رقم الترتيب:.....
رقم التسلسل:.....

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر-الوادي-
كلية العلوم الدقيقة
قسم الفيزياء

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة
تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاع وطاقة

من إعداد:
داودي عبد العالي

شوشاني محمد علي

تحت عنوان:

دراسة تحسين أداء المجفف الشمسي بمساعدة مواد تخزين الطاقة تحت شروط طقس مدينة الوادي -الجزائر -

نوقشت يوم: 2023/06/08

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

غاني ريحية	أستاذ مساعد - أ -	رئيسا
مفتاح محمد الصالح	أستاذ مساعد - أ -	مناقشا
حاج عمار محمد علي	أستاذ محاضر - أ -	مؤطرا

السنة الجامعية: 2023/2022

بسم الله الرحمن الرحيم

وَقُل رَّبِّ زِدْنِي عِلْمًا

الشكر والتقدير

قال رسول الله صل عليه وسلم:

" من سلك طريقاً يلتمس فيه علماً سهل الله له طريقاً إلى الجنة"

الحمد الله والشكر لله الذي من علينا من فضله ورحمته ويسر لنا أمورنا ونور دروبنا

لإنجاز هذا العمل المتواضع، سائلين الله عز وجل أن يوفقنا ويسدد خطانا ويبسط لنا خيرات العلم ويوفقنا في ما تبقي منه راجين من الله عز وجل مزيدا من والتوفيق و السداد إنه هو السميع العليم.

والشكر موصول إلى كل أستاذ أفادنا بعلمه، من أول مراحلنا الدراسية حتى هذه اللحظة كما

نرفع كلمات الشكر والعرفان إلى الدكتور الأستاذ المشرف "محمد علي حاج عمار" على اقتراحه هذا الموضوع، وما بذله من جهد وتعب خلال إشرافه علينا.

كما يسعدنا أن نتقدم بالشكر الجزيل لأعضاء اللجنة على موافقتهم مناقشة هذا العمل بداية برئيس اللجنة " الأستاذ غاني ريحية " وكذلك الأستاذ المناقش "الأستاذ محمد الصالح مفتاح "

كما نشكر كل من مد لنا يد العون ولم يبخلوا علينا بنصائحهم وارشاداتهم.

كما نتقدم بالشكر إلى الأستاذ عطية والأستاذ بوصبيع وطلبته خاصة الطالب شنيبة وكل عمال مخبر الميكانيك بجامعة الوادي على إحتضانهم لنا طيلة هذا العمل.

وفي الختام نشكر كل من ساعدنا وساهم معنا في هذا العمل سواء من قريب أو بعيد حتى

ولو بكلمة طيبة أو ابتسامة عطرة.

عبد العالي داودي ومحمد علي شوشاني

فهرس المحتويات:

الشكر والتقدير I

فهرس المحتويات: II

فهرس الأشكال IV

فهرس الرموز: V

المقـــدمة العامة: 1

الفصل الأول: عموميات حول المجففات الشمسية

1-المقدمة: 5

2-تعريف التجفيف: 5

2-1 -التجفيف الطبيعي: 5

2 -2 التجفيف الصناعي: 6

3-المجففات الشمسية: 7

3-1 المجففات الشمسية المباشرة: 7

.3-2 المجففات الشمسية غير المباشرة: 8

3-3 المجففات الشمسية الهجينة: 9

3-4 المجففات الشمسية المختلطة: 9

4-المجففات حسب طريقة تدفق الهواء: 10

4-1 مجففات الحمل الطبيعي: 10

4-2 مجففات الحمل القسري: 10

5-طريقة حفظ الاغذية المجففة: 11

6-الشروط اللازمة للحصول على أعلى قيمة غذائية للمنتج: 11

7-فوائد تجفيف الأغذية: 11

8-الخاتمة: 12

قائمة المراجع 13

الفصل الثاني: ظواهر التجفيف ومبدا عمل المجفف ذو الماص المقلوب

1-مقدمة: 15

2-التخزين الحراري: 15

2-1 تخزين الطاقة الحرارية بالحرارة الحساسة: 15

2-2 تخزين الطاقة الحرارية بالحرارة الكامنة:..... 16
2-3 التخزين الكيميائي: 17
3-الظواهر الفيزيائية المصاحبة لعملية التجفيف:..... 18
3-1-1 التجفيف بالتوصيل الحراري:..... 18
2-1-2 التجفيف بالحمل الحراري: 18
2-1-3 التجفيف بالإشعاع الحراري:..... 19
4-الانتقال الكتلي: 19
4-1 الإنتقال الكتلي عن طريق الانتشار الجزيئي:..... 19
4-2 الإنتقال الكتلي الحملي: 19
5-كيفية التخلص من الماء في المنتج المراد تجفيفه:..... 20
6-العوامل المؤثرة في سرعة التجفيف:..... 21
7-حركية التجفيف (فترة التجفيف):..... 21
8-وصف المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب: 22
8-1 عناصر المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب:..... 23
8-2 مبدأ عمل المجفف ذو الماص المقلوب:..... 24
9-المواد المخزنة للحرارة المستعملة في هذه الدراسة:..... 24
10-الاجهزة المستعملة في القياس:..... 25
11-خاتمة الفصل: 28
قائمة المراجع..... 29

الفصل الثالث: دراسة ومناقشة نتائج المجفف المحسن

III-1- مقدمة 31
قائمة المراجع..... 40

الخاتمة العامة:..... 42
قائمة المراجع..... 43

الملخص 45

فهرس الأشكال

الصورة (I-1): صورة للتجفيف الشمسي الطبيعي..... 5
الصورة (I-2): صورة مجفف صناعي..... 6
الصورة (I-3): صورة مجفف شمسي مباشر..... 7
الصورة (I-4): صورة مجفف شمسي غير مباشر..... 8
الصورة (I-5): صورة لمجفف شمسي مختلط..... 9
الصورة (I-6): صورة مجفف شمسي يعمل بالحمل الطبيعي..... 10
الصورة (I-7): صورة لمجفف شمسي يعمل بالحمل القسري..... 10
(الشكل II-1): مخطط تفاعل تحلل وتشكل $Ca\ (OH)_2$..... 17
(الشكل II-2): رسم تخطيطي لانتقال الحرارة والكتلة أثناء عملية التجفيف..... 20
(الشكل II-3): توزع الماء في المنتجات الزراعية..... 20
(الشكل II-4): مخطط لحركية التجفيف..... 21
(الشكل II-5): صورة للمجفف الشمسي ذو الماص المقلوب..... 22
الشكل (III-1): متوسط الإشعاع الشمسي اليومي ودرجة الحرارة وزاوية الميل في منطقة الوادي-الجزائر. . 31
الشكل (III-2): نموذجين للمجفف الشمسي ذو الماص المقلوب..... 32
الشكل (III-3): صورة توضح كيفية وضع المواد المساعدة على حفظ الحرارة (الحصى الأسود والفحم) 33
الشكل (III-4): صورة توضح كيفية وضع الشبكة في الغرفتين 33
الشكل (III- 5): مرحلة وضع عينة البطاطا داخل الغرفتين..... 33
الشكل (III- 6): منحنى تغيرات درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي بدلالة الزمن 34
الشكل (III-7): منحنى تغيرات سرعة الهواء ونسبة رطوبة المحيط لكل ساعة. 35
الشكل (III-8): تغير درجة حرارة هواء الغرفة للنموذجين بدلالة الزمن..... 36
الشكل (III-9): درجة حرارة هواء مدخل الغرفة للنموذجين بدلالة الزمن..... 36
الشكل (III- 10): تغيرات الطاقة المكتسبة للغرفة للنموذجين بدلالة الزمن..... 37
الشكل (III-11): منحنى تغيرت كتلة العينة داخل الغرفة للنموذجين بدلالة الزمن..... 38
الشكل (III-12): منحنى تغيرت كفاءة المجفيفين خلال فترة التجفيف..... 39

فهرس الرموز:

الرمز	اصطلاحه	وحدته
m	كتلة مادة التخزين	kg
C_p	الحرارة النوعية الخاصة بمادة التخزين	J/kg.k
E	*الطاقة* المخزنة	J
n_r	عدد مولات المنتج	Mol
ΔH	انتالبي التفاعل	mol
S	*مساحة* التبادل الحراري بالتوصيل	m^2
Q	تدفق الحرارة بالتوصيل	W
ΔL	انتالبي متناهية الصغر لتغير الحاله	J/k
λ	الموصلية الحرارية للمنتج	$W/m.K$
h	*معامل* التوصيل الحراري بالحمل	$W/m^2.k$
E_G	الطاقة المكتسبة	J
V_a	سرعة الهواء	W.m.
ρ_a	الكتلة الحجمية	kg/m^3
T_{out}، T_{in}	درجتي الحرارة الخارجية والداخلية على الترتيب	k
η_d	كفاءة التجفيف	J/w
G_a	شدة الاشعاع الكلي	K
M_c	محتوى الرطوبة	/
m_i	*وزن* المادة قبل التجفيف	Kg
m_f	وزن المادة بعد التجفيف	kg

المقدمة العامة

المقـــدمة العامة:

يعد موضوع استغلال الطاقة بأنواعها من المواضيع ذات الاهتمام البالغ في عصرنا الحالي، بسببها نشبت حروب وأسقطت أنظمة فغزو العراق وإسقاط النظام الليبي خير دليل، فالدول المتزعمة للعالم هي الدول المسيطرة على مصادر الطاقة من خلال نفوذها وشركاتها العملاقة.

فالتطور الصناعي والتكنولوجي الهائل زاد من الاستهلاك العالمي، حيث بلغ الطلب العالمي للطاقة حوالي وهو في ارتفاع مستمر حيث يتوقع ان يصل بين 20 – 25 في سنة 2050 [6].

وبالموازاة مع ذلك، فان المنظمات البيئية تدق ناقوس الخطر بسبب الملوثات الصادرة عن المصانع التي تستعمل الوقود الأحفوري حيث تقدر كمية غاز ثنائي أكسيد الكربون المنبعثة حوالي 6.5Gt سنويا هذا ما أدى الى ظاهرة الإحتباس الحراري والزيادة في معدل متوسط درجة الحرارة على سطح الارض بما يقارب 1.5°C والتي يتوقع ان تصل سنة 2100 إلى 5.8°C، و قد أدى الإحتباس الحراري في ارتفاع مستوى سطح البحر بين 20cm – 1m [1] مما يهدد بغرق العديد من المناطق.

رغم التحديات الخطيرة التي تهدد كوكبنا، تبرز الطاقات المتجددة حلا بديلا آمنا، ومن أهمها الطاقة الشمسية إذ تعتبر جميع الطاقات المتواجدة على الكوكب مصدرها الطاقة الشمسية، وهذا المصدر الطاقوي متواجد في كل العالم ولا ينضب، حيث يقدر متوسط الإشعاع الشمسي اليومي $1300W.m^{-2}$ في حالة السماء الصافية لذلك فان الدول ترصد لها مبالغ طائلة لتطويره [7]

ومن بين استعمالات الطاقة الشمسية هو استغلالها في عملية التجفيف، وهي أحد الطرق المستعملة لحفظ المحاصيل الزراعية، بالرغم من تواجد طرق أخرى للحفظ كالتبريد والمعالجة الوراثية إلا أن تقنية التجفيف الشمسي تبقى الأقل تكلفة، من أكثر أنواع التجفيف شيوعا عبر العالم التجفيف الشمسي التقليدي باعتباره أسهل الطرق في تجفيف المنتجات الزراعية، إلا أنها في الغالب ما تعطي منتج ذو جودة منخفضة، وذلك يعود إلى عدة عوامل أهمها تعرض المحاصيل للغبار والأتربة والحشرات والقوارض والتقلبات الجوية وطول مدة التجفيف ما يجعل الفطريات والبكتيريا تنمو على المنتج خاصة في بداية العملية، ويستمر عمل الانزيمات والتفاعلات المصاحبة التي تؤثر على لون المنتج النهائي وأكسدته .إن اعتماد تسخين الهواء على الطاقة الشمسية التي تزخر بها بلادنا حيث يصل معدل ساعات الاشعاع الشمسي الى 3500 ساعة في المناطق الصحراوية والتي تمثل 86% من مساحة الجزائر[2].

