجفيف. كما يمكن ملاحظته من خلال المنحنى أن تناقص محتوى الرطوبة يكون بنسب مختلفة خلال فترة التجفيف، وهذا راجع الى اختلاف سرعة التجفيف خلال فترة التجفيف. كذلك الجدول (3.3) يبين ملخص النتائج لقيم كتلة البطاطا خلال مدة التجفيف، حيث من ذلك يمكن استنتاج نسبة الرطوبة الابتدائية في مادة البطاطا والمساوية الى 72.31%.



الشكل (13.3) : تغيرات محتوى الرطوبة بدلالة وقت التجفيف

قبل التجفيف		النتائج النهائية للتجفيف	
الكتلة الكلية	كتلة العينة	كتلة المادة الرطبة المفقودة من الكتلة الكلية	كتلة المادة الرطبة المفقودة من العينة
419 غ	32 غ	303غ	25 غ

جدول (3.3) : ملخص النتائج لقيم كتلة البطاطا قبل وبعد التجفيف



الخاتمة العـامة

الخاتمة العامة

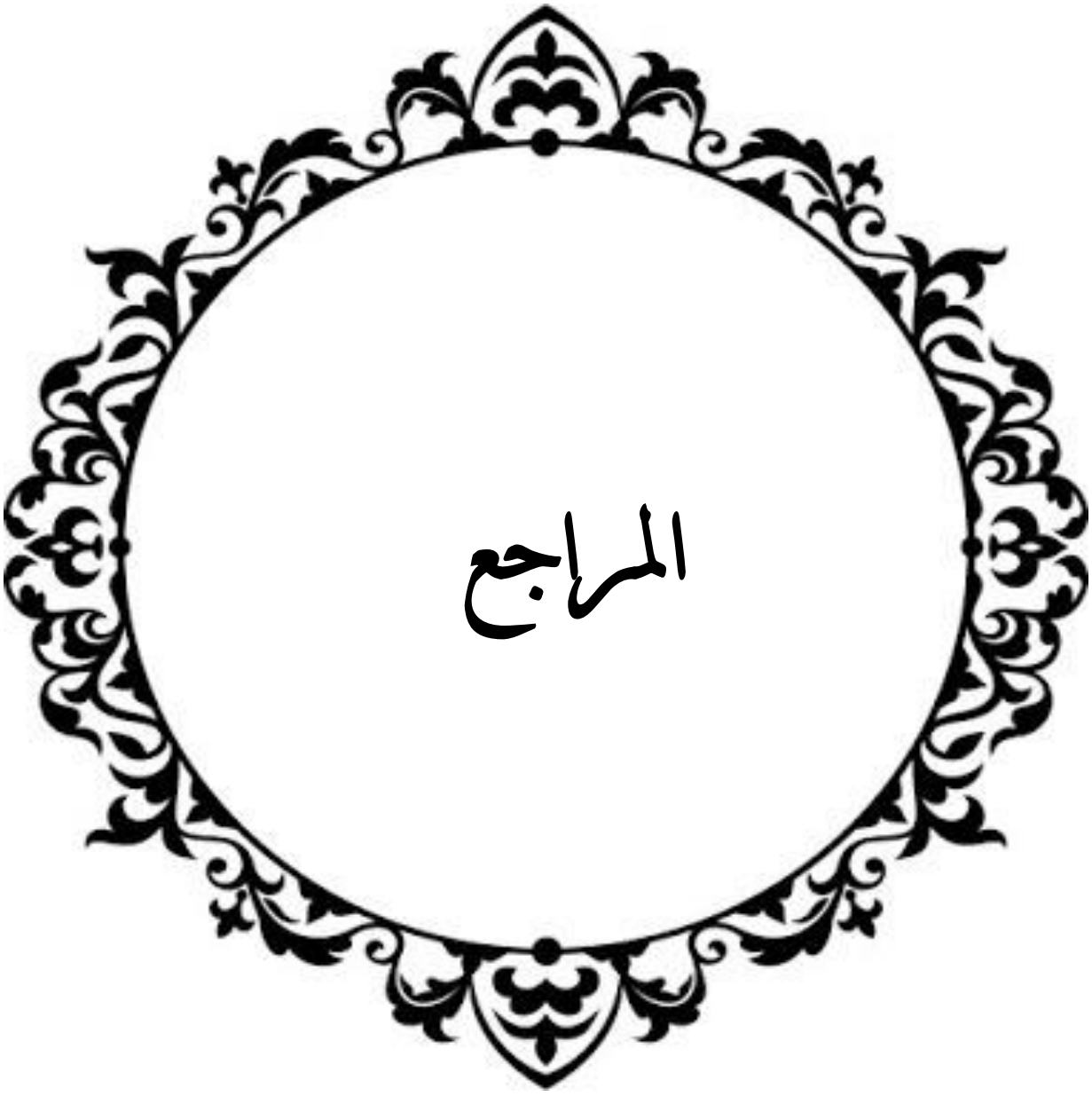
بناءا على دراسة عدة أبحاث ونتائج توصل اليها الباحثون في علم التجفيف الشمسي- وهي عبارة عن دراسة بيوغرافية تم بواسطتها معرفة مدى تقدم البحث العلمي في هذا المجال، كذلك على أنواع المجففات المعروفة والمتداولة في أنحاء العالم، إضافة إلى العوامل الداخلية والخارجية المؤثرة على مردود المجففات الشمسية الغير مباشرة ، والطرق المتبعة في تجفيف المحاصيل الزراعية . تطرقنا في هذه المذكرة الى دراسة عملية تجفيف بعض المحاصيل الزراعية المحلية باستعمال مجفف شمسي- ذو الماص المقلوب تحت ظروف تشغيل في منطقتنا (واد سوف).

