الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي

جامعة دمشق

كلية الزراعة–قسم الهندسة الريفية

حساب جريان القدرة الحرارية في مجفف شمسي لتجفيف ثمار التين

Calculate the flow of thermal energy in a solar dryer to dry fig fruit

رسالة أعدت لاستكمال متطلبات الحصول على درجة الماجستير في الهندسة الريفية تخصص هندسة ريفية

إعـــداد

حنين عودة

بـــإشـــــراف

د. محمود عبد اللطيف

مدرس في قسم الهندسة الريفية

كلية الزراعة – جامعة دمشق

مشرفاً أساسياً

د. أمينة فارس

أستاذ مساعد في قسم الميكانيك العام

كلية الهمك – جامعة دمشق

مشرفاً مشاركاً

2021

تصريح

أصرح بأنَ هذا البحث: حساب جريان القدرة الحرارية لمجفف شمسي غير مباشر لتجفيف ثمار التين لم يسبق أن قبل لأي شهادة ولا هو مقدم حالياً للحصول على شهادة أخرى.

المرشحة:

حنين عودة

Declaration

This is hereby declared that this work: Calculate the flow of thermal energy in a solar dryer to dry fig fruit. Has not been used previously or submitted now for any other degree.

Candidate:

Eng. Hanin Odeh

شهادة

نشهد بأنَ العمل الموصوف في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قامت به المرشحة حنين عودة بإشراف الدكتور محمود عبد اللطيف مدرس في قسم الهندسة الريفية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، والدكتورة أمينة فارس أستاذ مساعد في قسم الميكانيك العام، كلية الهندسة الميكانيكية، جامعة دمشق، وأنَ أية مراجع بحثت في هذه الرسالة موثوقة في النص.

المرشحة	المشرف المشارك	المشرف الأساسي
حنين عودة	د. أمينة فارس	د. محمود عبد اللطيف

Certification:

We certify that the work described in this thesis is the result of a scientific research carried out by the candidate Hanin Odeh under the supervision of Dr. Mahmoud Abdulatif, a teacher in the Department of Rural Engineering, Faculty of Agriculture, Damascus University, and Dr. Amina Fares, an assistant professor in the Department of General Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering, Damascus University,

And that any references searched in this letter are reliable in the text.

Candidate:

Hanin Odeh

Dr. Mahmoud Abdulatif	Dr. Amina Fares

نوقشت هذه الرسالة بتاريخ 12\4\2021 وأجيزت من قبل لجنة الحكم المؤلفة من السادة

الدكتورة روعة طلي

قسم علوم الأغذية – كلية الزراعة– جامعة دمشق عضواً مشرفاً

الدكتور محمود عبد اللطيف

قسم الهندسة الريفية – كلية الزراعة – جامعة دمشق عضواً

الدكتور أحمد قباطي

قسم الهندسة الريفية – كلية الزراعة – جامعة دمشق عضواً

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وتقدير

أود أن أتوجه بالشكر لكل من ساعد على إنجاز هذا البحث وأخص بالشكر الدكتور طارق كنينة والدكتور محمود عبد اللطيف والدكتورة أمينة فارس، للمساهمة بإعطاء التوجيهات والنصائح اللازمة لإتمام هذا العمل.

الفهرس	رقم الصفحة
الملخص باللغة العربية	V
الملخص باللغة الإنكليزية	VII
الفصل الأول: المقدمة ومبررات البحث وأهدافه	
1.1- المقدمة	1
1.2- مبررات البحث	3
1.3- أهداف البحث	4
الفصل الثاني: الدراسة المرجعية	
2.1- الدراسة المرجعية	6
الفصل الثالث: مواد البحث وطرائقه	
3.1- مواد البحث	16
3.1.1- المادة الأولية	16
3.1.2- الأجهزة المستخدمة	16
3.1.3- المعاملات الأولية	18
3.1.4- أجهزة القياس المستخدمة	19
3.2- الاختبارات المدروسة	19
3.2.1- تحديد المحتوى الرطوبي %	19
3.2.2- تقدير رقم الحموضة	20
3.2.3- تقدير السكريات الكلية	20
3.2.4- الاختبارات الحسية	20
3.2.5- تحديد القياسات التصميمية	21
3.2.6- دراسة جريان القدرة الحرارية للمجفف	22
3.3- تصميم التجربة والتحليل الإحصائي	26
الفصل الرابع: النتائج والمناقشة	
4- النتائج والمناقشة	29
4.1- تأثير المعاملات ووسائط التخزين	29

4.2- تأثير زمن التجفيف في المحتوى الرطوبي	33
4.3- تغيرات درجة الحرارة ضمن المجفف	36
4.4- المحتوى الرطوبي لثمار التين المجففة	39
4.5- تحديد كفاءة اللاقط الشمسي	40
4.6- منحنيات اختبار اللاقط الشمسي	42
4.7- الاختبارات الحسية للثمار	47
الفصل الخامس: الاستنتاجات والتوصيات	
5.1- الاستنتاجات	49
5.2- التوصيات	49
المراجع العلمية	50

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
1	تجفيف شمسي طبيعي.	6
2	تجفيف شمسي صناعي.	6
3	مجفف شمسي مباشر.	8
4	مجفف شمسي غير مباشر.	11
5	مجفف شمسي غير مباشر قسري.	14
6	مخطط تفصيلي للمجفف الشمسي.	17
7	صورة فوتوغرافية للمجفف الشمسي.	18
8	بعض المقاييس المستخدمة في القياس.	19
9	مخطط التجربة.	27
10	درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط ودرجة الحرارة ضمن المجفف عند استخدام الحصى كتخزين الحراري.	36
11	درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط ودرجة الحرارة ضمن المجفف عند استخدام القرميد كتخزين الحراري.	37
12	درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط ودرجة الحرارة ضمن المجفف عند عدم استخدام وسيط تخزين حراري.	38
13	درجة حرارة هواء التجفيف وكمية الطاقة الواصلة للسطح الماص.	42
14	درجة حرارة هواء التجفيف ودرجة حرارة السطح الماص كتابع للزمن.	43
15	معامل الامتصاصية α.	44
16	منحني كمية الطاقة الممتصة والمعطاة للهواء والضائعة كتابع للزمن.	45
17	منحني المردود الحراري للمجمع كتابع للزمن.	46

رقم الجدول	عنوان الجدول	رقم الصفحة
1	تأثير وسائط التخزين ومعاملة الثمار بالسلق على درجة حرارة [$90[C°]$ في بعض المؤشرات الكيميائية لثمار التين المجففة.	29
2	تأثير وسائط التخزين ومعاملة الثمار بمادة ميتا باي سلفيت الصوديوم بتركيز [0.2%] في بعض المؤشرات الكيميائية لثمار التين المجففة.	31
3	قيمة المحتوى الرطوبي% والسكريات الكلية ورقم الحموضة لثمار التين الغير معالجة مسبقاً والمجففة باستخدام وسائط تخزين حراري مختلفة.	32
4	المحتوى الرطوبي [%] [h] لثمار التين المجففة كتابع لزمن التجفيف عند استخدام القرميد كوسيط تخزين حراري.	33
5	المحتوى الرطوبي [%] خلال زمن التجفيف الكلي [h] لثمار التين كتابع لزمن التجفيف عند استخدام الحصى كوسيط تخزين حراري.	34
6	المحتوى الرطوبي [%] خلال زمن التجفيف الكلي [h] لثمار التين كتابع لزمن التجفيف عند عدم استخدام وسيط تخزين حراري.	35
7	المحتوى الرطوبي النهائي لثمار التين لكل وسيط من وسائط التخزين.	39
8	قيم كفاءة اللاقط الشمسي.	41
9	الخصائص الحسية لثمار التين المجففة حسب المعاملات المختلفة.	47

الملخص

نفذت الدراسة في قسم الهندسة الريفية في كلية الزراعة بجامعة دمشق خلال العام 2019. تمّ تجفيف ثمار التين (صنف بياضي) ضمن مجفف شمسي غير مباشر باستخدام وسائط تخزين حراري مختلفة (حصى، قرميد)، بعد معاملة الثمار بعدة معاملات (السلق عند درجة حرارة [C°]90 لمدة خمس دقائق، الغمر بمحلول ميتا باي سلفيت الصوديوم بتركيز 0.2% لمدة نصف ساعة).

جففت الثمار حتى محتوى رطوبي لا يتجاوز 20% بهدف دراسة تأثير تلك المعاملات في بعض المؤشرات الكيميائية (السكريات الكلية، رقم الحموضة، المحتوى الرطوبي للثمار).

أظهرت النتائج أنّه لا يوجد فروق معنوية في المؤشرات الكيميائية عند استخدام الحصى أو القرميد كوسيط تخزين حراري.

من ناحية أخرى بينت النتائج وجود فروق معنوية في المحتوى الرطوبي للثمار المجففة والمحتوى من السكريات الكلية عند استخدام الحصى أو القرميد كوسيط تخزين حراري مقارنة مع الشاهد (عدم وجود وسيط تخزين حراري).

بينت النتائج أنّ زمن التجفيف انخفض عند استخدام القرميد كوسيط للتخزين الحراري بالمقارنة مع استخدام الحصى.

بينت النتائج عدم وجود أثر معنوي لنوع وسيط التخزين المستخدم في المجفف في الخصائص الحسية للثمار بما يتعلق باللون والطعم والرائحة والقوام والقبول العام.

أظهرت النتائج أن المردود الحراري للاقط الشمسي يتراوح ما بين 92.3%–62.2%، حيث كانت أعلى قيمة للمردود 92.3% عند الساعة 12 ظهراً.

كلمات مفتاحية: مجفف شمسي غير مباشر، المردود الحراري للاقط الشمسي، تين، المحتوى الرطوبي، السكريات الكلية، الخصائص الحسية، حصى، قرميد.

Summary:

The study was carried out in the Rural Engineering Department at the Faculty of Agriculture at the University of Damascus during the year 2019. The fig fruits (white variety) were dried in an indirect solar dryer using different thermal storage media (gravel, brick), after treating the fruits with several treatments (boiling at a temperature of 90 [° C] for five minutes, immersion in 0.2% sodium metabisulfite solution for half an hour).

The fruits were dried to a moisture content not exceeding 20% in order to study the effect of these treatments on some chemical indicators (total sugars, acidity number, and moisture content of fruits).

The results showed that there were no significant differences in the chemical indicators when gravel or bricks were used as a thermal storage medium.

On the other hand, the results showed that there were significant differences in the moisture content of dried fruits and the total sugars content when using gravel or bricks as a thermal storage medium compared with the control (no thermal storage medium).

The results showed that the drying time was reduced when using the brick as a heat storage medium compared to the use of gravel.

The results showed that there was no significant effect of the type of storage medium used in the dryer on the organoleptic properties of the fruits with regard to color, taste, aroma, texture and general acceptability.

The results showed that the thermal yield of the solar collector ranges between 62.2-92.3%, with the highest value of the yield being 92.3% at the midday.

Key words: Indirect solar dryer, Thermal efficiency of solar collector, Figs, Moisture content, Total sugars, Organoleptic properties, Gravel, Brick.

الفصل الأول

المقدمة ومبررات البحث وأهدا

1.1- المقدمة:

تلعب الطاقة دوراً أساسياً في الحياة، فالطاقة هي العصب الأساسي والمحرك في تطور الحضارة والتقدم العلمي، ويعد التجفيف باستخدام الطاقة الشمسية من الطرائق القديمة التي ما تزال متبعة حتى وقتنا الحاضر في تجفيف العديد من ثمار الفاكهة والخضروات، وذلك بهدف حفظ المنتجات الزراعية من التلف والذي يعتبر من أكبر المشكلات التي تواجه الدول النامية. حيث يلاحظ أنّ كمية كبيرة من المنتجات الزراعية تفسد، إضافة إلى زيادة الحاجة إلى الغذاء، لذلك يعد التجفيف أحد الطرائق الأساسية في حفظ الأغذية.