وقد اجريت العديد من التجارب في هذا المجال ومن أبرزها قام عبد الجليل لعويني وآخرون [3] من جامعة الوادي بتجفيف الفلفل الأحمر بواسطة مجفف شمسي مجمعه الشمسي من النوع المقعر أفريل 2018 حيث دامت مدة التجفيف 5 ساعات تحت درجة حرارة 55°C، كذلك قام حاج عمار وآخرون بتصميم ودراسة مجفف شمسي ذو الماص المقلوب وقد استعمل في تجفيف مادة البطاطا ولهذا نتساءل عن كيفية تحسين أداء وكفاءة المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب من حيث جودة المنتج وسرعة التجفيف؟ [5]

وعليه تم تقسيم المذكرة إلى ثلاثة فصول كالتالي:

الفصل الأول: يتم التطرق فيه الى مفهوم التجفيف وأنواع المجففات والسلبيات والإيجابيات لكل نوع وطريقة حفظ الأغذية المجففة وفوائد تجفيف الغذاء.

الفصل الثاني: سنتطرق فيه إلى الظواهر الفيزيائية المصاحبة لعملية التجفيف (الإنتقال الحراري والإنتقال الكتلي) وكذلك كيفية التخلص من المياه في المنتج بالإضافة الى العوامل المؤثرة في سرعة التجفيف ومردودية هذه العملية، والتخزين الحراري، كما تم التطرق الى المجفف ذو الماص المقلوب ومبدأ عمله.

وأخيرا تم تخصيص عمل تجريبي فيه سرد للخطوات ودراسة النتائج وتقدير كفاءة المجفف ذو الماص المقلوب وذلك بمساعدة مواد خازنة للحرارة كالحصى الأسود والكربون، وهذا ما تضمنه التحليل والمناقشة في الفصل الثالث.

قائمة المراجع

[1] اقتصاديات الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية، تقرير من اعداد مركز الدراسات والبحوث بالغرفة الشرقية، المملكة العربية السعودية، ص 04.

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

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

[4] زعبي خديجة، حوامد عفاف، هرمس إكرام، دراسة كفاءة مجفف شمسي في منطقة الجنوب الشرقي بالجزائر- الوادي" مذكرة ماستر جامعة الوادي جوان(2021).

[5] أسعد رحمن الحلفي تصميم وتصنيع واختبار مجفف شمسي شبه مختلط لتجفيف التمر مجلة البصرة لأبحاث نخلة التمر"، كلية الزراعة / جامعة البصرة المجلد 6 ص 20.

[6]Abdeljalil LAOUNI , Boubaker Ben Haoua , Kamel Aoues , Abdelmalek Atia , Realization of a Solae Dryer Assisted by a Parabolic Dish Concentrator.Defect and Diffusion Forum,2021.

[7]Vlachos,N.A.,Karapantsios,TD,Blanktsis,A,I,&Chassapis,D,(2002),Design soler dryer.Drying Technology.20(5).pp1239-1267.

الفصل الأول

عموميات حول المجففات الشمسية

1-المقدمة:

لحفظ الأغذية لمدة طويلة يلجا الإنسان إلى عملية التخلص من الماء في المنتجات الزراعية، لتثبيط عمل الأحياء المجهرية، وهذه العملية تمكن من الحصول على منتج ذو قيمة غذائية جيدة بالإضافة الى خفة وزنه مما يسهل تخزينه في مساحات صغيرة نسبيا [1].

يعتبر التجفيف الشمسي التقليدي من أكثر الطرق استعمالا في معظم دول العالم، وهي طريقة سهلة وغير مكلفة وتتم بنشر المحصول على سطح مستو وتركه ليتعرض لأشعة الشمس والرياح مباشرة، لكن خلال هذه الطريقة يتعرض المحصول للتلوث بالغبار والأتربة والحشرات والقوارض والأمطار [1] هذه العملية تتطلب الوقت وتحتاج إلى مساحة كبيرة لذا تم اللجوء إلى طرق أخرى للتجفيف كالتجفيف الصناعي، وبسبب تكلفته العالية تم اللجوء الى تطوير مجففات تعمل بالطاقة الشمسية وتعتمد هذه المجففات على مبدأ تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية التي تعمل على تبخير الرطوبة من المنتوج المراد تجفيفه، وهذا النوع من المجففات هو الذي سيتم التطرق له في هذا الفصل بالإضافة إلى أنواعه(مباشر، غير مباشر، مختلط، هجين.) وطريقة عملها [2].

2-تعريف التجفيف:

هو عملية خفض نسبة الرطوبة في المادة الغذائية بالقدر الكافي لإيقاف نشاط الكائنات المجهرية كالإنزيمات والمكروبات وكذلك التفاعلات الكيميائية مع الحفاظ على القيمة الغذائية للمنتج من معادن وفيتامينات، فالخضر مثلا تخفض فيها نسبة الرطوبة من 4 – 6% أما الفواكه فتكون النسبة بين 16 – 22% [2] وبذلك يقل وزن المنتج ويصغر حجمه [3].

وللتجفيف نوعان هما:

2-1 -التجفيف الطبيعي:

هو من أقدم الطرق التي استعملها الإنسان في حفظ الأغذية حيث توضع المحاصيل على أرضية مستوية معرضة لأشعة الشمس والرياح حتى تجف، مع مراعاة تقليبها من حين لآخر، وهذه الطريقة مستعملة بكثرة خاصة في المناطق التي تتميز بارتفاع درجة حرارتها وهوائها الجاف كما توضحه الصورة(I-1) [4]

الصورة (I-1): صورة للتجفيف الشمسي الطبيعي [4]

ولهذا النوع من التجفيف العديد من السلبيات نذكر منها [5]:

- تتطلب العملية يد عاملة كثيرة لتقليب المنتج.

- صعوبة التحكم في نسبة الرطوبة النهائية للمادة المجففة.

- تغير لون بعض المحاصيل المجففة بفعل الإنزيمات المؤكسدة.

- تعرض الأغذية التلوث.

- تتطلب هذه العملية مساحات واسعة.

2-1-2إيجابيات التجفيف الطبيعي:

-طريقة سهلة لا تتطلب يد عاملة مؤهلة.

-وسيلة غير مكلفة لأن الطاقة الشمسية مجانية.

-لا تتطلب وسائل باهضة الثمن.

2 -2 التجفيف الصناعي:

في هذا النوع من التجفيف يوضع المنتج على أرضية مثقوبة في المجفف للسماح للهواء الساخن بالمرور عبره[6]، وهذه المجففات تعطي منتوجات بنوعية أفضل من التجفيف التقليدي، توجد العديد من المجففات الصناعية إلا أنها تشترك جميعها في مصدر الحرارة، ومنظم الحرارة، ونظام تدفق الهواء [7]، الصورة (I-2): تمثل مجفف صناعي.

الصورة (I-2): صورة مجفف صناعي [7]

2-2-1 سلبيات المجففات الصناعية:

-تكلفتها العالية بسبب اعتمادها في تسخين الهواء على الطاقة الكهربائية.

-بعد بعض المناطق الريفية على الشبكات الكهربائية خاصة في المناطق النامية.

-تصلب الطبقة الخارجية لبعض المنتجات يعيق عملية التجفيف مما يقلل من نوعية المنتج.

2-2-2 إيجابيات المجففات الصناعية:

-عملية التجفيف تكون على مدار اليوم لإستقلالها عن التقلبات الجوية.

-حماية المنتج من الملوثات والتقلبات المناخية.

-التحكم في عملية التجفيف.

-قصر مدة التجفيف.

2-2-3 بعض أنواع المجففات الصناعية:

وهي كثيرة نذكر منها مجففات الأنفاق، مجففات الرذاذ، المجففات الأسطوانية، مجففات الضغط المنخفض.

3-المجففات الشمسية:

هذه المجففات تعتمد في تسخين هواء التجفيف على الطاقة الشمسية، حيث تصنف حسب طريقة تسخين الهواء إلى[8]:

3-1 المجففات الشمسية المباشرة:

تجهيزه بسيط مكون من غرفة واحدة تلعب دور مجمع شمسي وغرفة تجفيف في آن واحد، تغطى من الأعلى بصفيحة من الزجاج الشفاف وأرضيتها تكون صفيحة معدنية مطلية بالأسود كما هو موضح في الصورة (I-3):

الصورة (I-3): صورة مجفف شمسي مباشر [8]

3-1-1 إيجابيات المجففات الشمسية المباشرة:

لهذا النوع من المجففات العديد من المزايا نذكر منها:

- سرعة عملية التجفيف مقارنة بالتجفيف الطبيعي.

-تركيبها بسيط وغير مكلف.

-تقنيتها سهلة في متناول الجميع.

- الطاقة في التجفيف مجانية.

2-1-3 سلبيات المجففات الشمسية المباشرة:

-إنخفاض جودة المنتج المجفف وتغير لونه.

- الحرارة العالية داخل المجفف تؤدي إلى فقدان بعض الفيتامينات منها الفيتامين BوC.

2-3. المجففات الشمسية غير المباشرة:

هذا النوع من المجففات يتكون من جزئين، مجمع شمسي هو حجرة مغطاة بصفيحة زجاجية شفافة وأرضيتها صفيحة معدنية سوداء، فهو يزود غرفة التجفيف بالهواء الساخن اللازم لعملية التجفيف والصورة(I-4) تبين ذلك[9]:

الصورة (I-4): صورة مجفف شمسي غير مباشر [9]

1-2-3 السلبيات:

- تركيبه مكلف.

- عملية التجفيف مرهونة بعوامل الطقس.

- ضعف مقاومة الزجاج يفرض تبديله باستمرار.

2-2-3 الإيجابيات:

- عدم التعرض المباشر لأشعة الشمس يحافظ على اللون والقيمة الغذائية للمنتج.

- لا يحتاج إلى مصدر آخر للطاقة.

3-3 المجففات الشمسية الهجينة:

في هذا النوع من المجففات يستعمل فيه مصدر آخر للطاقة (ثانوي) إضافة إلى المصدر الرئيسي للطاقة وهو الشمس، ويتمثل دور مصدر الطاقة الثانوي في المحافظة على ثبات درجة الحرارة داخل المجفف عند التقلبات الجوية، كما تغذي المراوح التي تدير هواء التجفيف، وهذا النوع من المجففات له ايجابيات وسلبيات نذكر منها:

1-3-3 السلبيات:

- تكلفته باهضة مقارنة بالمجففات الشمسية الأخرى.

- ضرورة قربه من مناطق ربط الطاقة الأخرى كشبكات نقل الكهرباء.

- تسييره يتطلب يد عاملة مؤهلة [10].

2-3-3 الإيجابيات:

- التحكم الجيد في درجة الحرارة وسرعة التجفيف.