تمت هذه الدراسة التجريبية في جامعة حمة لخضر بالوادي بعد تصميم المجفف انطلاقا من مواد أولية بسيطة، وقد واجهتنا العديد من الصعوبات وخاصة بسبب تغيرات الجو (سحاب ، سرعة الرياح ، ...)، و كذلك صعوبة تصنيع المجفف و الحصول على مجفف مناسب للقيام بالتجارب المراد القيام بها. على الرغم من ذلك كانت نتائج عمل المجفف المنجز مرضية ومقبولة خلال كل مراحل التجريب ويحقق ما هو مطلوب من قيم لدرجات الحرارة و تجفيف بعض المحاصيل تحت ظروف مناخ ولاية الوادي، وبناءا على ذلك يمكن استنتاج جملة من النقاط المراد اتباعها من اجل العمل على تحسين كفاءة المجفف المصمم كما يلي:

- إمكانية الحصول على كفاءه افضل في حدود ابعاد وشكل المجفف ذو الماص المستعمل.
- إمكانية الحصول على كفاءه افضل للمجفف الاقل حجم لغرفة التجفيف.

وفي الاخير وحسب النتائج المتحصل عليها يمكن القول ان انجاز و تحقيق نظام يعمل بالطاقة الشمسية من اجل سد حاجيات الانسان من تجفيف للمحاصيل الزراعية في منطقتنا اصبح من الضروريات لما في ذلك من مزايا اقتصادية وبيئية ندكر منها:

- يتكون الماص المكون للمجفف من مواد سهلة وبسيطة مما يمنحها خصائص سهولة الصيانة وتكاليف التشغيل.
- عدم وجود مواد واجهزة ضخمة، يعني عدم وجود اهتزاز وضجيج.
- استخدم المجفف الشمسي المصمم للدراسة يعني تجنب استهلاك الطاقة الكهربائية فهو صديق للبيئة.
- يمكن أن يكون عمر هذه المجفف طويلًا، اذا كفاءته على طول السنة،
- توفير طريقة اقتصادية لحفظ الأغذية لأطول مدة ممكنة.


المراجع

قائمة المراجع :

[1] Hadj Ammar Mohammed Ali, Étude et dimensionnement d'un réfrigérateur solaire à adsorption dans la région saharienne d'Algérie. Mémoire de Dotorat, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2020.

[2] Hadj Ammar Mohammed Ali , Rendement d'un capteur solaire a simple vitrage et a double vitrage "étude et comparaison" .10ème Séminaire International sur la Physique Énergétique. Bachar 2011.

[3]Scanlin , D(1997) .Design , construction , and use of an indirect , through – pass , solar food dryer .Home power # 57.

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

[5] Vlachos ,N .A ., Karapantsios,T.D., Balauktsis ,A.I.,&Chassapis,D.(2002).Design solar dryer. Drying Technology.20(5) .pp.1239-1267.

[6] اسعد رحمن سعيد الحلفي و غياث حميد مجيد، تأثير طرائق التجفيف في الصفات النوعية لبعض الفواكه و الخضر، مجلة البصرة للعلوم الزراعية، المجلد 20 ، العدد2008,2 م .

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

[8] مختار العاتي ، المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية ، رسالة ماجستير ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة ، الجزائر ، صفحة 1 ، (2011) م .