منذ القدم كانت تعتبر الطاقة الشمسية المباشرة هي المصدر الحراري الوحيد لتجفيف المنتجات الزراعية. تطورت اليوم تقنيات استخدام الطاقة الشمسية في عملية التجفيف.

تهدف عملية التجفيف إلى خفض رطوبة المواد الغذائية ورفع تركيز المواد الصلبة الذائبة فيها إلى حد يوقف ويثبط نمو الأحياء الدقيقة والأنزيمات، وتتميز المواد المجففة باحتفاظها بقدر من الرطوبة يتراوح غالباً بين % 22- 16.

تعد ثمار التين أحد أنواع الفاكهة الأكثر انتشاراً واستهلاكاً في العالم، كما يعد التين في سورية من أهم المنتجات الزراعية الاقتصادية ويحتل مكاناً متميزاً بين أنواع الفاكهة المنتجة محلياً والمرغوبة بشكل كبير من السكان. تحتل زراعة التين المرتبة الرابعة في سورية من حيث المساحة بعد الزيتون والعنب والتفاح.

يعد التجفيف الشمسي التقليدي لثمار التين مفضلاً من قبل المزارعين للحصول على التين المجفف نظراً إلى توافر الطاقة الشمسية مجاناً، إلَا أنّ من عيوب استخدام هذه الطريقة زيادة شدة اللون نتيجة تفاعلات الاسمرار الأنزيمي وتدهور كبير في صفات جودة التين المجفف كما أنَ التجفيف الشمسي التقليدي لثمار التين يتطلب زمناً يتراوح بين 15–10 [يوماً] مما ينعكس سلباً على جودة التين الناتج.

يمكن استبدال تقنيات التجفيف التقليدي بطرائق أكثر فاعلية مثل التجفيف باستخدام المجففات الشمسية.

نظراً لنسبة السكر العالية في التين ونسبة الحموضة فيه أمكن تجفيف التين شمسياً دون الخوف من فساده بواسطة الأحياء الدقيقة وذلك ضمن شروط الحرارة والرطوبة الجوية المناسبين بحيث لا تقل درجة الحرارة عن [$C°$]30 ونسبة الرطوبة عن 20%.

يعتبر غمر الثمار في محلول ميتا باي سلفيت الصوديوم بتركيز 0.2% لمدة 30 دقيقة مفيداً في إيقاف نشاط الأنزيمات والأحياء الدقيقة، كما يعتبر غمر الثمار بالماء الساخن على درجة حرارة [$C°$]90 لمدة 5 دقائق قبل التجفيف ذو فعالية كبيرة في عملية التجفيف حيث يحافظ على اللون ويمنع فساد الثمار ويقتل الأنزيمات الموجودة كما يقلل صلابة نسيج الثمار من أجل تسهيل التبادل الحراري بين هواء التجفيف وثمار التين.

ينسب التين (Ficus carica) إلى الفصيلة التوتية (Moraceae) وإلى الجنس (Ficus)، وتعد شجرة التين من الأشجار الهامة في بلادنا حيث يستهلك طازجاً ومجففاً وللثمرة قيمة غذائية عالية. وتوجد عدة أصناف من التين في سورية (البياضي، الخضيري، السوادي، كعب الغزال،

الشتوي، إزميرلي، الحلبي، الشائع...)، ويعد صنف التين البياضي من أكثر الأصناف انتشاراً في سورية وتستهلك ثماره طازجة أو مجففة.

1.2- مبررات البحث:

يلاحظ عند نضج المواسم الزراعية المختلفة (خضروات، فاكهة) وجود ذروة في الإنتاج تكون أكبر من الاستهلاك في السوق مما يؤدي إلى انخفاض أسعار هذه المواد وتلف قسم منها مما ينعكس بخسائر تكون في بعض الأحيان مؤثرة على المنتج، وأحياناً تصل نسبة الخسارة في الإنتاج الزراعي 40%-30.

من هنا فإنّ وجود طرائق لحفظ الفائض من الإنتاج الزراعي يؤدي إلى توفير هذه الخسائر والمحافظة على أسعار المنتجات الزراعية بمستوى مقبول مما يحقق عائداً اقتصادياً جيداً للمنتجين.

هناك عدة طرائق للحفاظ على الغذاء من أجل استخدامه لاحقاً وإن عملية التجفيف هي الطريقة التقليدية للمحافظة على الغذاء.

1.3- أهداف البحث:

1. اختبار تصميم مجفف شمسي يستخدم لاقط شمسي هوائي لتسخين الهواء.
2. إمكانية استخدام وسائط تخزين حراري مختلفة لبيان الأمثل منها لعملية التجفيف (الحصى-القرميد).
3. حساب كمية الطاقة الحرارية المقدمة للهواء عن طريق اللاقط الشمسي الهوائي (حساب جريان القدرة الحرارية ضمن المجفف).

4. دراسة تأثير وسائط تخزين مختلفة (حصى، قرميد) في بعض المؤشرات الكيميائية (نسبة السكريات الكلية، درجة الحموضة، المحتوى الرطوبي) وزمن التجفيف الكلي لثمار التين المعاملة بمعاملات مختلفة (السلق عند درجة حرارة 90[°C] لمدة خمس دقائق، الغمر بمحلول ميتا باي سلفيت الصوديوم بتركيز 0.2% لمدة نصف ساعة).

الفصل الثاني

الدراسة المرجعية

2.1- الدراسة المرجعية:

بيَن (حسن وزملاؤه، 2005) أنَ التجفيف الشمسي يقسم إلى نوعين:

2.1.1- التجفيف الشمسي: تستخدم حرارة الشمس كمصدر للحرارة ويستخدم الهواء الجوي كوسيلة لامتصاص ونقل الرطوبة المتبخرة من المادة الغذائية بعيداً عنها كما هو موضح في الشكل (1).

الشكل (1) تجفيف شمسي طبيعي

2.1.2- التجفيف الصناعي: حيث تتم إزالة الرطوبة الزائدة من المواد الغذائية عن طريق وضعها في حيز مغلق يمكن من خلاله ضبط درجة الحرارة الداخلية والرطوبة النسبية وسرعة هواء التجفيف. يبين الشكل (2) أحد نماذج التجفيف الصناعي.

الشكل (2) التجفيف الشمسي الصناعي

وبيَن (اشتية، 2010) أنَ نجاح عملية التجفيف باستخدام المجففات الشمسية يتوقف على عدة عوامل أهمها:

1- درجة حرارة كافية للتخلص من الرطوبة.

2- هواء جاف لامتصاص الرطوبة.

3- جريان كافي للهواء.

4- محتوى الرطوبة الأولي.

5- محتوى الرطوبة النهائي.

6- سماكة طبقة المادة المراد تجفيفها.

7- سرعة الهواء.

أجرى (Rahemi وآخرون، 2016) بحثاً في إيران لدراسة بعض الصفات الكيميائية لأصناف مختلفة من ثمار التين المجففة [Cantly-Shahenger-Sayeh-Maty-Katchen-Khafrak-Sigoto-Rowno]، وأظهرت النتائج أن إجمالي محتوى الفينولات في صنف Khafrak أعلى من الأصناف المجففة الأخرى التي تم فحصها، وأيضاً محتوى المواد الصلبة الكلية في صنف Sigoto كان أعلى بكثير من الأصناف الأخرى.

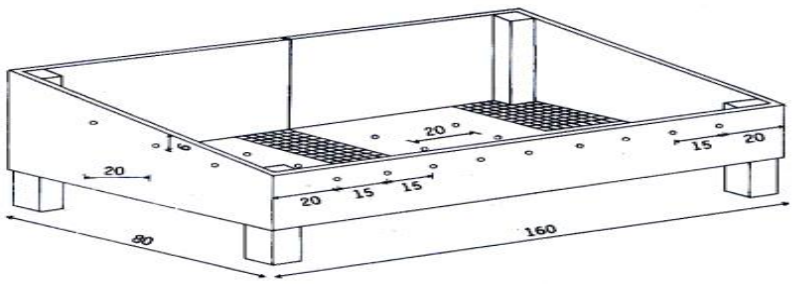
قام (Slantar وآخرون، 2011) ببحث أجري في سلوفينيا لمعرفة تأثير التجفيف في بعض الصفات الكيميائية لثمار التين، وأظهرت النتائج أن محتوى السكريات والحموض العضوية في التين الطازج أقل مما عليه في الثمار المجففة، وكذلك نسبة المركبات الفينولية.

بيَن (Troftgruben، 1997) أهم طرائق المعالجة الأولية لثمار الفاكهة والخضروات قبل تجفيفها والتي تضمنت: التغطيس في محلول حمض الأسكوربيك (فيتامين C 500mg\l) لمدة

خمس دقائق، التغطيس في حمض الستريك، التغطيس في محلول ملحي، 4-المعاملة بالكبريت، 5-المعاملة بمحاليل الكبريتات لمدة نصف ساعة.

بيَن (الحلفي،2012) أنَ المجففات الشمسية الصناعية تقسم من الناحية التشغيلية والعملية إلى:

2.1.2.1- المجففات الشمسية المباشرة: تعتبر هذه المجففات الأكثر استخداماً في البلدان النامية نظراً لانخفاض تكلفتها وسهولة تشغيلها، حيث تسخن فيها المنتجات الغذائية نتيجة التعرض المباشر لأشعة الشمس. تتألف من حجرة تجفيف شمسية تصل درجة حرارته إلى $80[C°]$، وتتميز بالمردود المرتفع، حيث تدخل الأشعة الشمسية عبر سطح حجرة التجفيف وتسخن الهواء الذي يمتص الرطوبة مباشرة وتعتمد حركة الهواء الساخن ضمن حجرة التجفيف على الحمل الطبيعي، أي يسخن الهواء فتنخفض كثافته فيتحرك نحو الأعلى محملاً برطوبة المادة المجففة التي تخرج إلى الوسط الخارجي من الفتحات الموجودة أعلى المجفف كما هو مبين في الشكل (3).



الشكل (3) مجفف شمسي مباشر

قام (Sopain وآخرون، 2017) بتصميم مجفف مشابه لتصميم المجفف الشمسي بالحمل الطبيعي، مع وجود طبقة أسفل السطح الماص للاقط الشمسي يتم فيها تخزين الحرارة خلال فترة السطوع الشمسي، بحيث يمر الهواء الخارجي إلى السطح الماص ليسخن ثمَ ينطلق إلى حجرة

التجفيف، وعند غياب السطوع الشمسي تقوم الطبقة المخزنة للحرارة بتسخين الهواء الداخل على اللاقط الشمسي، حيث بينت النتائج أنّ فعالية المجفف ازدادت بمقدار 30% عند تجفيف 20kg من الأرز وازدادت بمقدار 10% عند تجفيف 100 kg من نفس المادة المجففة.

صمم (Musembi وآخرون، 2016) مجفف شمسي للحمل الطبيعي بميل يتناسب مع خط العرض لمنطقة الدراسة وزاوية الانحدار الشمسي، وتمَت التجربة على شرائح التفاح بسماكة 2.5mm ومحتوى رطوبة % 86 حيث انخفض إلى محتوى رطوبي % 8.12 خلال زمن تجفيف قدّر بتسع ساعات وعشرين دقيقة وكان بمعدل إشعاع شمسي [$w\backslash m^2$] 534.45 وكانت كفاءة المجفف الكلية 17.89%، مع المحافظة على اللون والنكهة والمحتوى الغذائي للمادة المجففة.