- مردود جيد لأن عملية التجفيف تستمر ليلا ونهارا.

- أقل إستهلاكا للطاقة مقارنة بالمجففات الصناعية.

4-3 المجففات الشمسية المختلطة:

هذا النوع يجمع في طريقة عمله بين المجفف الشمسي المباشر والغير المباشر، حيث يتم تسخين الهواء بواسطة مجمع شمسي كما في المجففات الشمسية غير المباشرة، أما غرفة التجفيف فتغطى بصفيحة زجاجية شفافة مثل ما هو موجود في المجففات الشمسية المباشرة، لذلك فانه يمتلك نفس إيجابيات وسلبيات المجففات المباشرة والغير مباشرة والصورة (I-5) توضح هذا النوع من المجففات[8]:

الصورة (I-5): صورة لمجفف شمسي مختلط [8]

4-المجففات حسب طريقة تدفق الهواء:

تصنف المجففات الشمسية حسب طريقة تدفق الهواء إلى نوعين:

4-1 مجففات الحمل الطبيعي:

تعتمد حركة الهواء فيها على تغير كثافة الهواء، فعندما يسخن الهواء يتمدد وتقل كثافته، فيتحرك صعودا نحو الأعلى فيخلق فراغ يؤدي إلى نشوء قوة جاذبة تسحب الهواء من الخارج، وبذلك تتم عملية تدوير الهواء، حيث الهواء الساخن يرفع حرارة المنتج المراد تجفيفه فيفقد رطوبته التي تنتقل الى هواء التجفيف، ويتم التخلص منه عبر المدخنة كما توضحه الصورة (I-6)[10] :

الصورة (I-6): صورة مجفف شمسي يعمل بالحمل الطبيعي [10]

4-2 مجففات الحمل القسري:

في هذا النوع من المجففات يعتمد سحب وتدوير الهواء على منظومة من المراوح مختارة بعناية ومناسبة لكمية هواء التجفيف والسرعة المطلوبة[10]، وهذا يساعد على التحكم في عملية التجفيف عن طريق ضبط سرعة وإستمرارية تدفق الهواء، مع ذلك فإنه لا يخلوا من العيوب فهو ذو تكلفة باهضة مقارنة بمردوديته الإنتاجية كما أنه يتطلب مصدر إضافي للطاقة لتغذية المراوح.

الصورة (I-7): صورة لمجفف شمسي يعمل بالحمل القسري [10]

5-طريقة حفظ الاغذية المجففة:

يمكن حفظ الأغذية المجففة في مكان تجفيفها إلى حين طلب المنتج للتصنيع، وفي هذه الفترة يجب العناية بها جيدا للحفاظ على جودتها وفق الخطوات التالية [7]:

- التبخير:

في فترة التخزين يجب تبخير الأغذية مرات متتالية للقضاء على الإصابات الحشرية ويستخدم في ذلك على سبيل المثال بروميد الميثيل (CH_3Br) في صناعة الفواكه المجففة كما توجد مواد أخرى تستعمل لذات الغرض.

وتتم العملية مرة في الشهر أو أكثر وذلك مرتبط بدرجة حرارة التخزين.

- الإستلام:

تؤخذ المنتوجات المجففة إلى التصنيع أين يتم معاينتها لتحديد جودتها ونسبة الرطوبة فيها.

- التخزين بعد التصنيع:

قد يحدث وأن تخزن الأغذية لفترات طويلة ولتجنب التلف والتعفن يعمد إلى خفض درجة حرارة التخزين.

6-الشروط اللازمة للحصول على أعلى قيمة غذائية للمنتج:

للحصول على منتج ذو قيمة غذائية جيدة يجب توفر بعض الشروط نذكر منها [05]:

- تجنب التبييض المفرط.

- يجب أن يتم التجفيف في أقصر مدة ممكنة دون زيادة درجة الحرارة عن الحد المسموح.

- تجنب تكديس الأغذية داخل المجفف.

- يجب نثر المنتج المراد تجفيفه حتى تكون مكوناته متباعدة.

- المحافظة على تدفق جيد للهواء أثناء التجفيف.

-أن تجرى عملية التجفيف عندما تكون الرطوبة في الهواء منخفضة.

- فحص الغذاء جيدا قبل إيقاف عملية التجفيف للتأكد من أنه قد جف تماما.

- تخزين الأغذية المجففة في علب عازلة للرطوبة والأكسجين.

- يخزن الغذاء في مكان بارد جاف ومظلم.

7-فوائد تجفيف الأغذية:

- تقليص تكلفة التخزين والتعبئة والنقل لأن التجفيف يخفض من حجم وكتلة المواد المجففة لفقدها لمعظم رطوبتها.

- عملية التجفيف الشمسي أقل تكلفة من الطرق الأخرى في حفظ الغذاء كعملية التعليب أو التجميد، كما أنها لا تحتاج إلى إضافة مواد حافظة [2].

- سهولة تخزين المواد المجففة، وهي لا تتطلب مساحات كبيرة مقارنة بالأغذية المعلبة.

- إستهلاك أغذية في غير موسمها بأسعار معقولة.

- الحفاظ على فائض المحاصيل من التلف في ظل نقص غرف التبريد مما يزيد في دخل الفلاحين.

8-الخاتمة:

تم التطرق في هذا الفصل إلى أهم المفاهيم الخاصة بالمجففات الشمسية، مع تحديد أهم أنواعها بالإضافة إلى إيجابيات وسلبيات كل منها، ومبدأ عملها والفروق فيما بينها.

كما تم التطرق الى طرق حفظ الاغذية والشروط اللازمة للحصول على اعلى قيمة غذائية للمنتج والفائدة من تجفيف الاغذية.

قائمة المراجع

[1] أ.نبيل شهد، المعهد العالي للمهن الشاملة للاستاذ نبيل شهد – تخصص الطاقة والحياة – صيف يوليو(2011).

[2] اسعد رحمن سعيد الحلفي "هندسة الأغذية بالطاقة الشمسية"مكتبة الزهراء للطباعة-البصرة، العراق(2010).

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

[4]محمد احمد السيد خليل، علوم البيئة والحفاظ عليها، دار الثقافة للنشر، القاهرة، جهورية مصر العربية (2006).

[5]ايمن مزهارة، صحة الانسان وسلامة الغذاء، دار اليازوري للنشر والتوزيع. عمان، الاردن(2019)، ص84.

[6]د.اسعد رحمان سعيد الحلفي، التجفيف، قسم علوم الاغذية-كلية الزراعة-جامعة البصرة-المحاضرة الثانية.

[7]م.حمد الفارس، الطاقة الشمسية، مجلة العلوم التقنية،الجزء الاول،العدد34، ISSN 1017 3056 ربيع الآخر 1416هـ.

[8]بوحنية سماح،يمبعي هالة، دراسة تجريبية لكفاءة المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب تحت شروط طقس مدينة الوادي، مذكرة ماستر جامعة الوادي جوان(2022).

[9]J.A,Duffie and W.A.Beckman"Soler engineering of thermal,Vol.3, Wiley. New York. 1980

[10]R.Tomme,T.Bouer,and E.Hah ne"Heat storage media"in Ull man s Emeyelope olia of Industrial chemistry,2000

الفصل الثاني

ظواهر التجفيف ومبدأ عمل المجفف ذو الماص المقلوب

1-مقدمة:

التجفيف من الطرق المهمة في حفظ الأغذية لما له من مزايا كتقليل وزن الأغذية وحجمها وسهولة تخزينها في مساحات صغيرة مقارنة بالطرق الأخرى كالتعليب ويعتمد مبدأ عملها على حفظ نسبة الرطوبة في المنتج المراد تجفيفه[1].

في هذا الفصل سنتطرق الى الظواهر الفيزيائية المصاحبة لعملية التجفيف والتخزين الحراري ومبدأ عمل المجفف ذو الماص المقلوب بالإضافة الى العوامل المؤثرة في سرعة التجفيف ومردودية هذه العملية.

2-التخزين الحراري:

تخزين الطاقة الحرارية يعتمد بشكل أساسي على الحرارة الناتجة عن الشمس، كما يتعلق أيضا بالحرارة الناتجة عن بعض الصناعات (الصناعة المعدنية – محطة وقود – محطة حرق...) [2].

تقنية التخزين الحراري يمكن تصنيفها إلى فئات مختلفة وفقا للمعيار المختار، إذا كان المعيار المختار هو الحالة الفيزيائية لمواد التخزين تبرز هناك ثلاثة أنواع رئيسية هي[3]:

- تخزين الحرارة الحساسة.
- تخزين الحرارة الكامنة.
- تخزين الحرارة الكيميائية.

2-1 تخزين الطاقة الحرارية بالحرارة الحساسة:

في هذه الحالة يتم تخزين الحرارة بشكل زيادة درجة حرارة المواد، كمية الطاقة المخزنة تتناسب طرديا مع حجم المادة المخزنة، إن إرتفاع درجة الحرارة (القدرة الحرارية للمواد المخزنة) يسمح للمواد بتخزين الطاقة في. مجموعة من درجات الحرارة باستثناء تغير الحالة، تعطي كمية الطاقة الحرارية المخزنة أو المستردة من المواد المخزنة بالعلاقة [4]:

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} m\, C_p\, dT \qquad (1)$$

Q: كمية الحرارة المخزنة (J)

C_p : الحرارة النوعية الخاصة بمادة التخزين (J/Kg.K)

m: كتلة مادة التخزين (kg)

T_f: درجة الحرارة النهائية (K)

T_i: درجة الحرارة الإبتدائية (K)

dT: التغير في درجة الحرارة (K)

2-1-1 تخزين الحرارة الحساسة في المواد الصلبة:

تخزن الحرارة في المواد الصلبة ويمكن إستعمالها في تطبيقات عالية أو منخفضة الحرارة دون وجود مشكل الضغط المطروح في حالة الماء، كما أن مشكل التآكل غير مطروح أيضا[5].

يوجد تنوع كبير في المواد الصلبة المستعملة في التخزين فمثلا مادة الحديد الزهري (cast iron) هي المادة الأكثر ملائمة نظرا لكثافة تخزينها إذ تفوق الماء مع ذلك فهي مكلفة مقارنة بمواد أخرى (الحجر، الرمل، الطوب. ..).

بالنسبة لتطبيقات الطاقة الشمسية نجد أنها الأكثر استعمالا، فالحصى نستطيع استعماله في درجة حرارة تفوق ^{o}C 1000°C.

2-2 تخزين الطاقة الحرارية بالحرارة الكامنة:

خلال مرحلة تغير الحالة (صلب/سائل – سائل/صلب) الطاقة الحرارية تخزن بشكل متساوي اعتمادا على الحرارة الكامنة كمية الحرارة المخزنة في مواد تغير الحالة هي مجموع الطاقة الحرارية الحساسة والطاقة الحرارية بالحرارة الكامنة وفق العلاقة[6]

$$Q = \int_{T_{froit}}^{T_{fusion}} m\, C_{ps} dT + m\Delta L + \int_{T_{fusion}}^{T_{chaud}} m\, C_{pv} dT \qquad (2)$$

Q: كمية الحرارة المخزنة (J)

M: كتلة مواد التخزين (kg)

$C_{pl} - C_{ps}$: هما السعة الحرارية للمواد الصلبة والسائلة على التوالي $(J.\ kg^{-1}.K^{-1})$

ΔL: انتالبي متناهية الصغر لتغير الحالة $(J.\ K^{-1})$

dT: الاختلاف متناهي الصغر لدرجة الحرارة اثناء خطوات الشحن (K)

استخدام تخزين الحرارة الكامنة يقلل من أحجام التخزين بعكس التخزين بالحرارة الحساسة، تحت درجة حرارة العمل متساوية في الشحن والتفريغ.