[9] م. حمد الفارس ، الطاقة الشمسية ، مجلة العلوم التقنية ، الجزء الاول ، العدد 34 ، ISSN 1017 3056 ربيع اخر 1416ه /سبتمبر 1995 م .

[10] الحلفي ، اسعد رحمن (2007) . تصميم و تصنيع و اختيار مجفف شمسي شبه مختلط لتجفيف التمر .مقبول للنشر في مجلة البصرة لأبحاث نخلة التمر .

[11] د. ايمن مزهارة ،صحة الانسان وسلامة الغذاء ،دار اليازوري للنشر والتوزيع ،عمان ،الاردن، (2019)، ص 84.

[12] غياث حميد مجيد و اسعد رحمان سعيد الحلفي ، تصميم مجفف شمسي مزود بمنظومتي الراجع و التسخين و اختباره في تجفيف الاسماك و اللحوم ، مجلة ابحاث البصرة) العمليات (، العدد 33 ، الجزء الثالث -30 . ISSN-18-17-2695 20 ايلول 2007 م .

[13] د .سعد احمد سعد حلابو ،د . عادل زكي محمد بديع، د محمود احمد بخيث ،المكتبة الأكاديمية للنشر، القاهرة ،جمهورية مصر العربية ،(2008)،ص 102.

[14] محمد سليم أشنبة، رنا ماجد جاموس ،التجفيف الشمسي للفواكه و الخضروات ،مركز ابحاث التنزع الحيوي و البيئة ،نابلس ،فلسطين (2016) ص 9.

[15] عاتي مختار ،المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية ،مذكرة ماجستير ،جامعة قاصدي مرباح ورقلة،2011 ص 16-36.

[16] محمد احمد السيد خليل ،علوم البيئة و الحفاظ عليها ،الدار الثقافية للنشر ،القاهرة ،جمهورية مصر العربية، (2006)،ص 175.

[17]Technique de lingènieur-gènie des procèdès sèchage , Thèorique et calcul.

[18] مختار العاتي، المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية رسالة ماجستير ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، الجزائر، صفحة 1 2011 - م.

[19]د .اسعد رحمن سعيد الحلفي، التجفيف، قسم علوم الأغذية–كلية الزراعة–جامعة البصرة، المحاضرة الثامنة.

[20]بن أعمارة نصر الدين، هندسة الأغذية بالطاقة الشمسية ودورها في التنمية الزراعية المستدامة في الجزائر – مجففات الشمسية أنموذجا-، جامعة ريان عاشور بالجلفة، مجلة الحقوق والعلوم الإنسانية، العدد الاقتصادي 35)1(، صفحة 56 -55 .

[21] D. Mennouche, Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procèdés de séchage solaire, Mémoire de magistère, Université Kasdi Merbah Ouargla. 2006
[22] M. A. Basunia& T. Abe. J. of Food Eng., Great Britain, V.47,pp.295-301.(2001 .(
[23] Ahmed BAHADJ, "Etude expérimentale de séchage solaire de la pomme de terre", Mémoire de Master academique, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algerie, 2014