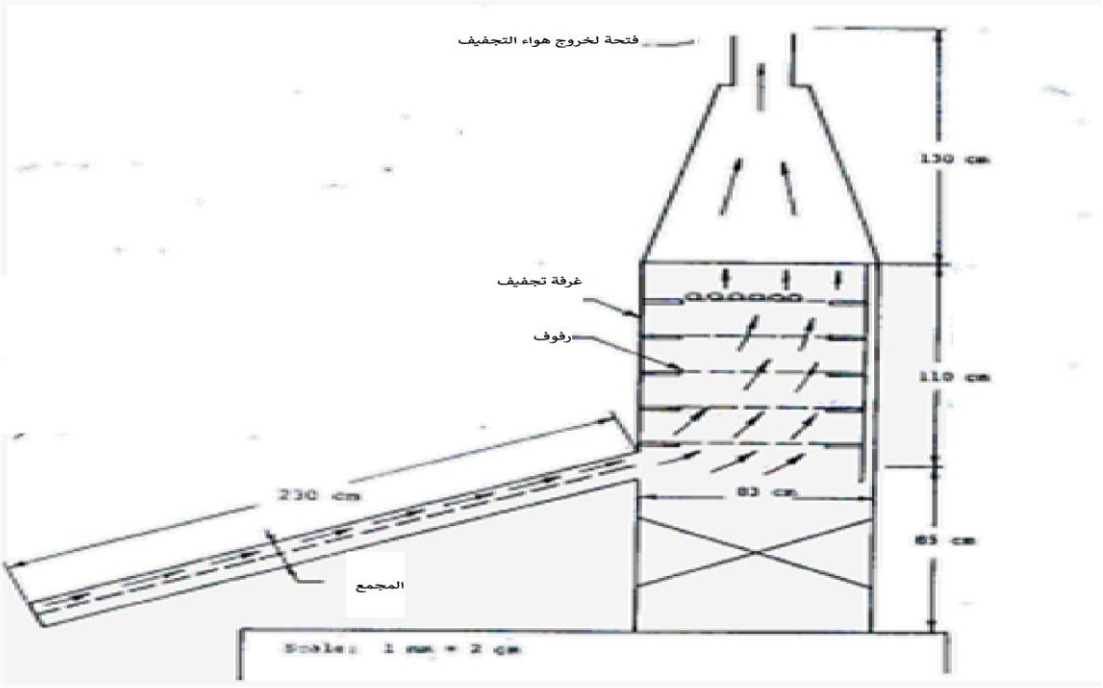
أجرى (آدم والطيب، 2016) بحثاً لتصميم مجفف شمسي خشبي يعمل بالخلايا الشمسية في السودان، حيث تم تجفيف شرائح البصل بسماكة 5 mm و7 في مجفف شمسي تم تصميمه في كلية الزراعة، وأوضحت الدراسة أنَ عينة البصل بسماكة 5 mm تم تجفيفها في زمن قدره 14 h والتي بسماكة 7 mm تم تجفيفها في زمن قدره 21 h، وعليه كانت كفاءة التجفيف عند سماكة 5mm أفضل.

أجرى (Lopez وآخرون، 2015) دراسة لتجفيف ثمار الفريز في نوعين من المجففات المجفف الشمسي المباشر والمجفف الشمسي غير المباشر، وعند قياس كمية الفينولات في نبات الفريز بينت النتائج أنّ العينات المعرضة للإشعاع المباشر كانت أكثر تضرراً والعينات غير المعرضة للإشعاع الشمسي المباشر كانت أقل تضرراً، وإنّ العينات المعرضة للإشعاع المباشر تأثرت بنسبة % 90 وغير المباشرة بنسبة % 82.

بين (الحلفي، 2010) في دراسة أجراها لتحويل الإطارات التالفة إلى مجففات شمسية مباشرة في مدينة البصرة في العراق لتجفيف عدد من الأغذية شملت الموز، التفاح الأحمر والأصفر، النعناع، والبصل، حيث أظهرت النتائج أن متوسط الطاقة الشمسية المتوفرة في مدينة البصرة خلال شهر آذار الذي تم فيه التجفيف هي [$w\backslash m^2$] 848.22 وكان متوسط درجة الحرارة في المجفف الشمسي للشهر نفسه [$C°$] 62 وكان زمن التجفيف في المجفف الشمسي أقل من التجفيف الشمسي الطبيعي، وتراوحت كفاءة التجفيف بالمجفف الشمسي من % 98– 84 بينما في التجفيف الشمسي الطبيعي تراوحت من % 43– 39.

بيَن (الحلفي، 2007) أنَ مقدار الانخفاض بالرطوبة عند استخدام المجفف الشمسي لتجفيف التمر كان أكبر بكثير منه عند استخدام التجفيف الشمسي الطبيعي، وهذا يعود إلى تأثر التمر المجفف طبيعياً بالظروف البيئية مثل انخفاض درجة حرارة الجو وزيادة الرطوبة النسبية للهواء مما يؤدي إلى إعادة امتصاص الرطوبة من الجو خاصة أثناء الليل.

2.1.2.2– المجففات الشمسية غير المباشرة: تتكون هذه المجففات بشكل رئيسي من جزأين هما اللاقط الشمسي وحجرة التجفيف. يدخل الهواء من فتحة موجودة أسفل اللاقط وعند اجتيازه لفراغ اللاقط ترتفع درجة حرارته ثمّ ينتقل بالحمل الطبيعي إلى حجرة التجفيف، ونتيجة لمروره على المادة المراد تجفيفها ترتفع رطوبته النسبية وبالتالي تنخفض الرطوبة النسبية للمادة المراد تجفيفها، ثمّ يخرج الهواء من فتحة في أعلى غرفة التجفيف تدعى المدخنة. يمكن استخدام مصدر مساعد للطاقة الحرارية يعمل على رفع درجة حرارة حجرة التجفيف أو يحافظ على هذه الحرارة لفترة زمنية بعد غياب السطوع الشمسي. يبين الشكل (4) أحد نماذج هذه المجففات.



الشكل (4) مجفف شمسي غير مباشر

أشار (Noutifa وآخرون، 2018) أنَه عند تصميم مجفف شمسي غير مباشر في الرشيدية في المغرب ليستخدمه المزارعون في تجفيف ثمار التين بدلاً من استخدام الطريقة التقليدية. أظهرت النتائج أنّ مدة التجفيف انخفضت عند استخدام هذا النوع من المجففات من 10 أيام إلى 4 أيام مقارنة بالتجفيف الشمسي التقليدي، كما أنَه حافظ على الصفات الغذائية للتين، حيث كانت نسبة السكريات في التين المجفف بالمجفف % 63.7، بينما بلغت نسبة السكريات في التين المجفف تجفيفاً شمسياً تقليدياً % 38.7.

بينت دراسة في الهند قام بها (Niranjan وآخرون، 2018) على ثمار التين المجففة بعد معاملتها بمحلول السكروز بتراكيز مختلفة [Brix] (40, 50, 60) وعند درجات حرارة مختلفة[$C°$] (40,50)، بينت أن المعاملة بمحلول السكروز 40 Brix وبدرجة حرارة [$C°$] 40 هي الأكثر قبولاً والأفضل حيث أعطت أفضل كفاءة تجفيف وأقل زمن للتجفيف.

بين (Hajar وأخرون، 2017) عند دراسة تطوير مجفف شمسي غير مباشر لتجفيف ثمار الأجاص في برلين في ألمانيا أنه يمكن الوصول إلى أقصى درجة حرارة للمخرج تصل إلى 57 $[C°]$ تحت ظروف الحمل الطبيعي، كما أنَ تصميم الجهاز يسمح بتدوير الهواء بشكل جيد، كما بينت النتائج أنه بعد 24 h من تجفيف ثمار الأجاص انخفضت كتلة العينات من 997.3 g إلى 135.13 g، وكان متوسط الكفاءة الحرارية لغرفة التجفيف حوالي % 11.

قام (Lingayat وآخرون، 2016) بتصميم وتطوير مجفف شمسي غير مباشر لتجفيف ثمار الموز في الهند وقد بينت النتائج أنه تم تقليل رطوبة الثمار من القيمة الأولية البالغة % 35.6 إلى محتوى الرطوبة النهائي (31.1%, 21.1%, 16.3%) للرفوف (1,2,3) على التوالي مرتبة من الأسفل إلى الأعلى، وكانت كفاءة المجمع الشمسي % 31 وكفاءة غرفة التجفيف 22 % كما بينت النتائج أنَ درجة حرارة هواء التجفيف هو العامل الأكثر أهمية وفاعلية أثناء التجفيف وكذلك كل من الرطوبة وسرعة جريان الهواء.

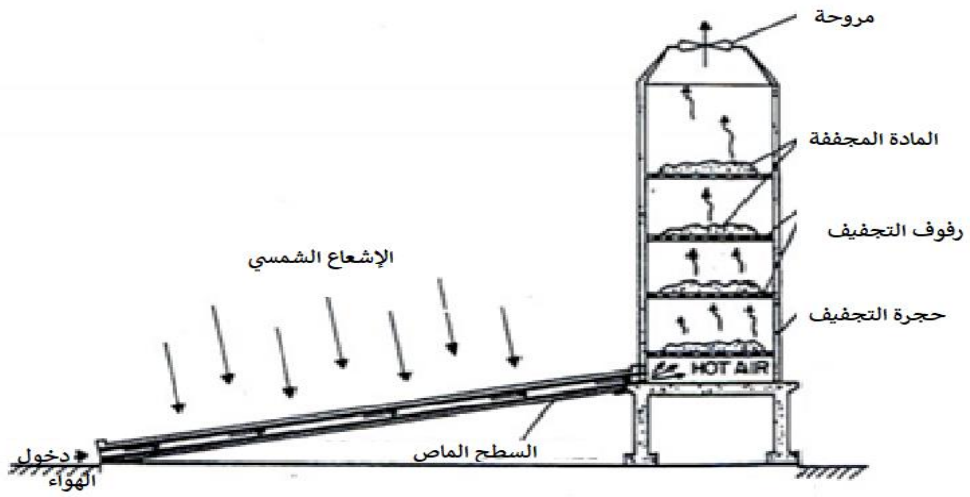
أشار (Fadl وآخرون، 2015) إلى أنَه عند تجفيف ثمار التين بطريقتين الأولى طريقة التجفيف الهوائي الحراري والثانية طريقة التجفيف بالمايكرويف، كان التجفيف في فرن المايكرويف أسرع وتمَ التجفيف بفترة زمنية قصيرة لا تتجاوز 120 min في حين أنَ التجفيف الهوائي بلغ 36 h، كما بلغت نسبة الفينولات الكلية في التين المجفف بطريقة المايكرويف [254 g\100g مادة جافة] بينما بلغت كمية الفينولات الكلية الموجودة في ثمار التين المعرضة للتجفيف الهوائي الحراري [237 g\100g مادة جافة].

في دراسة أجراها (Choicha وآخرون، 2013) في مدينة ورقلة الجزائرية لتحسين أداء مجفف شمسي غير مباشر لتجفيف البطاطا حيث تم استخدام سخان كهربائي مغذى من الألواح

الضوئية لتعزيز الكفاءة الحرارية، وبينت النتائج أن أفضل ظروف التشغيل لضمان كفاءة تجفيف وفترة زمنية منخفضة و جودة أعلى للمنتج فكانت النتائج كما يلي: في التجفيف الهجين (طاقة شمسية): حيث كانت سرعة تدفق الهواء m\s 0.51 خلال مدة ساعتين و min 45 خلال الفترة ما بين 6 أيار و 28 أيار من عام 2012، أما في التجفيف الهجين (طاقة كهربائية): كانت سرعة الهواء m\s 0.5 خلال مدة ساعة و15 دقيقة خلال الفترة ما بين13 أيار و 18 أيار من عام2012 م.

في دراسة أجراها (الحلفي، 2007) عند تصميم وتصنيع واختبار مجفف شمسي شبه مختلط لتجفيف التمر، بينت النتائج أن معدل طاقة الإشعاع الشمسي المتوفرة في مدينة البصرة بالعراق في شهر أيلول هي [$w\backslash m^2$] 764.3 وهي كافية لتشغيل مجفف شمسي، حيث بلغت درجة الحرارة في المجفف الشمسي [$C°$] 72، كما أنَ المحتوى الرطوبي للتمر انخفض مع زيادة زمن التجفيف وكان مقدار الانخفاض أعلى عند استخدام المجفف الشمسي منه عند استعمال التجفيف الشمسي الطبيعي.