إن تقنية التخزين الحراري تبقى معقدة لأنه يصعب تحديد العمر الإفتراضي لمواد التخزين التي قد تتحلل بعد عدة دورات وتصعب تحسينها [7].

2-2-1 الحرارة الكامنة للانصهار:

هي عبارة عن كمية الحرارة اللازمة لتحويل كتلة واحدة من المادة من الحالة الصلبة الى السائلة أو العكس ويرمز لها بL_f وتقدر بالنسبة للثلج ب $3{,}35.10^5$ J/kg ويعبر عن الطاقة الحرارية بالعلاقة التالية[8]:

$$\Delta Q = m\,.\,L_f \qquad (3)$$

وهي تشير إلى أن الطاقة المقدمة للمادة تعمل على تغيير حالتها وليس في درجة الحرارة نفسها.

2-2-2 الحرارة الكامنة للتبخير:

تمثل الحرارة اللازمة لتغيير كتلة واحدة من الحالة السائلة الى الغازية او العكس ورمزها هو L_v وتقدر بالنسبة للماء ب $2{,}26 \cdot 10^6$ J/kg ويعبر عنها في هذه الحالة بالعلاقة:

$$\Delta Q = m \cdot L_f \qquad (4)$$

يعد تخزين الحرارةالكامنة أكثر الطرق كفاءة لاستعادة الطاقة المخزنة برجوع المادة للحالة الأولية[9]

2-3 التخزين الكيميائي:

يمكن استخدام بعض التفاعلات العكوسة كحل لتخزين الطاقة الحرارية ونستطيع وصفها من خلال العلاقتان التاليتان:

تفاعل ماص للحرارة $AB + Q_1 \rightarrow A + B$

تفاعل ناشر للحرارة $A + B \rightarrow AB + Q_2$

بالنسبة لهذا النوع من التخزين يجب ان يكون التفاعل عكوسا تماما، بحيث لا تفقد المواد قدرتها خلال الدورات[10]

خلال الشحن مصدر الطاقة هو الشمس في حالة تطبيقات الطاقة الشمسية يصبح تفاعل ماص للحرارة وينتج (A , B) تكونا منفصلين ومخزنين، ولاستعادة الطاقة الحرارية يتم توصيل المواد المخزنة في نهاية التفاعل العكوس الناشر للحرارة يعبر عن الطاقة المخزنة بالعلاقة التالية:

$$E = \sum_i^N \int_{T_i}^{T_f} m_i C_{pi} dT + \Delta H_r . n_r \qquad (5)$$

E :الطاقة المخزنة (J)

n_r :عدد مولات المنتج (mol)

ΔH_r :ابتالبي التفاعل (J⁄mol)

المثال التالي يوضح ذلك[16]

$$Ca(OH)_2\,(s) \xrightarrow{+936kJ} CaO\,(s) + H_2O$$

510 °C °C 510 °C °C 510 °C°C

+540 kJ -23,5kJ -61,5kJ

$$Ca(OH)_2(s) + CaO(s) \xleftarrow{-63{,}6kJ} H_2O\,(l)$$

(الشكل II-1): مخطط تفاعل تحلل وتشكل $Ca(OH)_2$

3-الظواهر الفيزيائية المصاحبة لعملية التجفيف:

خلال عملية التجفيف تحدث ظاهرتان فيزيائيتان متداخلتان هما الإنتقال الحراري (الطاقوي) والإنتقال الكتلي.

3-1 الانتقال الحراري:

تنتقل الحرارة من هواء التجفيف الى المنتج عند إرتفاع الحرارة في غرفة التجفيف، ويتم هذا الإنتقال بأنواعه الثلاثة:

(التوصيل – الحمل - الإشعاع) وتستعمل فرادى أو في توليفة [2].

3-1-1 التجفيف بالتوصيل الحراري:

في هذا النوع من التجفيف تتم العملية عن طريق اتصال المنتج الذي سيتم تجفيفه بسطح ساخن (جدار)، وللتخلص من البخار الناتج عن التجفيف يرسل تيار هوائي بمعدل منخفض، تعطى علاقة التدفق الحراري عن طريق التوصيل بالعلاقة:

$$Q = -\lambda . S \frac{dT}{dx} \qquad (1-1)$$

Q: تدفق الحرارة بالتوصيل (W)

S: سطح التبادل الحراري بالتوصيل(m^2)

λ: الموصلية الحرارية للمنتج (W/m.K)

$\frac{dT}{dx}$: التدرج في درجة الحرارة بين الجدار الساخن والمنتج (K / m)

3-1-2 التجفيف بالحمل الحراري:

في هذا النوع من التجفيف يتم نقل الحرارة عن طريق الإتصال بين الهواء المتدفق والمنتج المراد تجفيفه [11].

تعطى علاقة التدفق الحراري بالحمل بالعلاقة:

$$Q= h.s(T_a - T_s) \qquad (2-1)$$

Q: كمية الحرارة المحمولة بالحمل الحراري (W)

S: سطح التبادل الحراري بالحمل (m^2)

h: معامل التجفيف بالحمل ($W /m^2.k$)

$(T_a - T_s)$: الفرق بين درجة حرارة هواء التجفيف ودرجة حرارة سطح المنتج المراد تجفيفه (k) ونستطيع أن نميز نوعين من الحمل الحراري هما: الحمل الطبيعي والحمل القسري.

3-1-2 التجفيف بالإشعاع الحراري:

يتم تجفيف المنتجات بواسطة الطاقة المصاحبة للأمواج الكهرومغناطيسية أو عن طريق الحرارة المنبعثة من الأشعة تحت الحمراء، وهذه الطريقة فعالة للمنتوجات المصفحة أو ذات الألياف أو الحبيبية ذات السمك المنخفض [12]

كمية الحرارة المنتقلة الى المنتج في هذا النوع من النقل الحراري تعطى بالعلاقة:

$$Q = A_1 . C \left[\frac{T_1}{100} - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \quad .(3\text{-}1)$$

$$C = \frac{1}{\frac{1}{s_1}+\frac{A_1}{A_2}\left(\frac{1}{s_1}-1\right)} \quad (3\text{-}1)$$

T_1 :درجة حرارة مصدر الانبعاث (K)

T_2:درجة حرارة المنتج (K)

A_1 :مساحة الجسم المستقبل للاشعاع (m^2)

A_2 :مساحة مرسل الاشعة تحت الحمراء (m^2)

S_1 : الانبعاثية للمنتج (W/m^2)

S_2 :الانبعاثية للمصدر (W/m^2)

4-الانتقال الكتلي:

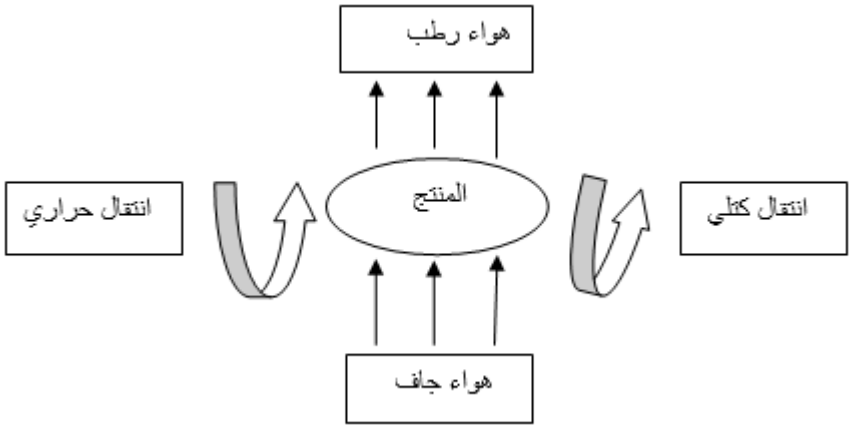
ظاهرة نقل الكتلة متمثلة في نقل أحد مكونات المحلول من منطقة إلى أخرى معتمدة على الإختلاف في التركيز (من منطقة ذات تركيز عالي إلى منطقة ذات تركيز منخفض)، يمكن فهم ذلك بمقارنتها مع الإنتقال الحراري حيث تنتقل الحرارة في اتجاه تدرجها وتنتقل الكتلة في اتجاه التركيز في نفس الوقت [13]،يمكن أن نميز نمطين للإنتقال الكتلي:

4-1 الإنتقال الكتلي عن طريق الانتشار الجزيئي:

يحدث الإنتشار الجزيئي مع وجود فرق في التركيز بين كل نقطة وأخرى في المحلول ويحصل التشرد العشوائي لتوحيد التركيز في الوسط هذه الطريقة مشابهة للإنتقال الحراري بالتوصيل [4]، وهذه العملية تتم في مائع بحركة منتظمة أي جريان رقائقي [4].

4-2 الإنتقال الكتلي الحملي:

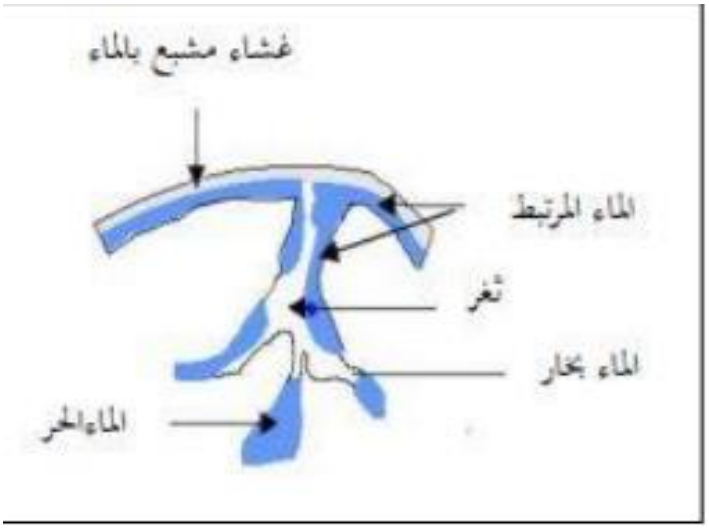
وفيه تنتقل الكتلة مباشرة للمائع المذاب، والحمل هو شكل من أشكال الإنتقال السريع بالمقارنة مع الإنتشار الجزيئي، وعند ترك المائع المذاب يتحرك لوحده أو بفعل التيار الكتلي الناتج عن زيادة ذوبان المادة ويسمى هذا النوع بالحمل الكتلي الطبيعي (الحر) وإذا أثرنا على المائع بفعل ميكانيكي (مروحة) يسمى الحمل الكتلي القسري [5].



(الشكل II-2): رسم تخطيطي لانتقال الحرارة والكتلة أثناء عملية التجفيف

5-كيفية التخلص من الماء في المنتج المراد تجفيفه:

إن المنتجات الزراعية مسامية، فالماء يتوزع فيها كما يوضحه الشكل (II-**3**):



(الشكل II-3): توزع الماء في المنتجات الزراعية

ويمكن إزالته على النحو التالي:

- الماء الحر: هي المياه التي تكون على السطح (القشرة) التي يمكن تبخيرها بتعريض المادة لأي حرارة مباشرة كأشعة الشمس، وهذا النوع من المياه يفقد بسهولة.