[24] P. Dudez. Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes : expériences et procédés, Edition du Greth. France (1999.(
[25] Slimane Boughali, Etude et optimisation du séchage solaire des produits agro alimentaires dans les zones arides et desertiqves, diplôme de Doctorat, Universite Hadj Lakhdar Batna, 2010, p 44-46.
[26]د. السيد مصطفى محمد، د. فتحي قدري أحمد، د. مجاهد إبراهيم السيد، النماذج الحسابية للنظم الحرارية الشمسية، مركز النشر العلمي في جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية2000، صفحة757 .
[27] Yves Jannot, (2007) Thermique solaire
[28] Slimane Boughali, Etude et optimisation du séchage solaire des produits agro-alimentaires dans les zones arides et desertiqves , diplôme de Doctorat, Université Hadj Lakhdar Batna, 2010, p 44-46
[29]د. سعد أحمد سعد حلابو ، د. عادل زكى محمد بديع ، د. محمود على أحمد بخيت ، تكنولوجيا الصناعات الغذائية ، أسس حفظ و تصنيع الأغذية .الناشر المكتبة الاكاديمية ، شركة مساهمة مصرية 2008 – صفحة 104 .
https://adlat.net/showthread.php?t=389514 24/04/2021 [30]
[32] Speirs , C.I., & Coote , H.C.(1986). Solar drying : practical methods of food preservation Geneva : International Labor Organization
[32]منصر .ل – العبيد . س ، توزيع درجة الحرارة في المجفف الشمسي ماستر أكاديمي ، جامعة حمه لخضر الوادي – الجزائر صفحة 20 سنة 2018 م.
[33]مختار العاتي ، المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية ، رسالة ماجستير ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة ، الجزائر ، صفحة 1، (2011) م.
[34] A. Charreau, R. Cavaille, "séchage théorie et pratique technique de l'ingénieur", génie des procédés, 2480-1;2480-23, (1991).
[35] Er. R. K . Rajput," heat and mass transfer", S. chand, New delhi, India(2012).
[36] Slimane Boughali," etude et optimisation du sechage solaire des produits agroalimentaires dans les zones arides et desertiques", Thése de doctorat, Université Hadj Lakhdar Batna, Algerie, (2010).
[37] 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 Kasdi Merbah Ouargla, Algerie 2011.
[38] Ahmed BAHADJ, "Etude expérimentale de séchage solaire de la pomme de terre", Mémoire de Master academique, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algerie, 2014.
[39] 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).
[40] ي . طريلي ، ف . قريشة ، تجفيف المحاصيل الزراعية باستغلال الطاقة الشمسية ، مذكرة ليسانس أكاديمي ، جامعة حمه لخضر – الوادي ، الجزائر ، 2013.
[41]ص ، الشطي ، أ ، الحلفي ، ع ، جعفر ، دراسة الصفات الحسية و الفيزيائية لأسماك الكارب المجففة بمجفف يعمل بالطاقة الشمسية و تحت التفريغ المصنع محليا ، مجلة جامعة ذي قار للبحوث الزراعية ، المجلد 3 ، الجزء الثالث ، (2014) .

[42] R. Miri, O. Mokrani , F. Siad, M. Belhamel, " Etude Expérimentale d’un Séchoir Solaire", Rev. Energ. Ren: Zones Arides(2002).
[43] 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.
[44] Boumediene Touati, "etude theorique et experimentale du sechage solaire des feuilles de la menthe verte (Mentha viridis)", Thése de doctorat, Université Abou-Bekr Belkaid – Tlemcen, Algerie, 2008.
[45] the United States Agency for International Development (USAID),"drying fruits and vegetables with the chimney solar dryer ", FEED THE FUTURE, section 2, U.S.A, (2018)
[46] Yves JANNOT, "Thermique Solaire", edilivre, France, (Janvier 2007).
[47] ع. عطاالله ، ع. عمري ، ع.لطيرق ، دراسة تجريبية لتأثير حجر زهرة الرمال على مردود المقطر الشمسي بمنطقة وادي سوف ، مذكرة ماستر اكاديمي ، جامعة حمه لخضر – الوادي ،الجزائر ، 2020 م .

ملخص :

نظرا للمشكل الكبير الذي تعاني منه معظم الدول وخاصة الجزائر في قلة طرق حفظ المحاصيل الزراعية عند حدوث فائض في الانتاج، نقترح استعمال المجففات التي تشتغل بأشعة الشمس كحل لذلك. في هذه الدراسة، قمنا بعمل تجريبي لمجفف شمسي ذو الماص المقلوب لمعرفة مدى كفاءته في منطقة وادي سوف الواقعة جنوب-شرق الجزائر التي تزخر بطاقة شمسية وفيرة. تمت الدراسة على مرحلتين تجربتين، الاولى في يوم 22 ماي 2021 خصصت لتجفيف محصول النعناع، فكانت النتائج جد مرضية حيث تم تجفيفه بشكل تام في غضون 3 ساعات فقد ونزع ما يقارب نسبة 74.73% من محتوى الرطوبة لمادة النعناع، اما في اليوم التالي، تم تجفيف مادة البطاطا المعروفة بالإنتاج المحلى الوفير، حيث كذلك تمت عملية التجفيف في غضون 8 ساعات فقط، أي نزع ما يقارب نسبة 72.31% من محتوى الرطوبة.

Given the great problem that most countries, especially in Algeria, suffer from in the lack of methods of preserving agricultural crops when there is an excess of production, we suggest the use of solar dryers system that as a solution to the problem. In this study, we have carried out an experimental work of an inverted absorber solar dryer to determine its efficiency in the El Oued region situated in the northeast of Algeria, which has abundant solar energy. The study was carried out in two days; the first in May 22, 2021 was devoted to drying the mint crop. The results were very satisfactory, as it was completely dried within 3 hours, and approximately 74.73% of the moisture content of the mint was removed. On the next day, it was dried Potato is known for its abundant

local production, as the drying process took place within 8 hours only, so about 72.31% of the moisture content was removed.