2.1.2.3- المجففات ذات الدوران القسري: تتم باستخدام منظومة مراوح يتم من خلالها التحكم بدرجة الحرارة الداخلية وسرعة الهواء ضمن حجرة التجفيف مما ينتج عنه إمكانية التحكم بعملية التجفيف وبمواصفات المادة المجففة. يبين الشكل (5) رسماً تخطيطياً لمجفف شمسي غير مباشر قسري.



الشكل (5) مجفف شمسي غير مباشر قسري

الفصل الثالث

مواد البحث وطرائقه

3.1- مواد البحث:

3.1.1- المادة الأولية:

تمَ تنفيذ البحث بتجفيف ثمار التين صنف بياضي (1 kg لكل معاملة) في قسم الهندسة الريفية في كلية الزراعة بدمشق خلال شهري آب وأيلول من العام 2019 م.

ثمار التين صنف بياضي (متوسطة الحجم، سكرية المذاق، بيضاء اللون، كروية، قشرتها رقيقة وبالتالي تساعد على خروج الرطوبة). وتمّ الحصول على العينات من منطقة ضاحية قدسيا بريف دمشق من السوق المحلي.

3.1.2- الأجهزة المستخدمة:

تمَ التجفيف باستخدام مجفف شمسي غير مباشر باستخدام وسائط تخزين حراري مختلفة (الحصى، القرميد). ويتكون المجفف من:

المجمع الحراري: وهو عبارة عن سخان شمسي للهواء يتكون من سطح ماص مصنوع من الحديد المطلي باللون الأسود ليساعد على امتصاص أشعة الشمس، ومغطى بطبقة واحدة من الزجاج بسماكة [6[mm، ومعزول من الجوانب والأسفل باستخدام مادة عازلة بسماكة [3[mm. يتوضع المجمع الحراري بحيث يصنع زاوية [35[$C°$ مع الأفق باتجاه الجنوب. وعند نهاية السطح الماص للمجمع من الطرف العلوي توجد فتحة تسمح بخروج الهواء من المجمع الحراري ودخوله إلى حجرة التجفيف.

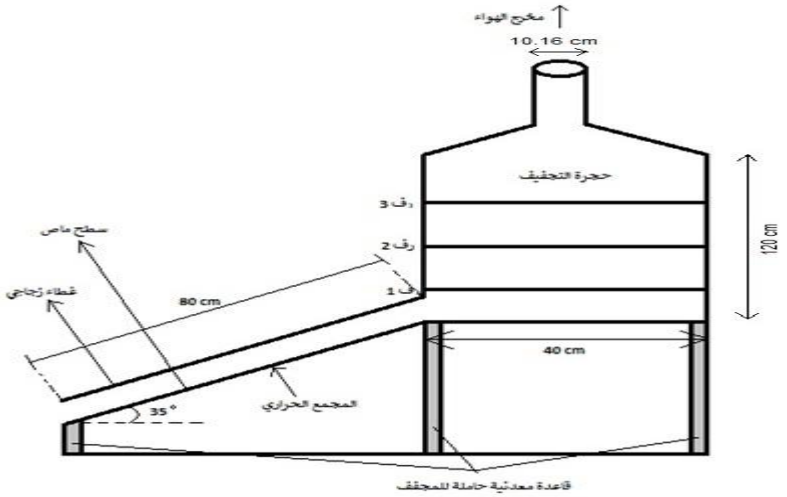
حجرة التجفيف: عبارة عن حجرة بالأبعاد التالية (الطول [cm]90 والعرض [cm]60 والارتفاع [cm]120). جدران حجرة التجفيف مصنوعة من طبقتين من ألواح الخشب المعاكس وتمّ وضع لوح من مادة الستيروبور بسماكة [mm]16 بينهما.

تحتوي حجرة التجفيف على ثلاث رفوف طول كل منها [cm]80 وعرضه [cm]40، وقد صنع كل منها من إطار خشبي وتمّ تركيب شبك معدني على الإطار بحيث يسمح بمرور الهواء الساخن من خلاله، وقد رقمت هذه الرفوف من الأسفل إلى الأعلى بـ (1 ,2 ,3) على التوالي.

سطح حجرة التجفيف ذو هيكل هرمي ويحتوي في قمته على فتحة بقياس [cm]10.16 من أجل خروج هواء التجفيف المحمل برطوبة الثمار.

من أجل زيادة القدرة الحرارية المقدمة إلى هواء التجفيف تمّ إضافة سطح ماص إضافي متعرج إلى المجمع الحراري مصنوع من الحديد المغلفن ومطلي باللون الأسود.

يبين الشكل (6) المخطط التفصيلي للمجفف الشمسي غير المباشر المستخدم مبينً عليه كافة الأبعاد وكما يبين الشكل (7) صورة فوتوغرافية لنفس المجفف.



الشكل (6) مخطط تفصيلي للمجفف الشمسي غير المباشر

الشكل (7) صورة فوتوغرافية للمجفف الشمسي غير المباشر

3.1.3- المعاملات الأولية وطرائق العمل:

تتضمن المعاملات المدروسة في هذا البحث استخدام وسيطي تخزين حراري هما القرميد أو الحصى، حيث تمّ وضعهما ضمن أرضية حجرة التجفيف تحت الرفوف، حيث تمّ إجراء تجربة باستخدام القرميد كوسيط للتخزين الحراري وأخرى باستخدام الحصى وتجربة دون وجود وسيط للتخزين الحراري، كما تضمنت المعاملات معالجة أولية لثمار التين عن طريق الغمر بمحلول ميتا باي سلفيت الصوديوم بتركيز 0.2% لمدة 30 دقيقة، والغمر بماء ساخن درجة حرارته [C°]90لمدة خمس دقائق (Krokida and Marionos، 2003).

حيث تمّ وضع 1kg من ثمار التين المعاملة بمادة ميتا باي سلفيت الصوديوم بتركيز 0.2% لمدة نصف ساعة على الرف الأول للمجفف من الأسفل، وفي الرف الثاني تم وضع 1 kg من ثمار التين المعاملة بالسلق على درجة حرارة [C]90 لمدة خمس دقائق، أما في الرف الثالث تمَ وضع ثمار التين غير المعاملة قبل التجفيف، وفي أرضية حجرة التجفيف تمَ وضع الحصى

كوسيط للتخزين الحراري، ومن ثمَ تكرار التجربة بوجود القرميد كوسيط للتخزين الحراري، وإعادتها عند عدم وجود وسيط للتخزين الحراري.

3.1.4- أجهزة القياس المستخدمة:

- مجموعة مقاييس حرارية موضعية (DT\2) لقياس درجات الحرارة والرطوبة النسبية، (UT33C) لقياس درجات الحرارة صيني المنشأ.
- ميزان كهربائي حساس دقة 0.01 (SF-400) صيني المنشأ.
- فرن كهربائي لتجفيف العينات وحساب رطوبتها (LIB/ صيني المنشأ).

يبين الشكل (8) بعض المقاييس المستخدمة في القياس.

مقياس درجات الحرارة والرطوبة **مقياس درجات الحرارة**

شكل (8) بعض الأجهزة المستخدمة في القياس

3.2- الاختبارات المدروسة:

3.2.1- تحديد المحتوى الرطوبي [%]: [AOAC، 2005]

تمَّ وضع [g] 4 من التين في طبق تجفيف موزون مسبقاً وجففت العينة في فرن عند درجة حرارة [$C°$]105 لمدة 4-3 ساعات وتركت لتبرد مدة 15 دقيقة بعد التجفيف ثمّ تمّ الوزن وحساب المحتوى الرطوبي من المعادلة:

$$\text{Moisture\%} = [w2-w3] / [w2-w1] * 100$$

w1: وزن الطبق فارغ [g].

w2: وزن الطبق مع العينة قبل التجفيف[g].

w3: وزن الطبق مع العينة بعد التجفيف[g].

3.2.2- تقدير درجة الحموضة:

تمّ قياس رقم الحموضة باستخدام جهاز pH meter في مخابر علوم الأغذية في كلية الزراعة بجامعة دمشق.

3.2.3- تقدير السكريات الكلية:

قدرت السكريات الكلية حسب طريقة Lane and Enyone تبعاً لما ذكره (Howrtiz، 1975).

3.2.4- الاختبارات الحسية (Hedonic scale):

تمّ إجراء الاختبار الحسي حسب (Larmond، 1997) والذي يعتمد على اختبار هدونيك والذي يعتبر من أكثر الاختبارات استعمالاً عندما يراد المقارنة بين العينات حيث يعبر الحكم عن درجة رضاه وسروره أو عدم رغبته في العينة المختبرة كاللون والطعم والرائحة والقبول العام والقوام، وعادة يستعمل مقياس من (9 – 1) ليعبر عن الرغبة في تفضيل العينة وفق الترتيب التالي:

منتهى الرغبة 9

رغبة شديدة جداً.....8

رغبة عادية.....7

رغبة قليلة.....6

لا أرغبها ولا أكرهها.....5

أكرهها قليلاً.....4

أكرهها نوعاً ما.....3

أكرهها بشدة.....2

منتهى الكره.....1

تمّ إجراء الاختبار الحسي من قبل مجموعة عشوائية مؤلفة من عدد معين من الأشخاص وتمّ أخذ متوسط جميع القراءات.

3.2.5- تحديد القياسات التصميمية:

المعطيات: نوع الفاكهة ومساحة اللاقط وبالتالي إمكانية حساب كمية الماء وكمية الطاقة، وبناء على ذلك تمّ حساب وقياس (فارس، 2021):

1. كمية الفاكهة (وزن الثمار المناسبة لكل رف تبعاً لكمية الحرارة المقدمة للمجفف).
2. سرعة الهواء باستخدام مقياس AR816 صيني المنشأ.
3. درجة الحرارة باستخدام مقياس UT33C صيني المنشأ.
4. الرطوبة المطلوبة باستخدام مقياس DT\2 (صيني المنشأ).
5. زمن التجفيف.

3.2.6- دراسة جريان القدرة الحرارية:

يعطى توازن الطاقة في المجمع بالمعادلة التالية (فارس، 2021):

$$IA_c = Q_u + Q_{cond} + Q_{conv} + Q_R + Q_\rho \quad \text{.....(1)}$$

حيث:

I : كمية الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح الامتصاص [W/m^2].

A_c : مساحة اللاقط [m^2].

Q_u : كمية الطاقة الحرارية المفيدة المعطاة للهواء [W].

Q_{cond} : كمية الطاقة الناتجة عن الضياع الحراري بالتوصيل من السطح الماص [W].

Q_{conv} : كمية الطاقة الناتجة عن الضياع الحراري بالحمل من السطح الماص [W].

Q_R : كمية الطاقة الناتجة عن إعادة إشعاع الأمواج طويلة الموجة للسطح الماص [W].

Q_ρ : كمية الطاقة الناتجة عن الضياع الحراري بالانعكاس من السطح الماص [W].