- الماء المرتبط: هذه المياه متحركة تنفذ من خلال الأغشية الخلوية حسب تدرج التركيز (من التركيز العالي الى التركيز المنخفض) حيث يمكن للتجفيف السيطرة عليها والتخلص منها [7].

-الماء المتحد: هذه المياه لا يمكن السيطرة عليها لأنها من أصل تركيب الثمرة ونسبتها بسيطة ولا تحتاج الى إزاحة لأن ذلك يغير من تركيب الثمرة.

6-العوامل المؤثرة في سرعة التجفيف:

- سرعة الهواء: تزداد سرعة التجفيف بازدياد سرعة مرور الهواء داخل المجفف إذ أنه يزيد من درجة حرارة المنتج مما يسرع وتيرة تبخير المياه [6].

- الرطوبة النسبية للهواء: إن إنخفاض الرطوبة النسبية للهواء تزيد من سرعة عملية التجفيف، مع مراعاة الحد الأدنى في ذلك، لأن بعض المنتجات قد تتعرض الى ما يعرف بالجفاف السطحي عندما تكون نسبة الرطوبة منخفضة جدا[2].

- درجة حرارة الهواء: درجة حرارة الهواء المستعمل في التجفيف تتراوح بين 50°C - 80°C، ويلاحظ أنه كلما زادت درجة حرارة هواء التجفيف انخفضت حرارته بشكل أسرع عند الخروج من المجفف.

- نوع المادة المراد تجفيفها: حيث ان لكل مادة خصائص يجب مراعاتها اثناء العملية.

- شكل وحجم وسمك القطع المجهزة: حيث أنه كلما صغر حجم القطع وقل سمكها جفت بشكل أسرع.

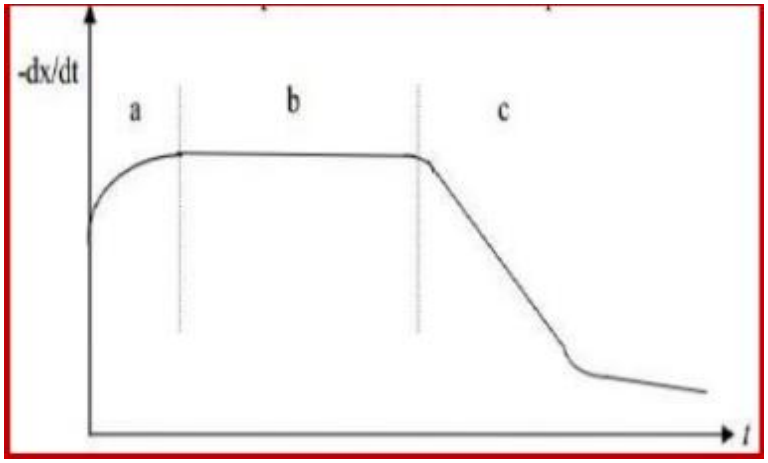
- حمولة الصواني: إن زيادة حمولة الصواني يزيد من مدة التجفيف لأنه يقلل حركة الهواء بين القطع.

- الضغط: إن إجراء التجفيف تحت ضغط منخفض يقلل تبخر الماء مما يبطئ التجفيف.

7-حركية التجفيف (فترة التجفيف):

تمثل تطور سرعة التجفيف كدالة للزمن، ويتم دراستها من خلال منحنيات تدرس سرعة التجفيف كدالة للزمن [9].

حيث يتم تبخير الماء من منتج ما بإخضاع طبقة رقيقة منه الى تيار هوائي ذو درجة حرارة ثابتة ثم ندرس كتلة المنتج كدالة للزمن [3]، هذه المنحنيات تميز السلوك العام للمنتجات اثناء التجفيف [14].



(الشكل II-4): مخطط لحركية التجفيف

المنحنى أعلاه يمثل حركية التجفيف بدلالة الزمن [11] ومن خلاله يمكن تمييز ثلاث مراحل رئيسية هي:

1- المرحلة الأولى: مرحلة الاحماء (المنطقة a)

عند تعريض المنتج لهواء التجفيف الساخن يحدث تبادل للحرارة والكتلة بين الهواء والمنتج وهذا يحدث عندما تكون الحرارة كافية للتبخير، فحرارة هواء التجفيف تؤدي الى زيادة حرارة المنتج حتى تصل الى درجة حرارة وسط التجفيف وعادة ما تكون هذه الفترة قصيرة مقارنة بالوقت الكلي للتجفيف [11].

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

تتميز بثبات سرعة التجفيف، يحدث انتقال الرطوبة إلى السطح في حالة سائلة بسبب القوة الشعرية حيث يحدث توازن بين الإنتشار الغشائي وآلية انتقال الرطوبة الداخلية إلى السطح، وتبقى درجة الحرارة ثابتة في أنحاء المادة لأن التدفق الحراري استعمل في تبخر الماء الى السطح [11].

3- المرحلة الثالثة: مرحلة التباطؤ (المرحلة c)

خلالها لم يعد سطح المنتج مشبع ببخار الماء، ويتم التحكم في انتقال الكتلة من خلال آلية معقدة لحركة الماء من الداخل الى السطح، هذه الفترة تمثل معظم فترة التجفيف، ويعود تباطؤ سرعة التجفيف الى ما يلي:

اختفاء الماء الحر من سطح المنتج – سمك المنتج – إنتشار الماء داخل المنتج – القوة الميكانيكية لجدران الخلايا – التقشير.

8-وصف المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب:

بعد هذا الشرح النظري، سنتحدث عن المجفف المستعمل في التجارب وأهم مكوناته مع الإشارة إلى التحسينات المضافة للتقليل من فترة التجفيف والخفض من الضياع في الطاقة، والصورة التالية توضح الجهاز وأهم مكوناته[5]:

(الشكل II-5): صورة للمجفف الشمسي ذو الماص المقلوب

1-8 عناصر المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب:

الرقم	الاسم	الصورة	مميزاته
1	مجمع شمسي		أبعاد الصفيحة الزجاجية 35سم× 75سم يميل بزاوية 30° صفيحة معدنية مقوسة مغلفة بورق الألمنيوم صفيحتان جانبيتان مغلفتان بورق الألمنيوم
2	غرفة التجفيف		المكان المخصص لتجفيف المنتجات وحمايتها من العوامل الخارجية وهو أسطوانة قطرها 5, 44 سم بها نافذة أبعادها 11,5سم×6سم تسهل إخراج العينة أثناء إجراء القياسات وبها ثقوب في قاعدتها لدخول هواء التجفيف وأشعة الشمس المنعكسة
3	غطاء الغرفة		يسمح بالتخلص من الهواء المشبع بالرطوبة عبر المدخنة قطره 47سم المدخنة قطرها 7,5سم وارتفاعها 18سم معزول بمادة البولسترين
4	حامل التحكم في ميل الزاوية		ييسر التحكم وتدوير الأجهزة الموضوعة عليه للحصول على أنسب وضعية تمكن من اكتساب أعلى قيمة للإشعاع الشمسي
5	درج مشبك		يوضع فيه المنتج المراد تجفيفه قطره 42سم

6	شبكة		توضع عليها المواد الخازنة للحرارة (قشور البيض – الحصى الأسود - الفحم النشط - الشمع)

2-8 مبدأ عمل المجفف ذو الماص المقلوب:

يعمل المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب بإدخال وجمع الهواء الساخن بواسطة شدة الإشعاع ونقله إلى المادة المراد تجفيفها والمتواجدة على مستوى الغرفة، تعمل المروحة التي تغذى بالطاقة الشمسية على إدخال الهواء بسرعة ثابتة إلى المجمع (لاقط شمسي) أين يسخن بالحرارة الناتجة عن طريق تحويل أشعة الشمس إلى حرارة، فالهواء الساخن يتمدد وتقل كثافته فيصعد نحو غرفة التجفيف، أين يتبادل الحرارة مع المنتج المراد تجفيفه، فتتبخر الرطوبة من المنتج وتنتقل إلى الهواء وعندما يتشبع بالرطوبة يتم طرده عبر المدخنة[8].

9-المواد المخزنة للحرارة المستعملة في هذه الدراسة:

اسم المادة	صورتها	دورها
الكربون النشط		أثبتت التجارب أن إضافة الكربون النشط يزيد من التقاط الإشعاع الشمسي مضاعفة فترة تخزين الطاقة[2] لذلك قمنا بإضافته للجهاز المحسن
الحصى الأسود		إن إضافة الحصى الأسود إلى غرفة التجفيف يساهم في التقليل من فترة التجفيف لأن الأجسام السوداء تتميز بقدرتها العالية على امتصاص الطاقة وانبعاثها
قشور البيض		يعتبر قشر البيض المطلي بالأسود من المواد الحافظة للحرارة لطبيعته الكلسية بالإضافة لمساميته.

الشمع		يعتبر الشمع من مواد تغير الطور (الحالة) فعند امتصاصه للحرارة يتغير من الصلب الى السائل فيخزن الطاقة التي امتصها وعند رجوعه إلى حالته الأولى (صلب) يحرر نفس الطاقة التي امتصها

10-الاجهزة المستعملة في القياس:

اسم الجهاز	صورته	وظيفته
جهاز قياس الإشعاع الشمسي (بيرانومتر)		يقيس هذا الجهاز الإشعاع الشمسي المباشر
جهاز قياس درجة الحرارة		يقيس درجة الحرارة في المكان الذي يوضع فيه المستشعر
جهاز قياس سرعة الرياح		قياس سرعة الرياح
ميزان إلكتروني حساس		قياس كتلة العينة
البطارية		تخزين الطاقة الكهربائية الفائضة المولدة من طرف اللوح الشمسي

لوحان شمسيان		تحويل الأشعة الشمسية الى طاقة كهربائية لتغذية المراوح
المروحتان		هما مروحتان مثبتتان في إطار دائري تعملان بتيار كهربائي مستمر DC إحداهما تعمل تحت جهد 12 فولط والأخرى بجهد للحصول على حمل قسري لمعرفة مدى تأثير سرعة هواء التجفيف على عملية التجفيف

11-المعاملات الأساسية لتقييم أداء المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب:

هناك عدة مقادير لتحديد كفاءة المجفف الشمسي، ومن بينها: الطاقة المكتسبة، الفعالية (الكلية، الداخلية)، مقياس الفعالية [15].

1- تحليل الطاقة :

- الطاقة المفيدة أثناء عملية التجفيف هي الطاقة المكتسبة (E_G) في نظام التجفيف الشمسي، ويمكن حسابها باستخدام التعبير التالي:

$$E_G = V_a \rho_a Cp_a (T_{Out} - T_{In})$$

حيث:

V_a : سرعة تدفق الهواء داخل المجفف (m/s).

ρ_a : الكتلة الحجمية للهواء داخل المجفف (kg/m^3).

Cp : السعة الحرارية للهواء داخل المجفف (j/kg.k) .

T_{In} : درجة الداخل الغرفة (k) .

T_{Out} : درجة الحرارة خارج الغرفة (k).