تجمع عادة مركبات الضياع الحراري الثلاثة Q_{cond} Q_{conv} و Q_R في مصطلح واحد يسمى Q_L أي:

$$Q_L = Q_{cond} + Q_{conv} + Q_R \quad \text{.....(2)}$$

إذا كان τ معامل النفوذية للزجاج العلوي و I_T هو الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على الماص لذلك :

$$I A_C = \tau I_T A_C \quad \text{.....(3)}$$

الطاقة الناتجة عن الانعكاس عن السطح الماص تعطى بالمعادلة التالية:

$$Q_\rho = \rho\,\tau\, I_T\, A_C \quad \text{.....(4)}$$

حيث ρ معامل الانعكاس للسطح الماص

بتعويض المعادلات: (2، 3، 4) في (1) نحصل على :

$$\tau\, I_T\, A_C = Q_U + Q_L + \rho\,\tau\, I_T\, A_C$$

أو:

$$Q_U = \tau\, I_T\, A_C\,(1-\rho) - Q_L$$

وللسطح الماص $\alpha = (1-\rho)$ حيث α معامل الامتصاص للسطح الماص لذلك:

$$Q_U = (\tau\alpha)\, I_T\, A_C - Q_L \quad \text{.....(5)}$$

Q_L : تتضمن مختلف أشكال الضياع الحراري [بالحمل والاشعاع] وتعطى بالصيغة التالية:

$$Q_L = U_L\, A_C\,(T_C - T_a) \quad \text{.....(6)}$$

حيث:

U_L : معامل انتقال الحرارة الكلي للماص [$Wm^{-2}K^{-1}$].

T_c : درجة الحرارة للماص في المجمع [K].

T_a : درجة حرارة الهواء الخارجي [K].

من المعادلات [5] و[6] تعطى الطاقة الحرارية المفيدة للمجمع بالمعادلة التالية:

$$Q_U = (\tau\alpha)\, I_T\, A_C - U_L\, A_C\,(T_C - T_a) \quad \text{.....(7)}$$

وبالتالي كمية الطاقة الحرارية المفيدة من أجل واحدة المساحة للمجمع:

$$q = (\tau\alpha)\, I_T - U_L\,(T_C - T_a) \quad \text{.....(8)}$$

إذا كان الهواء الساخن يغادر المجمع بنفس درجة حرارة المجمع فإن القدرة الحرارية المعطاة للهواء Q_g تعطى:

$$Q_g = m_a C_{pa} (T_C - T_a) \quad \text{.....(9)}$$

حيث:

$\dot{m}_a$: التدفق الكتلي للهواء المغادر للمجفف [kg/s].

C_{pa} : السعة الحرارية للهواء [kJ/kg.K].

عامل انتزاع الحرارة F_R هو النسبة بين كمية الطاقة الحرارية المعطاة للهواء إلى كمية الطاقة الحرارية المفيدة المكتسبة من المجمع لذلك:

$$F_R = \{m_a C_{pa} (T_C - T_a) \} \backslash \{(\tau\alpha) I_T A_C - U_L A_C (T_C - T_a)\} \quad \text{.(10)}$$

أو

$$Q_g = F_R (\tau\alpha) I_T A_C - F_R U_L A_C (T_C - T_a) \quad \text{.....(11)}$$

المردود الحراري للمجمع يعطى بالعلاقة:

$$\eta_C = \{ Q_g \} \backslash \{ I_T A_C \} \quad \text{.....(12)}$$

معادلة توازن الطاقة لعملية التجفيف:

الطاقة الكلية المطلوبة لعملية تجفيف كمية من الغذاء تقدر باستخدام معادلة توازن الطاقة لتبخر الماء:

$$m_w L_V = m_a C_P (T_1 - T_2) \quad \text{.....(13)}$$

حيث

m_w : كتلة الماء المتبخرة من مواد الغذاء [kg].

m_a : كتلة هواء التجفيف [kg].

T_2، T_1: درجة الحرارة الابتدائية والنهائية لهواء التجفيف.

C_p : السعة الحرارية عند ثبات الضغط [kJ/kg.K].

L_v : إنتالبي التبخر [kJ/kg].

– حساب معدل تدفق الكتلة m_a:

$$m_a = Q_a \backslash C_P * \Delta_T \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث:

C_P: السعة الحرارية للهواء [kj\kg.K].

Δ_T: الفرق بين متوسط درجة حرارة السطح الماص ودرجة حرارة الهواء الداخل للمجفف [$C°$]

وتحسب من العلاقة:

$$\Delta_T = \{(T_4+T_3)\backslash 2\}-\{(T_1+T_2)\backslash 2\}\ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث:

T_1: درجة حرارة الهواء عند الخروج من السطح الماص [$C°$].

T_2: درجة حرارة الهواء عند الدخول للسطح الماص [$C°$].

T_3: درجة حرارة السطح الماص عند نهايته العليا [$C°$].

T_4: درجة حرارة السطح الماص عند المدخل [$C°$]

أما كتلة الماء المتبخرة تحسب من المعادلة التالية:

$$m_w = \{ m_i (M_i - M_e) \} \setminus \{ 100 - M_e \} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

حيث

m_i : الكتلة الأولية للمادة المجففة [k_g].

M_e : محتوى الرطوبة المتوازن [%].

M_i : محتوى الرطوبة الأولي [%].

نسبة التجفيف: معدل تغير الرطوبة بالنسبة للزمن، تعطى بالمعادلة التالية:

$$dM/dt = \{(M_i - M_f)/ t \} * 100\% \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

حيث:

M_f : محتوى الرطوبة النهائي في المادة الغذائية.

3.3- تصميم التجربة والتحليل الإحصائي:

استخدم النموذج الخطي العام General Linear Model في حساب المتوسطات الحسابية والانحراف المعياري، كما استخدم برنامج الإحصاء (SPSS) عند مستوى معنوية ($P<0.05$) لإيجاد الفروق المعنوية بين المتوسطات، وعبر عن النتائج كمتوسطات ± الانحراف المعياري.

يبين الشكل (9) مخطط التجربة الذي تمّ العمل بموجبه عند كل من معاملات التخزين الحراري (قرميد، حصى، شاهد).

حيث أنَ:

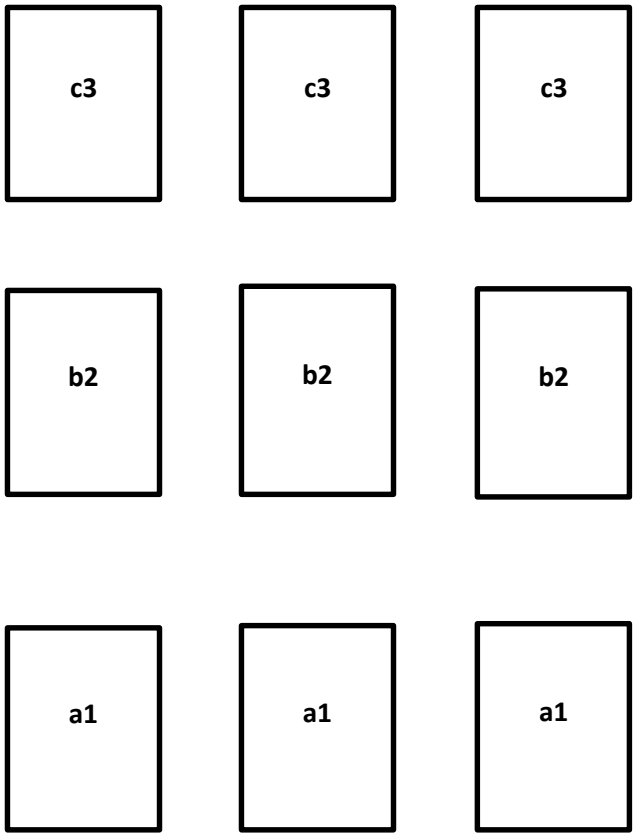
a : معاملة الثمار بالغمر بمحلول ميتا باي سلفيت الصوديوم بتركيز 0.2% لمدة 30 دقيقة.

b : معاملة الثمار بالغمر بالماء الساخن درجة حرارته [$C°$]90 لمدة خمس دقائق.

c : شاهد.

وتشير الأرقام 1،2،3 إلى رفوف المجفف الثلاثة مرتبة من الأسفل إلى الأعلى على التوالي.

عند إجراء التجربة تمّ وضع كمية [kg] 1 من ثمار التين في كل رف من رفوف المجفف باستخدام ثلاث مكررات.



شكل (9) مخطط التجربة

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

4- النتائج والمناقشة:

4.1- تأثير المعاملات ووسائط التخزين:

4.1.1- تأثير وسائط التخزين ومعاملة الثمار بالسلق على درجة حرارة [$C°$]90 في بعض المؤشرات الكيميائية لثمار التين المجففة:

يبين الجدول (1) القيم المتوسطة لثلاث مكررات لقيم المحتوى الرطوبي% والسكريات الكلية ودرجة الحموضة لثمار التين المعاملة بالسلق بعد تجفيفها وباستخدام الحصى والقرميد كوسيط تخزين حراري.

الجدول (1) نتائج بعض المؤشرات الكيميائية لثمار التين المجففة بعد غمرها بماء ساخن حرارته [$C°$]90 لمدة 5 دقائق بوجود وسائط التخزين الحراري (الحصى، القرميد)

المعاملة	وسيط التخزين	المحتوى الرطوبي [%]	السكريات الكلية [g\100g وزن جاف]	درجة الحموضة pH
سلق	حصى	0.27^{a}±19.93	0.64^{b}±62.81	0.26^{c}±4.54
	قرميد	0.37^{a}±19.75	0.46^{b}±62.67	0.28^{c}±4.36
	عدم وجود وسيط تخزين	0.32^{b}±21.61	0.64^{a}±63.91	0.25^{c}±4.25

تشير الأحرف المتشابهة إلى عدم وجود فروق معنوية (P<0.05) بين المتوسطات في العمود الواحد.

تبين القيم الواردة في الجدول (1) عدم وجود فروق معنوية في المحتوى الرطوبي لثمار التين عند استخدام الحصى أو القرميد كوسيط تخزين حراري. بينما لوحظ وجود فرق معنوي في كمية السكريات الكلية في العينات التي جففت دون وجود وسيط للتخزين الحراري بمقارنتها مع الحصى أو القرميد كوسيطي تخزين حراري.

كما أظهرت النتائج أنّ وسائط التخزين الحراري لم يكن لها أثر معنوي في درجة الحموضة مع الإشارة إلى أنّ أقل درجة حموضة كانت (4.25) للعينات التي جففت دون وجود وسيط للخزين.

هذا يتوافق مع دراسة أجراها (Slantar وآخرون، 2011) على ثمار التين، حيث بلغت نسبة السكريات الكلية لثمار التين المجففة خلال شهري تموز وأيلول لثمار الشاهد المجففة شمسياً 63.59 [g\100g].

4.1.2- تأثير وسائط التخزين ومعاملة الثمار بالغمر في محلول ميتا باي سلفيت الصوديوم بتركيز 0.2% في بعض المؤشرات الكيميائية لثمار التين المجففة:

يبين الجدول (2) قيم المحتوى الرطوبي والسكريات الكلية ودرجة الحموضة لثمار التين المعاملة بمادة ميتا باي سلفيت الصوديوم 0.2% بعد تجفيفها بوجود الحصى أو القرميد كوسيط تخزين حراري. يلاحظ من القيم المقاسة عدم وجود فروقات معنوية في كل من المحتوى الرطوبي والسكريات الكلية ودرجة الحموضة عند استخدام الحصى أو القرميد كوسيط تخزين حراري.

الجدول (2) نتائج بعض المؤشرات الكيميائية لثمار التين المعاملة بمادة ميتا باي سلفيت الصوديوم 0.2% بعد تجفيفها بوجود عدة وسائط تخزين حراري

المعاملة	وسيط التخزين	المحتوى الرطوبي [%]	السكريات الكلية [g\100g وزن جاف]	درجة الحموضة pH
المعاملة بمادة ميتا باي سلفيت الصوديوم بتركيز [0.2%]	حصى	$0.25^{a}\pm19.79$	$0.64^{b}\pm62.43$	$0.24^{c}\pm4.46$
	قرميد	$0.34^{a}\pm19.51$	$0.46^{b}\pm62.02$	$0.25^{c}\pm4.50$
	عدم وجود وسيط تخزين	$0.29^{b}\pm20.36$	$0.64^{a}\pm63.13$	$0.22^{c}\pm4.36$

تشير الأحرف المتشابهة إلى عدم وجود فروق معنوية ($P<0.05$) بين المتوسطات في العمود الواحد.