• يتم تعريف كفاءة التجفيف (η_d) في المجفف الشمسي بشكل عام على أنها نسبة الطاقة المكتسبة لتبخير الرطوبة في أي فترة زمنية إلى الطاقة المقدمة إلى المجفف. يمكن حسابه لتدفق الهواء القسري من الصيغة الرياضية التالية:

$$\eta_d = \frac{E_G}{G_A + P_{fw}}$$

حيث:

G_A : متوسط تدفق الاشعاع الشمسي

P_{fw} : استطاعة المروحة المغذية للمجفف

• يتم إعطاء محتوى الرطوبة في البطاطس (M_C) بشكل عام على أساس وزن الماء والمواد الجافة الموجودة في البطاطس. يمكن حسابها على أساس النسبة المئوية باستخدام المعادلة. (10).

$$M_C = \frac{m_i - m_f}{m_f}$$

حيث:

m_i : الكتلة الابتدائية للعينة

m_f: الكتلة النهائية للعينة

11-خاتمة الفصل:

في هذا الفصل تم التعرف على التخزين الحراري وأنواعه وأهم العلاقات الرياضية التي تحكمه، كما تطرقنا إلى عملية التجفيف والطرق المستعملة في ذلك والظواهر الفيزيائية المصاحبة لعمية التجفيف وذكر المواد الحافظة للحرارة المستعملة لتحسين مردود جهاز المستخدم في البروتوكول التجريبي[1].

قائمة المراجع

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

[2] م.حمد الفارس، الطاقة الشمسية، مجلة العلوم التقنية، الجزء الاول، العدد34 ،3056 1017 ISSN ربيع اخر1416 ه / سبتمبر 1995 م.

[3] شمسية نموذجا، جامعة ريان عاشور الجلفة، مجلة الحقوق والعلوم الانسانية، العدد الاقتصادي 35، ص55-56.

[4] منصر. ل – العبيد. س، توزيع درجة الحرارة في المجفف الشمسي ماستر أكاديمي، جامعة حمه لخضر الوادي-الجزائر صفحة 20 سنة 2018م.

[9] محمد احمد السيد خليل، علوم البيئة والحفاظ عليها، دار الثقافة للنشر، القاهرة، جمهورية مصر العربية(2006) ص175.

[11] عاتي مختار، المساهمة في تحسين مجفف شمسي للمحاصيل الزراعية، مذكرة ماجيستير، جامعة قصدي مرباح، ورقلة(2011) ص16-36.

[12] يوسف جواد، صفاء عبد الغني "جريان موائع " ديبلوم فني تشغيل وسيطرة، معاهد التدريب النفطي.

[14] بن عمارة نصر الدين. هندسة الاغذية بالطاقة الشمسية ودورها في التنمية الزراعية المستدامة في الجزائز. مجففات

[5] Tchnique de lingènieur-gènie des prrocedès sechage-Thèorique et calcul.

[6]Scarlin,D(1997).Design.construction and use of an indirect-through-pass,soler technology 20(5)-pp1239-1267.

[7]Use energy.Aut hority.2008 Copy Reserved 05 April 2014 on the site of wi.pak Machin.

[8]A.Bondil,J.Hrabovsky Isolation thermique.tome.edition Eyrolles cite par N.Chalal.

[10]Chareau A. Cavaille R(1991)sèchage theorie et pratique Technique de lingènieur.genie des Procèdès,2480-1 :2480-23.

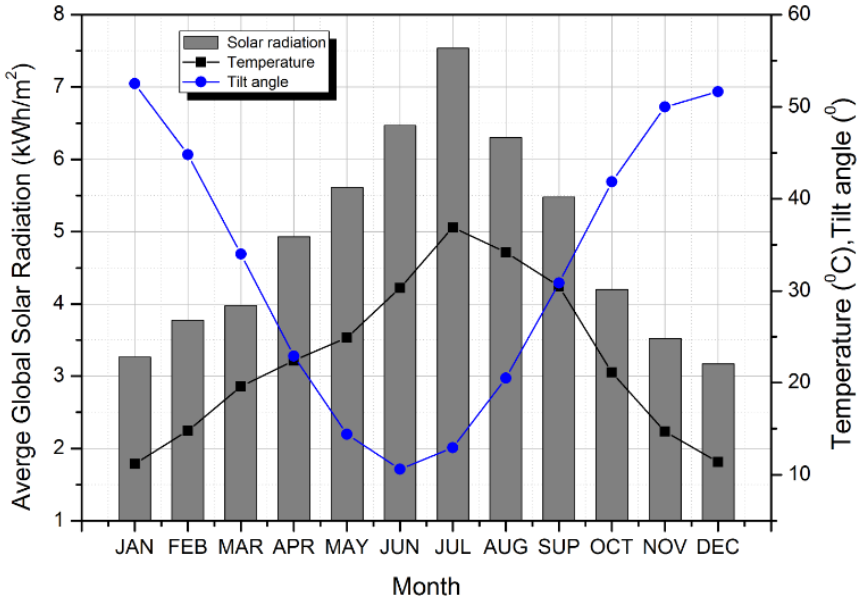
[13]J.F.Sacadura initiation aux Transferts Thermique Technique et Documentation,1978.

الفصل الثالث

دراسة ومناقشة النتائج التجريبية

III-1- مقدمة

في هذا الفصل وبعد وصف وشرح البروتوكول التجريبي، سنقوم بسرد مزيد من الخطوات الأساسية للحصول على النتائج المراد الوصول اليها والمتمثلة في تحسين كفاءة المجفف ذو الماص المقلوب وذلك بوضع اللاقطين في استقبال مباشر للإشعاع الشمسي بواسطة محور الدوار إضافة الى وضع عازل (البولسترين) داخل غرف التجفيف، قمنا بتصميم وتحضير غرفتين متماثلتين حيث أضفنا إلى الأولى مادة الكربون وإلى الثانية الحصى الأسود قصد الحصول على كفاءة وأداء المجففين تحت نفس الظروف الجوية. قمنا بوضع النموذجين في ساحة التجارب على مستوى كلية التكنولوجيا – جامعة الشهيد حمة لخضر بالوادي – الجزائر. لما تتميز به الساحة والمنطقة ككل من إمكانيات معتبرة من الإشعاع الشمسي كما يظهر من الشكل(III-1):



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

من خلال الشكل نلاحظ أن المنطقة تختص بمتوسط إشعاع سنوي يبلغ 4.85 كيلو واط ساعة/م^2 مع فترة تشمس كليا 3900 ساعة/سنة حيث نلاحظ أن فترة الشتاء لديها إمكانيات شمسية أقل بمتوسط إشعاع شمسي يومي يتراوح بين 3.17 و3.77 كيلو واط ساعي / م^2. على أن يصبح الإشعاع الشمسي مهما جدا بين أفريل وسبتمبر بمتوسط إشعاع شمسي يومي يتراوح بين 4.93 إلى 7.54 كيلو واط ساعي / م^2. كما أن متوسط درجة الحرارة يمكن أن يصل إلى 37 درجة مئوية في الصيف ولا تقل عن 10 درجات مئوية في بقية العام.

وعليه كانت التجارب في الفترة المختارة مع الأخذ بالاعتبار طبيعة الأحوال الجوية في المنطقة خلال التجفيف، فكانت التجربة يوم 22 ماي 2023 بناءا على البروتوكول الموضح في الشكل (III-2). و بالتالي يمكن سرد المراحل التجريبية التالية:

الشكل (III-2): نموذجين للمجفف الشمسي ذو الماص المقلوب

- أولا وقبل وضع العينات في غرفتي التجفيف قمنا بتعريض البروتوكول التجريبي لأشعة الشمس لمدة زمنية قصيرة قصد الرفع من درجة حرارة اللاقطين.
- تشغيل المروحتين بواسطة اللوح الشمسي وقياس سرعة الهواء الداخلة إلى المجمع الشمسي.
- وضعنا في كلا غرفتي التجفيف المواد المساعدة على حفظ الحرارة (الأولى الحصى الأسود والثانية الكربون) كما هو موضح في الشكل III-3 .
- تم وضع شبكة ذات قطر 42 سم على ارتفاع 3 سم من قاعدة كل غرفة، ثم إحاطة الغرفتين من الداخل بعازل (البولسترين) وذلك من أجل المحافظة على جودة المنتج المجفف وللتقليل من التبادل الحراري بين الغرفة والمحيط ولمعرفة دور وأداء المواد المخزنة للحرارة في أداء وكفاءة المجفيفين كما هو موضح في الشكل III -4 .
- وفي الأخير، قمنا بتحضير عينة من البطاطا وذلك بتقشيرها وتقطيعها إلى شرائح دائرية بسمك 2 مم تقريبا، بعد ذلك تم فصل العينة الكلية الى عينتين (132 غ للواحدة) لوضع كل واحد منها في غرفة مع الإبقاء والإحتفاظ بوزن عينة شاهدة لتتبع تغيرات النقص في محتوي الماء من البطاطا كما يوضحه الشكل III -5.

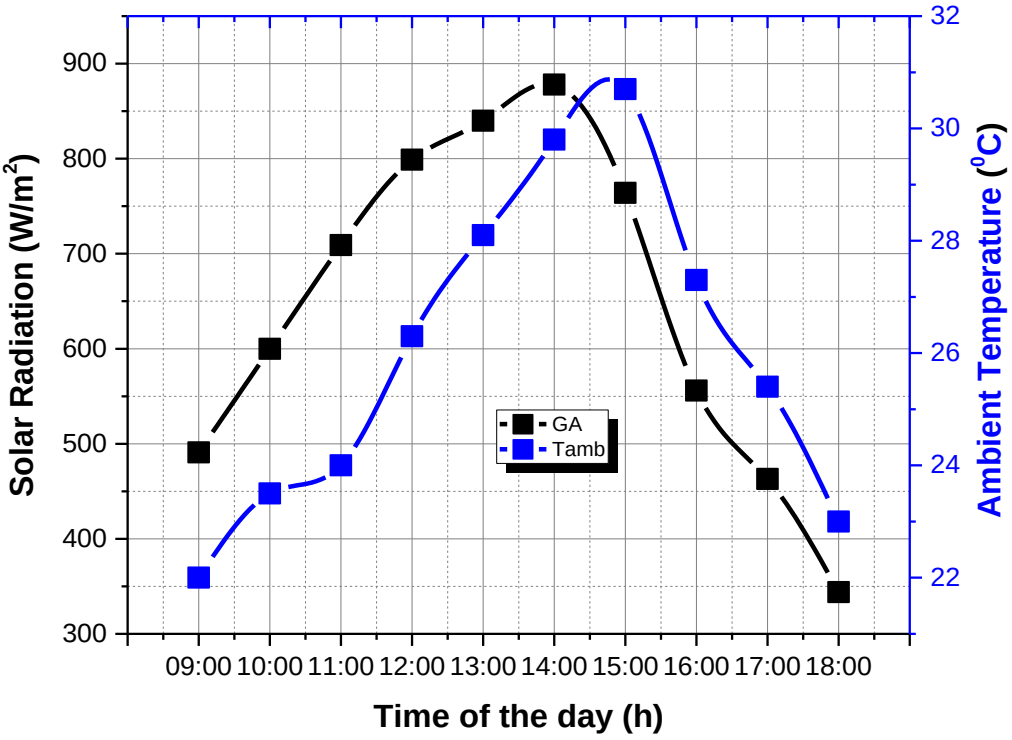
ولتتبع تغيرات درجة الحرارة في مواضع عدة من المجفف قمنا بتوصيل مزدوج الحرارة (Thermocouple) مع جهاز جمع المعلومات، لنتحصل على النتائج التجريبية ليوم واحد كمايلي :

الشكل (III-3): صورة توضح كيفية وضع المواد المساعدة على حفظ الحرارة (الحصى الأسود والفحم)

الشكل (III-4): صورة توضح كيفية وضع الشبكة في الغرفتين

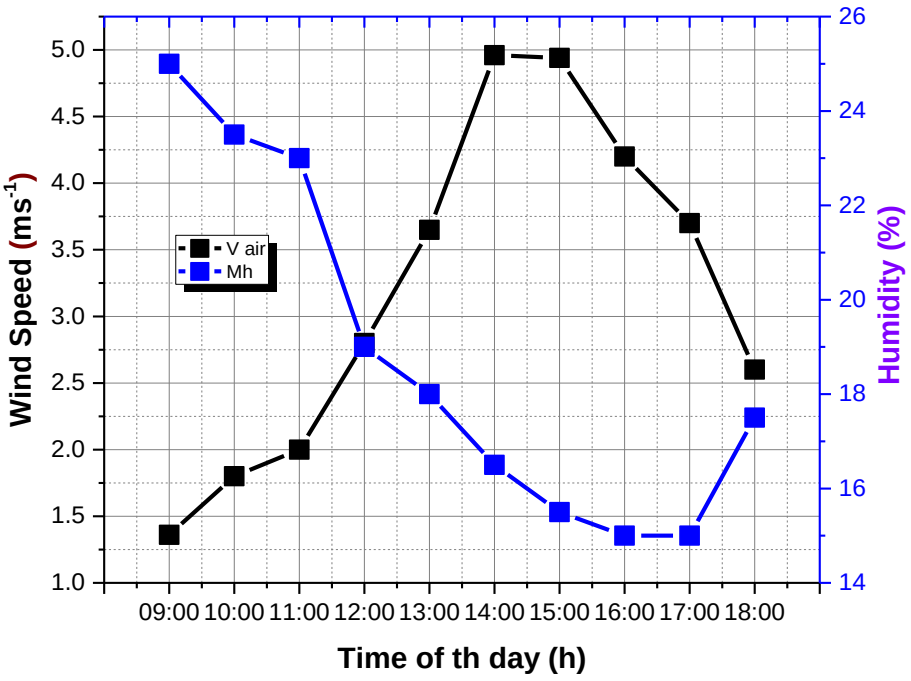
الشكل (III- 5): مرحلة وضع عينة البطاطا داخل الغرفتين

الشكل III– 6 يمثل تطور معلمتين مهمتين في عملية تشغيل المجفف وهما الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيط من وقت شروق الشمس الى غروبها. كما يتضح من الشكل أن القيمة الأعظمية للإشعاع الشمسي الساقط على المجمع تبلغ حوالي 1870 واط/م^2 على الساعة 14:30، كما كانت أعلى قيمة لدرجة الحرارة المحيطة حوالي 31 درجة مئوية على الساعة 15:00 .



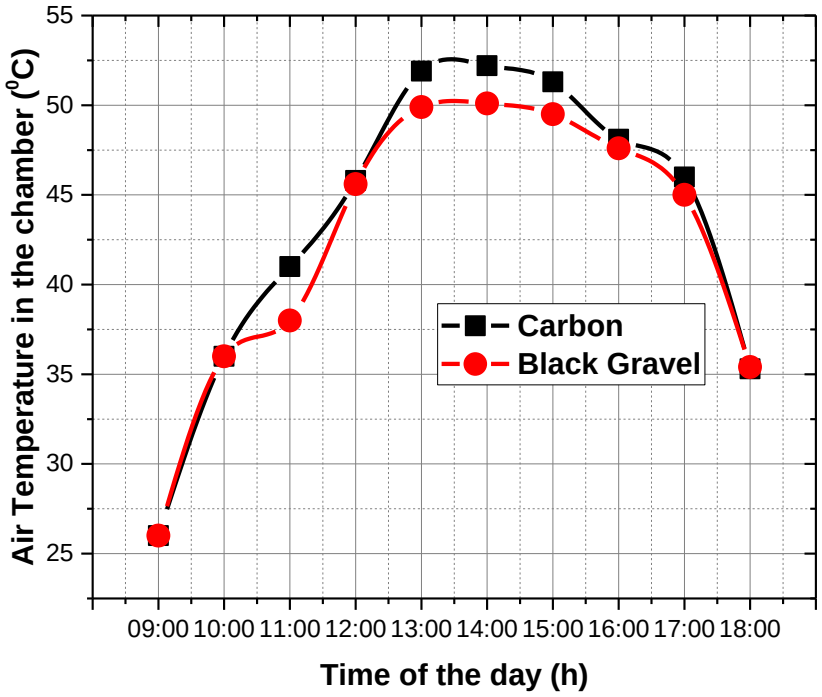
الشكل (III- 6): منحنى تغيرات درجات الحرارة وشدة الاشعاع الشمسي بدلالة الزمن .

يتبع ذلك تغيرات في سرعة الهواء ونسبة رطوبة الجو الشكل III–7، كما نلاحظ أن القيمة الأعظمية لنسبة الرطوبة 25% على الساعة 16:00. أما أعلى قيمة لسرعة الرياح فكانت 4.8 م/ثا على الساعة 09.00 وأقل قيمة 1.2 م/ثا بمعدل 2.5م/ثا في يوم التجريب تقريبا .

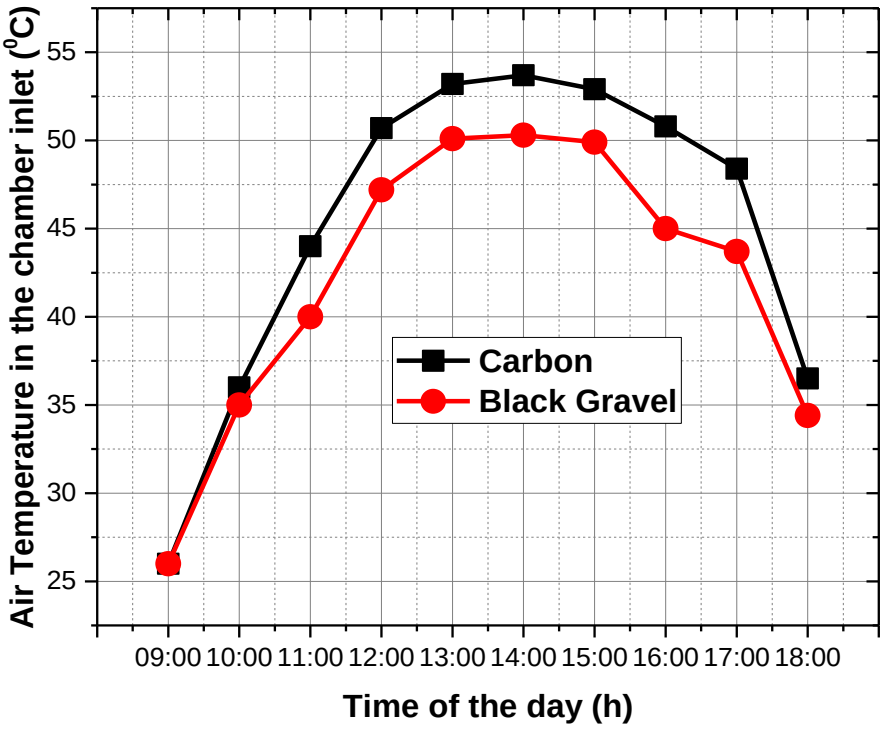


الشكل (III-7): منحنى تغيرات سرعة الهواء ونسبة رطوبة المحيط لكل ساعة.

بناءا على نتائج الطقس الملائمة من درجة حرارة وإشعاع شمسي، يمكن تتبع نتائج المقارنة بدءا من منحنى درجة حرارة هواء الغرفة ومدخلها للنموذجين: الأولى الحصى الأسود (Black Gravel) والثاني الكربون (Carbon) كما هو موضح في الشكلين III– 8 و III– 9 على الترتيب، كما هو ملاحظ من خلال المنحنيات وعند بداية عملية التجفيف لا يوجد فارق في تغير درجة حرارة الغرفتين، حيث يتضح الفارق عندما زادت قيمة الاشعاع الشمسي من الساعة 11:00 الى 15:00 تقريبا، وهذا راجع إلى اختلاف المادة الموضوعة في كلا الغرفتين ودورهما في امتصاص وإنعكاس شدة الإشعاع نحو مادة البطاطا المراد تجفيفها. فهذه النتائج تثبت مدى الأهمية والدور الذي يؤديه كل من الحصى الأسود والكربون في تخزين وتوزيع كمية الحرارة في الغرفتين، التي في حقيقة الأمر لديها علاقة وطيدة بالفارق في درجة حرارة مدخل ومخرج كل غرفة.



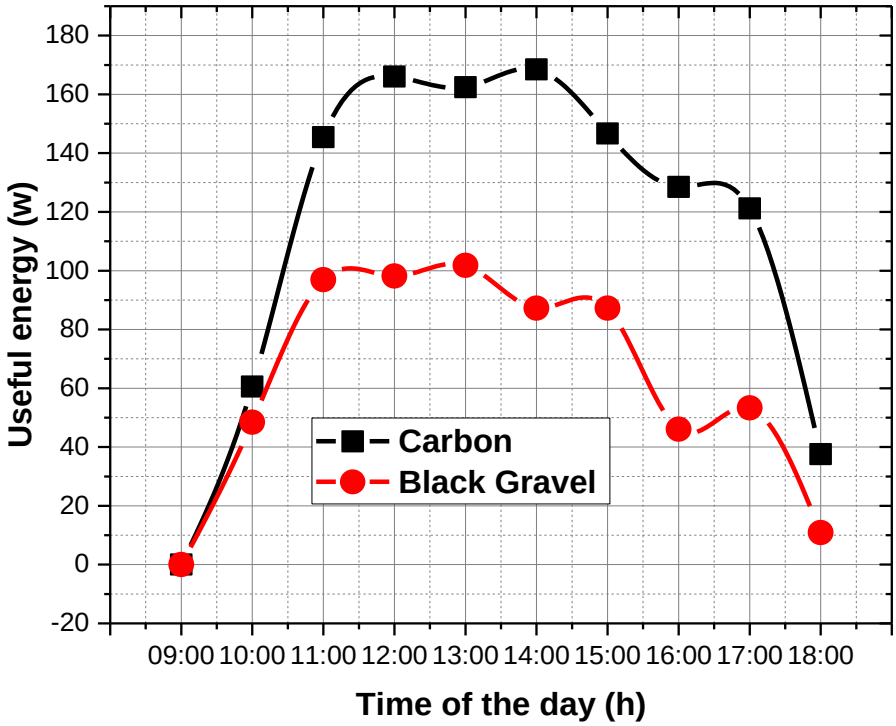
الشكل (III-8): تغير درجة حرارة هواء الغرفة للنموذجين بدلالة الزمن.



الشكل (III-9): درجة حرارة هواء مدخل الغرفة للنموذجين بدلالة الزمن.

بالإضافة الى ذلك يمكن تفسير الإنخفاض الطفيف في درجة حرارة الغرفة المتواجد فيها الحصى الأسود واستمرار الزيادة في الغرفة الثانية إلى دور مادة الفحم التي تتميز بالخاصية المسامية وسعة تخزين كمية الحرارة في الفترة أين يكون الإشعاع الشمسي أعظمي وكذلك نشرها في حالة إنخفاض شدة الإشعاع. تعتبر درجة حرارة الغرفة 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 المجففة.

بناءًا على النتائج المذكورة أعلاه، يتم إعطاء متوسط الطاقة المكتسبة من طرف غرفة التجفيف في أوقات مختلفة في الشكلIII–10.