تبين القيم الواردة في الجدول (2) وجود فروق معنوية في المحتوى الرطوبي ونسبة السكريات الكلية للعينات التي جففت دون وجود وسيط للتخزين مقارنة مع استخدام الحصى أو القرميد كوسيط تخزين حراري.

4.1.3- تأثير وسائط التخزين الحراري (حصى، قرميد) في بعض المؤشرات الكيميائية لثمار التين المجففة ودون معالجة مسبقاً:

يبين الجدول (3) القيم المتوسطة لثلاث مكررات لقيم المحتوى الرطوبي والسكريات الكلية درجة الحموضة لثمار التين غير المعالجة مسبقاً عند استخدام الحصى أو القرميد كوسيطي تخزين حراري، حيث لوحظ عدم وجود فروق معنوية في نسبة السكريات الكلية والمحتوى الرطوبي

ودرجة الحموضة لثمار التين غير المعالجة والمجففة بوجود وسيطي التخزين الحراري (حصى أو قرميد).

من ناحية أخرى يتبين وجود فرق معنوية للعينات التي جففت دون وجود وسيط تخزين حراري مع العينات التي جففت بوجود الحصى أو القرميد كوسيط للتخزين الحراري.

هذا يتوافق مع دراسة قام بها (Fadl وآخرون، 2015) على ثمار التين المجففة بطرائق مختلفة (تجفيف هوائي، تجفيف هوائي بالميكروويف، تجفيف بالضغط، تجفيف بالضغط بالميكروويف) فكانت درجة الحموضة على التوالي (4.23–4.53–4.85–4.56) ونسبة السكريات الكلية على التوالي (63.14–64.27–64.71–65.01 g\100g) كما كانت قيم المحتوى الرطوبي (20.98–20.78–20.30–20.66 %).

الجدول (3) قيمة المحتوى الرطوبي% والسكريات الكلية ورقم الحموضة لثمار التين الغير معالجة مسبقاً والمجففة باستخدام وسائط تخزين حراري مختلفة

المعاملة	وسيط التخزين	المحتوى الرطوبي [%]	السكريات الكلية [g\100g وزن جاف]	درجة الحموضة pH
بدون معالجة مسبقة	حصى	0.25^{a}±23.17	0.64^{b}±64.51	0.24^{c}±4.43
	قرميد	0.34^{a}±23.41	0.46^{b}±64.79	0.25^{c}±4.27
	عدم وجود وسيط تخزين	0.29^{b}±24.53	0.64^{a}±65.83	0.22^{c}±4.22

تشير الأحرف المتشابهة في العمود الواحد إلى عدم وجود فروق معنوية ($P<0.05$).

4.2- تأثير زمن التجفيف في المحتوى الرطوبي:

4.2.1- تأثير زمن التجفيف في المحتوى الرطوبي للثمار المعالجة (سلق، الغمر بمحلول ميتا باي سلفيت الصوديوم) عند استخدام القرميد كوسيط تخزين حراري:

يبين الجدول (4) قيم المحتوى الرطوبي كتابع للزمن عند استخدام القرميد كوسيط تخزين حراري.

جدول (4) المحتوى الرطوبي [%] لثمار التين المجففة كتابع لزمن التجفيف عند استخدام القرميد كوسيط تخزين حراري

زمن التجفيف [h]	المحتوى الرطوبي %		
	الغمر بالماء الساخن [$C°$] 90	الغمر بميتا باي سلفيت الصوديوم 0.2%	دون معالجة مسبقة (شاهد)
6	69.46	69.34	71.77
27	45.72	45.61	47.61
51	35.67	35.23	37.9
75	29.73	29.61	31.11
99	19.75	19.51	23.41

يتبين من القيم الواردة في الجدول (4) اختلاف قيم المحتوى الرطوبي [%] لثمار التين المعاملة بالغمر بالماء الساخن حرارته [C°]90 والمعاملة بميتا باي سلفيت الصوديوم 0.2% وبدون معاملة عند نهاية زمن التجفيف، حيث بلغ المحتوى الرطوبي لها 19.75% للمعاملة بالسلق

و19.51% للثمار المعاملة بميتا باي سلفيت الصوديوم و23.41% للثمار غير المعالجة قبل التجفيف.

4.2.2- تأثير زمن التجفيف في المحتوى الرطوبي للثمار المعالجة (سلق، الغمر بمحلول ميتا باي سلفيت الصوديوم) عند استخدام الحصى كوسيط تخزين حراري:

يبين الجدول (5) قيم المحتوى الرطوبي كتابع للزمن عند استخدام الحصى كوسيط تخزين حراري.

جدول (5) المحتوى الرطوبي [%] خلال زمن التجفيف الكلي لثمار التين كتابع لزمن التجفيف عند استخدام الحصى كوسيط تخزين حراري

زمن التجفيف [h]	المحتوى الرطوبي%		
	الغمر بالماء الساخن [$C°$] 90	الغمر بميتا سلفيت الصوديوم 0.2%	دون معالجة مسبقة (شاهد)
6	72.74	72.67	74.81
27	50.95	50.81	52.69
51	39.59	39.44	41.52
75	35.34	35.21	37.34
99	28.41	28.39	31.33
123	19.93	19.79	23.17

يتبين من القيم الواردة في الجدول (5) اختلاف قيم المحتوى الرطوبي [%] لثمار التين المعاملة بالغمر بالماء الساخن حرارته [C°]90 والمعاملة بميتا باي سلفيت الصوديوم 0.2% وبدون

معاملة عند نهاية زمن التجفيف، حيث بلغ المحتوى الرطوبي لها 19.93% للمعاملة بالسلق و19.79% للثمار المعاملة بميتا باي سلفيت الصوديوم و23.17% للثمار غير المعالجة قبل التجفيف.

4.2.3- تأثير زمن التجفيف في المحتوى الرطوبي للثمار المعالجة (سلق، الغمر بمحلول ميتا باي سلفيت الصوديوم) عند عدم استخدام وسيط تخزين حراري:

يبين الشكل (6) قيم المحتوى الرطوبي كتابع للزمن عند عدم استخدام وسيط تخزين حراري.

جدول (6) المحتوى الرطوبي [%] خلال زمن التجفيف الكلي لثمار التين كتابع لزمن التجفيف عند عدم استخدام وسيط تخزين حراري

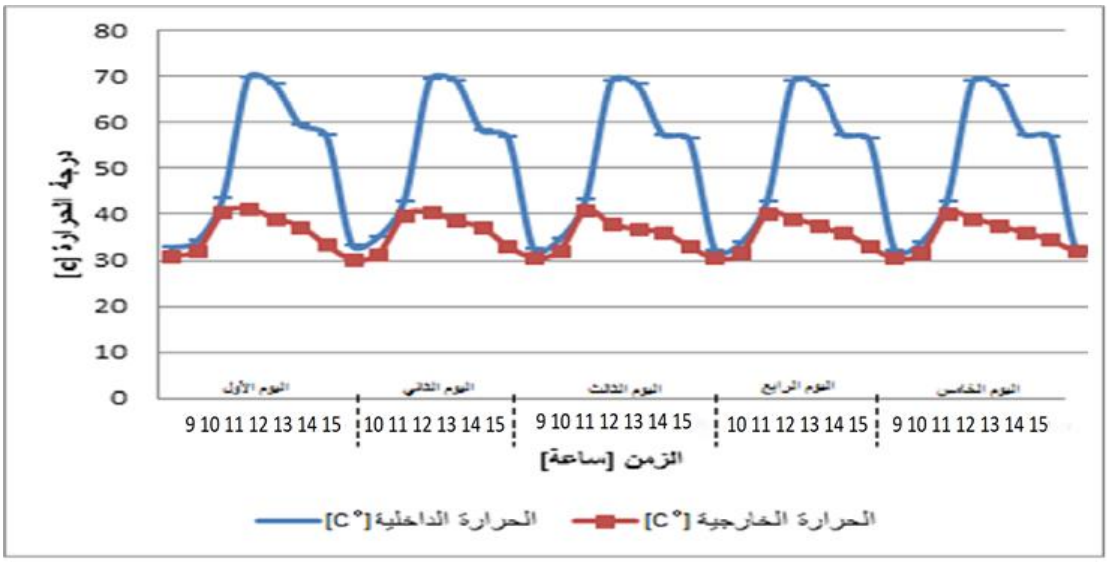
زمن التجفيف[h]	المحتوى الرطوبي%		
	الغمر بالماء الساخن [$C°$] 90	الغمر بميتا سلفيت الصوديوم 0.2%	دون معالجة مسبقة (شاهد)
6	75.52	75.43	76.11
27	57.23	57.11	58.81
51	46.74	46.69	47.72
75	38.66	38.52	39.02
99	29.89	29.81	30.33
123	25.82	25.67	26.16
147	21.16	20.36	24.53

يتبين من القيم الواردة في الجدول (6) اختلاف قيم المحتوى الرطوبي% لثمار التين المعاملة بالغمر بالماء الساخن حرارته [C°]90 والمعاملة بميتا باي سلفيت الصوديوم 0.2% وبدون معاملة عند نهاية زمن التجفيف، حيث بلغ المحتوى الرطوبي لها 21.16% للمعاملة بالسلق و20.36% للثمار المعاملة بميتا باي سلفيت الصوديوم و24.53% للثمار غير المعالجة قبل التجفيف.

يلاحظ من مقارنة الجدول (6) مع الجدولين (5) و(4) أنّ قيم المحتوى الرطوبي للثمار عند عدم وجود وسيط تخزين حراري كانت أعلى من مثيلاتها عند وسائط تخزين حراري ضمن المجفف الشمسي.

4.3- تغيرات درجة الحرارة ضمن المجفف الشمسي:

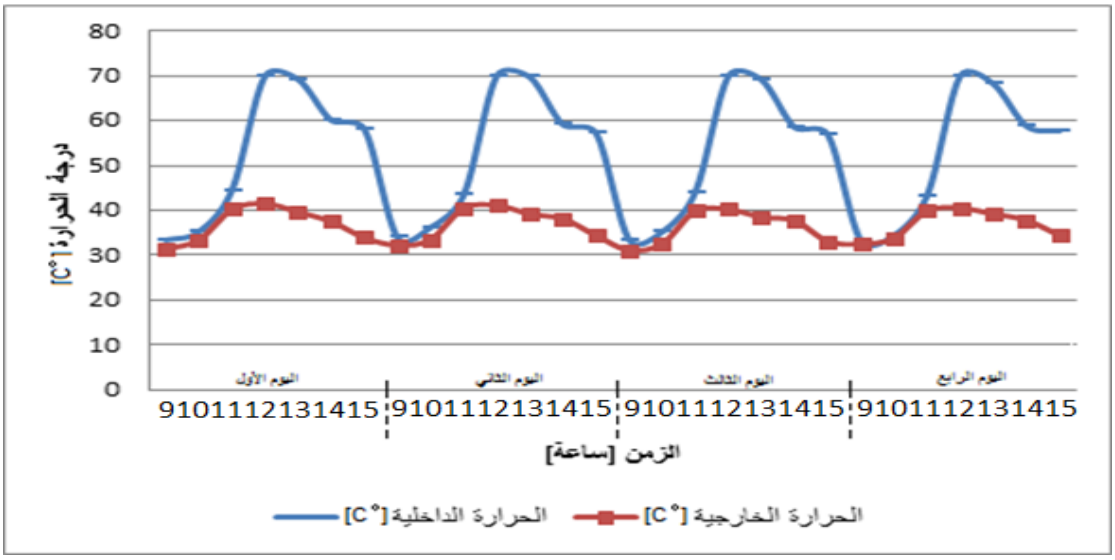
4.3.1- عند استخدام الحصى كوسيط للتخزين الحراري:



الشكل (10) درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط ودرجة الحرارة ضمن المجفف عند استخدام الحصى كتخزين الحراري

يبين الشكل (10) درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط المقاسة خلال فترة التجفيف ودرجة الحرارة داخل المجفف عند استخدام الحصى كتخزين حراري كتابع لزمن التجفيف مقدراً بالساعة. يلاحظ من المنحني المرسوم في الشكل (10) أنَ درجة حرارة الوسط الخارجي تراوحت ما بين (29.5–40.1[$C°$]) بينما تراوحت درجة الحرارة ضمن المجفف ما بين (32.1–69.9[$C°$])، وقد كانت أعلى قيمة مسجلة 69.9[$C°$] عند الساعة 12 ظهراً.