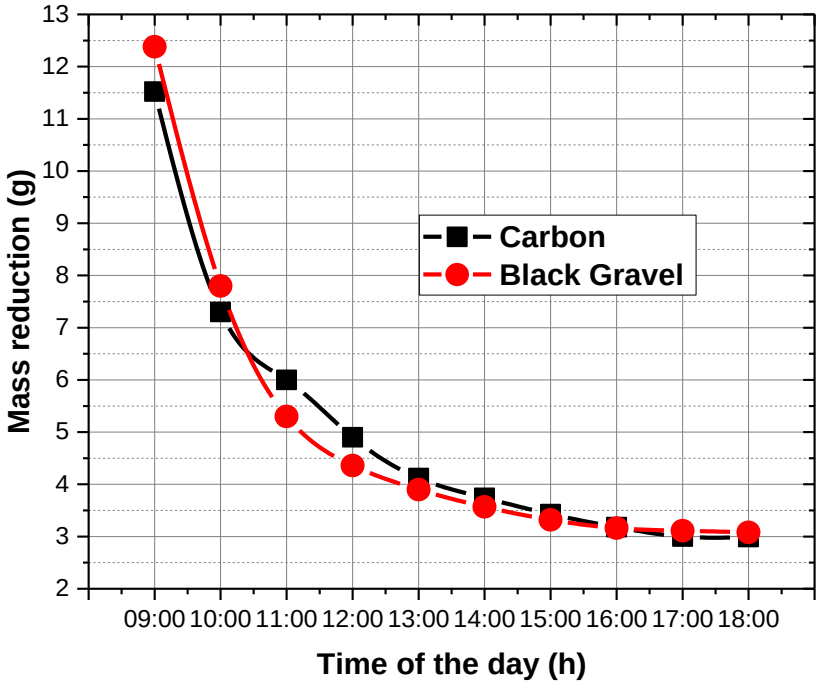


الشكل (III- 10): تغيرات الطاقة المكتسبة للغرفة للنموذجين بدلالة الزمن.

وأظهرت النتائج أن الطاقة المفيدة لنظام التجفيف تتأثر بتغير الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة كما هو موضح في المنحنى غير الخطي.

كذلك يمكن القول بأن كمية الطاقة المكتسبة في الغرفتين كافية لنزع محتوى الماء من عينة البطاطا، وهذا ما يوضحه الشكل **(III- 11)** الذي يمثل تغيرات قيمة كتلة العينة داخل الغرفة خلال فترة التجفيف في النموذجين، من الملاحظ كذلك ومن خلال الشكل أن استمرار نقصان كتلة العينة داخل غرفة الكربون ولو

بفارق طفيف بالنسبة إلى كتلة العينة المتواجدة داخل غرفة الحصى الأسود. وهذا راجع الى الدور الذي يلعبه الكربون في تخزين وتوزيع كمية من الحرارة المكتسبة داخل الغرفة وبأكثر وضوح يظهر ذلك من خلال الشكل عند نهاية فترة التجفيف أي وقت إنخفاض شدة الإشعاع عند بداية غروب الشمس.

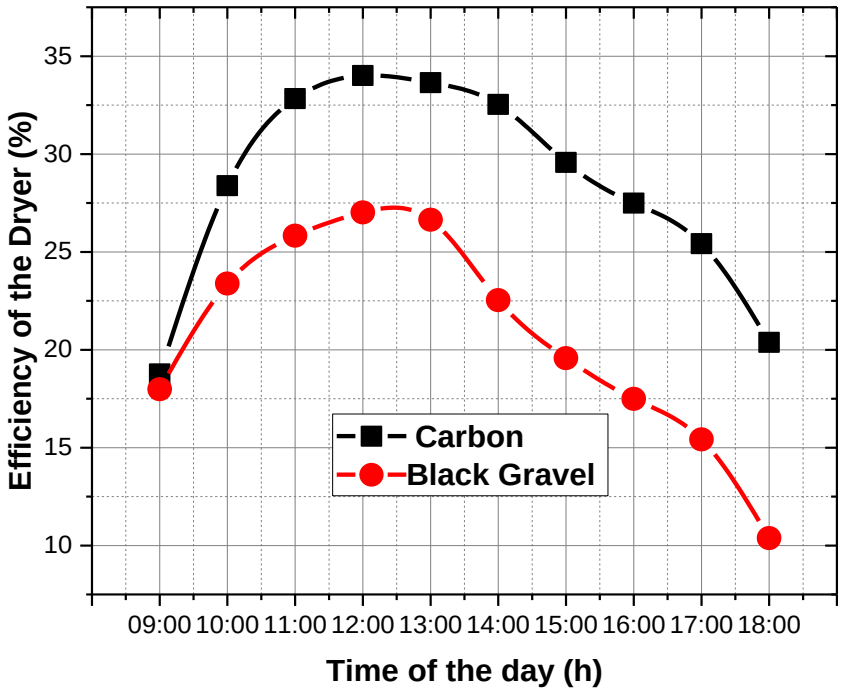


الشكل (III-11): منحنى تغيرت كتلة العينة داخل الغرفة للنموذجين بدلالة الزمن.

الجدير بالذكر ومن أجل إعطاء صورة واضحة عن دور المواد المساعدة على حفظ الحرارة وتأثيرها على أداء وفعالية المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب، قمنا بدراسة مقارنة بين كفاءة المجففين، وذلك بحساب الكفاءة إنطلاقا من المعطيات التجريبية والمعلومات الأساسية وترجمة النتائج الى منحنيات كما هو موضح في الشكل (III -12) .

نلاحظ أن متوسط الكفاءة اليومية للمجفف الشمسي ذو الماص المقلوب أثناء التجارب يتراوح من 18 إلى 35٪ لمجفف تدفق الهواء القسري. كذلك كفاءة المجفف عالية في النصف الأول من إختبار التجفيف، هذا بسبب وجود رطوبة بالقرب من سطح البطاطس. بعد منتصف النهار، تتناقص الكفاءة باستمرار حتى نهاية اختبار التجفيف لأن محتوى الرطوبة يقلل من البطاطس، كما هو موضح في الشكل 10.

من الملاحظ كذلك ومن خلال الشكل(III -12) . أن كفاءة المجفف بمساعدة الكربون أعطى قيم أعلى من كفاءة المجفف بمساعدة الحصى الأسود وهذا راجع الى الدور الذي يلعبه الكربون في تخزين وتوزيع كمية من الحرارة المكتسبة داخل الغرفة. وهذه النتائج في توافق كبير كما أكدته الاختبارات التجريبية التي أجراها عطاالله وآخرون. [3] .



الشكل (III-12): منحنى تغيرت كفاءة المجفيفين خلال فترة التجفيف

قائمة المراجع

[1] 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).

[2] 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).

[3] Ataollah, K., Azim, D., Tuncer, A., Sozen., Ceylin, Gungor, S. A., 2020, "Energetic, environmental and economic analysis of drying municipal sewage sludge with a modified sustainable solar drying system," Solar Energy., **208**, pp. 787-799.

الخاتمة

الخاتمة العامة:

نظرا للأبحاث التي أجريت على المجفف الشمسي ذو الماص المقلوب وما حققته من نتائج جيدة من تقليص مدة التجفيف والحفاظ على جودة المنتج المجفف بعد إدخال التحسينات عليه، لذا اخترناه موضوع لمذكرتنا للعمل على تحسين في كفاءة المجفف ذو الماص المقلوب تحت الشروط الحقيقية لطقس مدينة الوادي.

بعد القيام بتصميم مجفف بنفس مواصفات المجفف الذي أجريت عليه دراسات سابقة، قمنا بعزل غرفتي التجفيف للنموذجين بمادة البولسترين مع اضافة مواد خازنة للحرارة (الحصى الأسود، الكربون) وتم وضع كلا المجففين على نفس محور الدوران للحصول على أعلى قيمة للإشعاع الشمسي، لتقليص مدة التجفيف مع الحفاظ على جودة المنتوج.

أجريت هذه الدراسة التجريبية في ساحة التجارب بكلية العلوم الدقيقة جامعة حمة لخضر بالوادي على عدة أيام لنعتمد قياسات يوم 22 ماي 2023 نظرا لعدة صعوبات خاصة الجوية (سحب، امطار، رياح) وقد كانت نتائج هذا العمل التجريبي جد مرضية من خلال قيم درجات الحرارة المتحصل عليها وكذا فترة التجفيف وانخفاض نسبة الرطوبة في مادة البطاطا، وبناءا على ذلك يمكن إستخلاص عدة نقاط تسمح بتحسين كفاءة المجفف نذكر منها :

- حسن اختيار وقت التجفيف (التوقيت السنوي 'شهر ماي' التوقيت اليومي من 09:00 إلى 18:00)

- العزل الجيد لغرفة التجفيف يقلل من الضياع في الطاقة الحرارية ويعطي منتوج ذا جودة عالية

- إضافة مواد خازنة للحرارة يساعد على استمرار عملية التجفيف عند هبوط في شدة الاشعاع الشمسي وفي الأخير نستنتج ان المجفف الذي أجرينا عليه الدراسة له العديد من المحاسن منها:

- كفاءة عالية خاصة أن متوسط الكفاءة اليومي للمجفف تراوحت بين 18 و35% في النصف الأول من إختبار التجفيف كما كانت كفاءة المجفف بمساعدة الكربون أعلى منها بمساعدة الحصى الأسود.

-أظهرت نتائج العمل أن الطاقة المفيدة تتأثر بشدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة، كما أظهرت أن الطاقة المكتسبة في الغرفتين كافية لنزع محتوى الماء من البطاطا مع ملاحظة أفضلية نسبية للكربون على الحصى الأسود في تخزين وتوزيع كمية الحرارة المكتسبة داخل الغرفة.

- صديق للبيئة (لا يعتمد في تشغيله على الكهرباء المتولدة بالمواد الأحفورية). ولا يصدر أي ضوضاء أو ضجيج.

- المساهمة المزدوجة في الإقتصاد الوطني فهو غير مكلف يعتمد في عمله على الطاقة الشمسية بالإضافة لمساهمته في الحفاظ على الفائض في الإنتاج الزراعي وعدم إتلافه.

- تصميمه بسيط غير مكلف ولا يحتاج في تسييره ليد عاملة فنية مؤهلة.

قائمة المراجع

[1] 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).

[2] Ataollah, K., Azim, D., Tuncer, A., Sozen., Ceylin, Gungor, S. A., 2020, "Energetic, environmental and economic analysis of drying municipal sewage sludge with a modified sustainable solar drying system," Solar Energy., **208**, pp. 787-799.

الملخص

تعتبر الشمس مصدر طاقة نظيف ومتجدد، لذي 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) على مستوى غرفتي التجفيف، كما تم عزل هذه الأخيرة بمادة بولسترين 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 (22 ماي 2023)، وبإتباع جملة من الخطوات التجريبية للحصول على أفضل النتائج، حيث كانت نتائج عمل المجفف المحسن مرضية ومقبولة خاصة دور المواد الخازنة للحرارة فبلغ متوسط الكفاءة اليومي للمجفف الشمسي ذو الماص المقلوب حتى 18 إلى 35% في النصف الأول من إختبار التجفيف، كما كانت كفاءة المجفف بمساعدة الكربون أعلى من كفاءة المجفف بمساعدة الحصى الأسود.

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 absorberolar 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 (May 22, 2023), and by following a number of experimental steps to obtain the best results, where the results of the improved dryer work were satisfactory and acceptable, especially the role of heat-storing materials. The average daily efficiency of the inverted absorbent solar dryer reached 18 to 35% in the first half of the drying test, and the efficiency of the carbon-assisted dryer was higher than that of the black gravel-assisted dryer.

Keywords: Solar Dryer. Performance, limprove. Efficiency