4.3.2- عند استخدام القرميد كوسيط تخزين حراري:



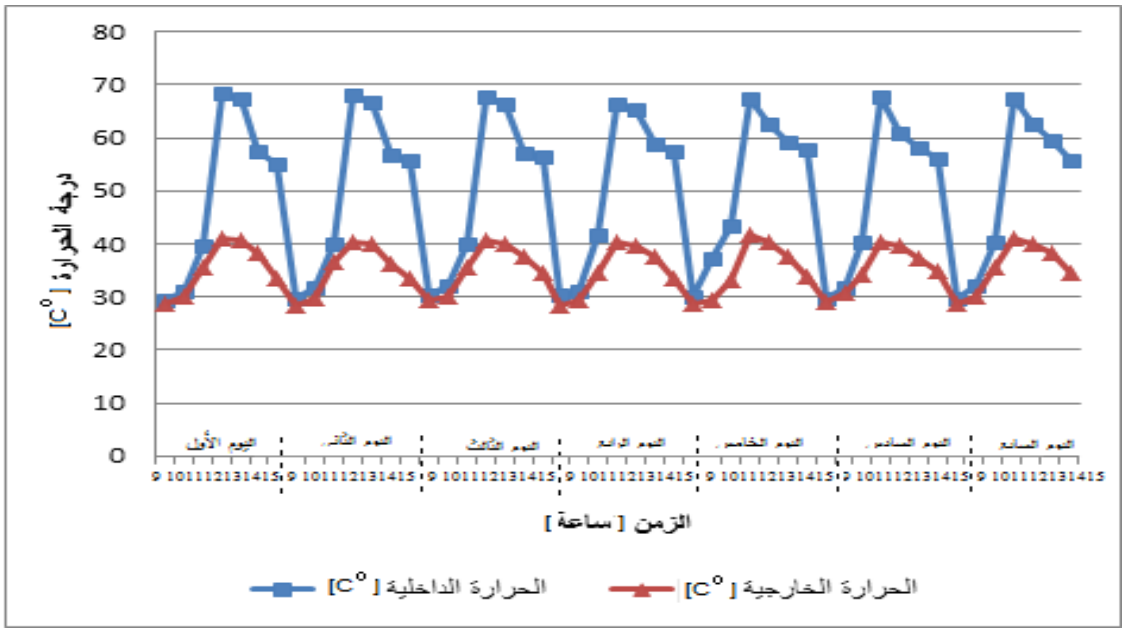
الشكل (11) درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط ودرجة الحرارة ضمن المجفف عند استخدام القرميد كتخزين الحراري

يبين الشكل (11) درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط المقاسة خلال فترة التجفيف ودرجة الحرارة داخل المجفف عند استخدام الحصى كتخزين حراري كتابع لزمن التجفيف مقدراً بالساعة. يلاحظ من المنحني المرسوم في الشكل (11) أنَ درجة حرارة الوسط الخارجي تراوحت ما بين

°([C] 31.4–41.5) بينما تراوحت درجة الحرارة ضمن المجفف ما بين ([C°] 33.2–70),

وقد كانت أعلى قيمة مسجلة [C°] 70 عند الساعة 12 ظهراً.

4.3.3- عند عدم استخدام وسيط تخزين حراري:



الشكل (12) درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط ودرجة الحرارة ضمن المجفف عند عدم استخدام وسيط تخزين حراري

يبين الشكل (12) درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط المقاسة خلال فترة التجفيف ودرجة الحرارة داخل المجفف عند عدم استخدام وسيط تخزين حراري كتابع لزمن التجفيف مقدراً بالساعة. يلاحظ من المنحني المرسوم في الشكل (12) أنَ درجة حرارة الوسط الخارجي تراوحت ما بين ([C° 28.4–41.2) بينما تراوحت درجة الحرارة ضمن المجفف ما بين ([C°]29.3–68.1) وقد بلغت أعلى قيمة مسجلة [C°] 68.1 عند الساعة 12 ظهراً.

4.4- المحتوى الرطوبي لثمار التين المجففة:

يبين الجدول (7) وزن 2 حبة من ثمار التين الطازجة والوزن النهائي عند انتهاء عملية التجفيف والمحتوى الرطوبي النهائي لكل معاملة من المعاملات لحبات التين وعلى اختلاف وسائط التخزين.

جدول (8): المحتوى الرطوبي النهائي لثمار التين لكل وسيط من وسائط التخزين

نوع وسيط التخزين	معاملة الثمار	وزن 2 حبة من ثمار طازجة [g]	وزن 2 حبة من الثمار بعد انتهاء التجفيف [g]	المحتوى الرطوبي [%]
قرميد	سلق الثمار	19.23	4.32	19.75
	غمر بمبتا باي سلفيت الصوديوم	19.75	3.70	19.51
	الشاهد	20.37	3.95	23.41
حصى	سلق الثمار	14.81	5.34	19.93
	غمر بمبتا باي سلفيت الصوديوم	23.49	3.37	19.79
	الشاهد	17.89	5.18	23.17
دون وسيط تخزين	سلق الثمار	20.08	4.30	21.61
	غمر بمبتا باي سلفيت الصوديوم	16.03	4.82	20.36
	الشاهد	18.66	6.27	24.53

4.5- تحديد المردود الحراري للاقط الشمسي:

يبين الجدول (8) قيم كفاءة اللاقط الشمسي المحسوبة خلال شهر تموز من العام 2019 م من الساعة التاسعة صباحاً وحتى الساعة الرابعة. يتبين من القيم الواردة في الجدول (9.4) أنّ معامل كفاءة اللاقط الشمسي عند الساعة 9 صباحاً كانت 0.818 حتى سجلت أعلى قيمة للمردود عند الساعة 12 ظهراً، حيث كانت 0.923، وبعد ذلك بدأت بالتناقص حيث كانت قيمة المردود للاقط الشمسي عند الساعة 4 مساءً 0.622.

حيث:

T_C: درجة حرارة السطح الماص $[C°]$.

T_a: درجة حرارة هواء التجفيف $[C°]$.

m_a: كتلة الهواء المتدفق [kg\s].

I_T: كمية الإشعاع الشمسي الكلي الواصل على السطح الماص $[W\m^2]$.

Q_a: كمية الطاقة المعطاة للهواء [W].

Q_L: كمية الطاقة الضائعة [W].

Q_T: كمية الطاقة الكلية [W].

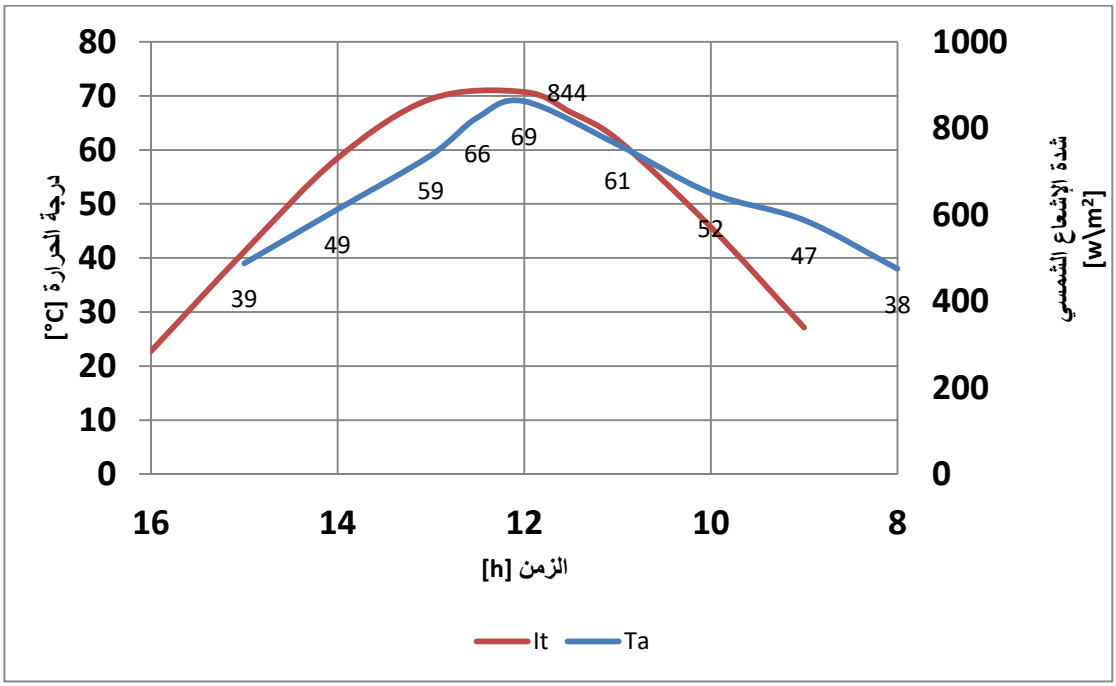
η_C: المردود الحراري للاقط الشمسي.

جدول (9) قيم كفاءة اللاقط الشمسي									
η_C	Q_T [w]	Q_L [w]	Q_a [w]	m_a [kg\s]	T_a [$C°$]	T_c [$C°$]	I_T [w\m^2]	A	Time [h]
0.818	155.1	42.78	112.32	0.003	28	45	338.9	0.659	9
0.891	253.15	46.82	206.33	0.005	30.5	48.75	571.7	0.789	10
0.916	339.1	51.82	287.23	0.006	33.1	52.55	773.9	0.871	11
0.921	366.1	53.86	312.2	0.004	35	57.5	836.9	0.884	11.30
0.923	386.4	55.45	330.97	0.004	37.7	59.85	884	0.899	12
0.917	380.6	58.09	322.51	0.004	36.5	58.75	868	0.871	13
0.897	323.6	58.19	265.38	0.003	34.5	57.75	730.8	0.789	14
0.840	232.9	57.75	175.14	0.003	32	56	514.6	0.659	15
0.622	109.6	52.98	56.61	0.001	30.5	55.75	284.17	0.490	16

4.6 – منحنيات اختبار اللاقط الشمسي:

4.6.1- منحني درجة حرارة هواء التجفيف T_a وشدة الإشعاع الشمسي I_T:

يبين الشكل (13) قيم كمية الطاقة الممتصة للاقط الشمسي ودرجة حرارة الهواء عند الداخل إلى حجرة التجفيف كتابع للزمن .

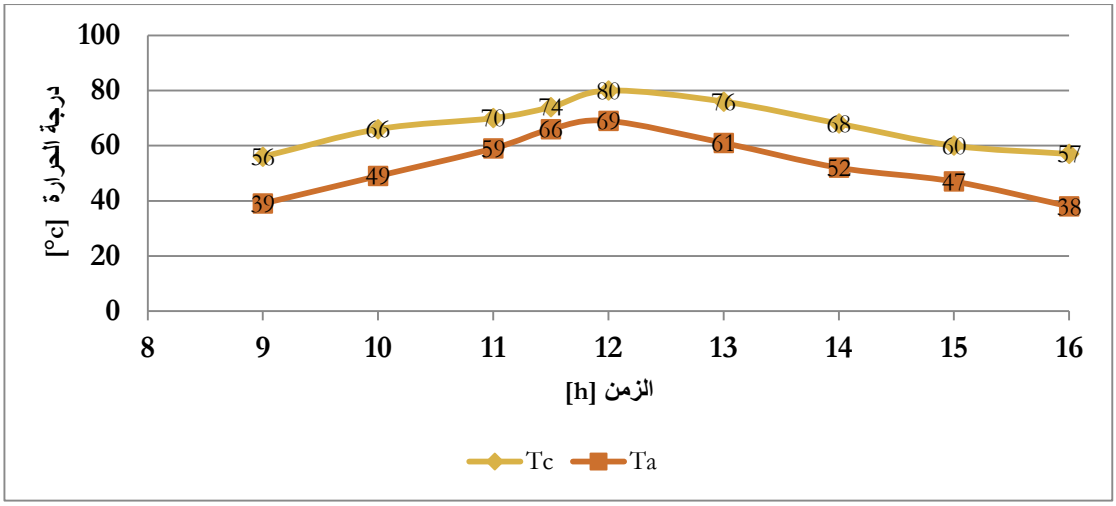


الشكل (13) درجة حرارة الهواء الداخل إلى حجرة التجفيف وشدة الإشعاع الشمسي

يلاحظ من الشكل (13) أنّه عند الساعة 8 صباحاً كانت درجة حرارة الهواء الداخل إلى حجرة التجفيف $38[C°]$ وبلغت شدة الإشعاع الشمسي 338.9 [w\m^2] وأخذت القيم بالتزايد حتى بلغت شدة الإشعاع الشمسي أعلى قيمة لها 884 [w\m^2] عند الساعة 12 ظهراً حيث كانت درجة حرارة الهواء الداخل إلى حجرة التجفيف $69[C°]$ لتتناقص بعدها شدة الإشعاع الشمسي إلى أقل قيمة لها 284.17 [w\m^2] عند الساعة 4 مساءً.

4.6.2- منحني درجة حرارة الهواء الداخل إلى حجرة التجفيف T_a ودرجة حرارة السطح الماص T_c:

يبين الشكل (14) قيم درجة حرارة السطح الماص ودرجة حرارة الهواء الداخل إلى حجرة التجفيف كتابع للزمن.

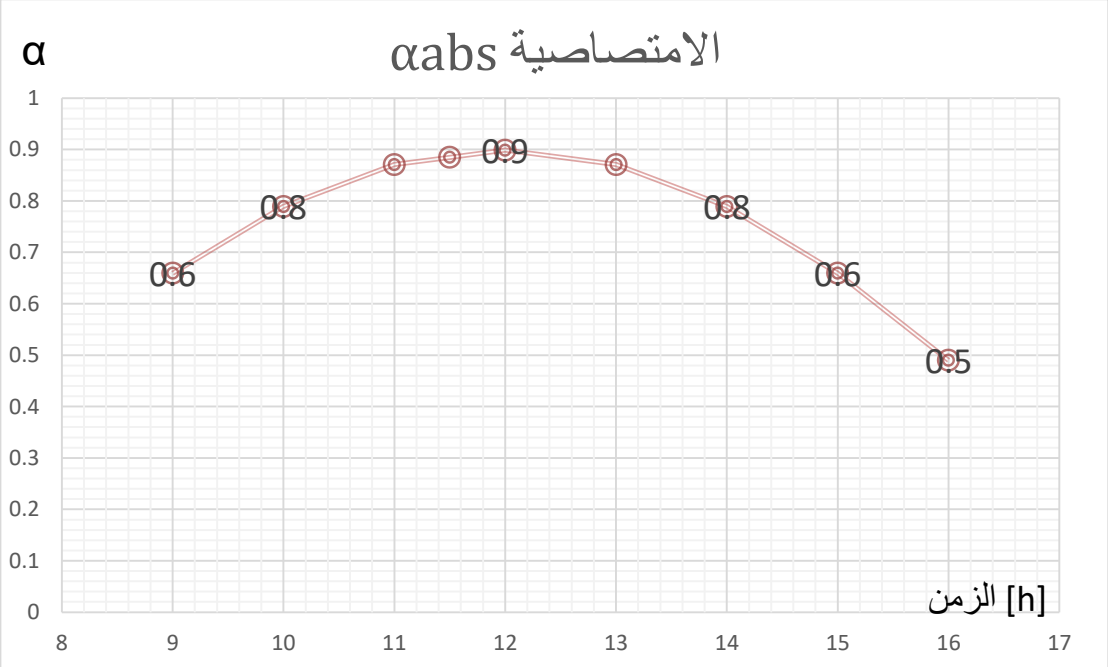


الشكل (14) درجة حرارة الهواء الداخل إلى حجرة التجفيف ودرجة حرارة السطح الماص كتابع للزمن

نلاحظ من الشكل (14) أنّه عند الساعة 9 صباحاً كانت درجة حرارة الهواء الداخل إلى حجرة التجفيف $39[C°]$ ودرجة حرارة السطح الماص $56[C°]$ لتبدأ بعدها درجات الحرارة بالتزايد حيث كانت درجة حرارة الهواء الداخل إلى حجرة التجفيف $69[C°]$ ودرجة حرارة السطح الماص $80[C°]$ عند الساعة 12 ظهراً ثمّ انخفضت درجة حرارة هواء التجفيف حتى $38[C°]$ ودرجة حرارة السطح الماص حتى $57[C°]$ عند الساعة 4 مساءً.

4.6.3- منحني الامتصاصية للسطح الماص α_{abs}:

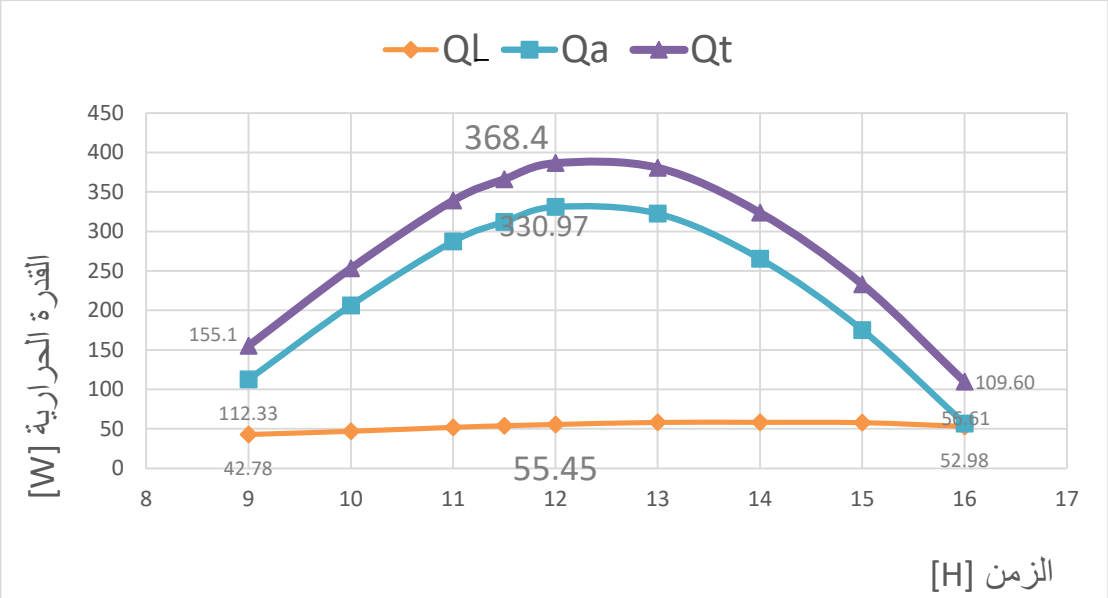
يبين الشكل (15) قيم الامتصاصية للسطح الماص α_{abs} خلال ساعات النهار، حيث يلاحظ من الشكل أنّ قيم معامل الامتصاصية للسطح الماص تراوحت ما بين (0.5-0.9)، حيث كانت قيمة معامل الامتصاصية عند الظهيرة 0.9، بينما عند الصباح كانت 0.6 وعند المساء 0.5، ومن الشكل يتبين أن قيمة معامل الامتصاصية تتعلق بالإشعاع الشمسي ومسقطه على الناظم أو السطح، فكلما زادت شدة الإشعاع الشمسي قلت الانعكاسية ρ وزادت قيمة معامل الامتصاصية α_{abs}.



الشكل (15) معامل الامتصاصية α_{abs}

4.6.4- منحني كمية الطاقة الواصلة للسطح للماص Q_T وكمية الطاقة المعطاة للهواء Q_a وكمية الطاقة الضائعة Q_L:

يبين الشكل (16) كمية الطاقة الممتصة من قبل اللاقط الشمسي Q_T والطاقة المعطاة للهواء Q_a والطاقة الضائعة Q_L كتابع للزمن.



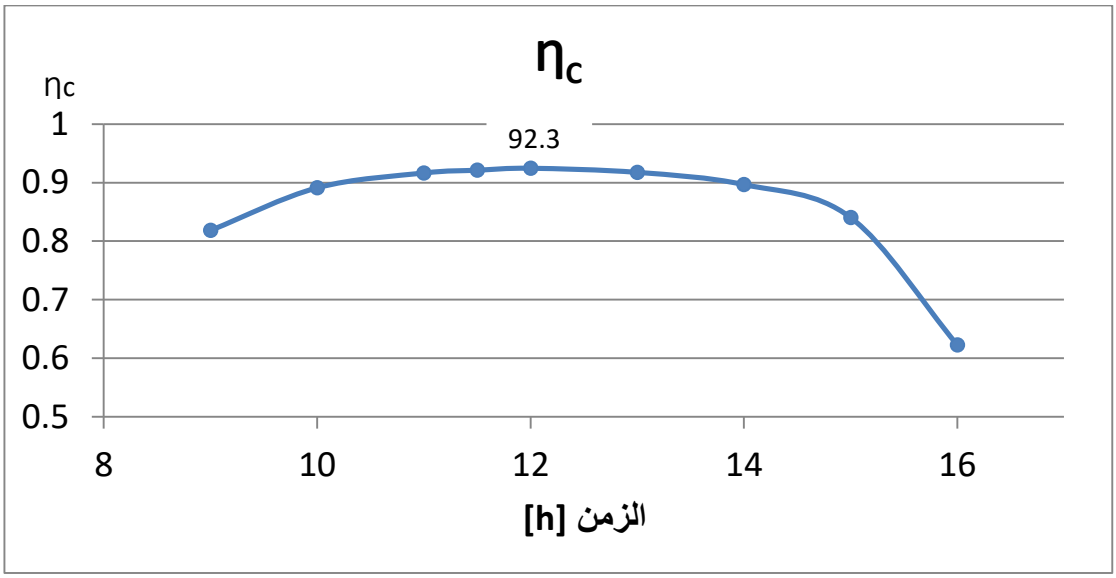
الشكل (16) منحني كمية الطاقة الممتصة والمعطاة للهواء والضائعة كتابع للزمن

يلاحظ من الشكل (16) قيم كمية الطاقة الضائعة خلال ساعات النهار فكانت عند الساعة 9 صباحاً [w]42.78 حيث أخذت بالتزايد مع زيادة الإشعاع الشمسي لتصل إلى أعلى قيمة عند الساعة 12 ظهراً حيث بلغت [W] 55.45 ومع تناقص الإشعاع الشمسي بلغت أقل قيمة لها عند المساء [W] 52.98، بينما كانت كمية الطاقة المعطاة للهواء عند الساعة 9 صباحاً [w]112.32 وازدادت هذه القيمة مع ساعات النهار لتصل إلى أعلى قيمة [w]330.97 عند الساعة 12 ظهراً ثمّ تعود بالانخفاض حتى تصل إلى أقل قيمة لها عند الساعة 4 مساءً حيث كانت [w]56.61.

يبين الشكل (16) قيم كمية الطاقة الواصلة إلى السطح الماص خلال ساعات النهار حيث يلاحظ أنّ معدل الطاقة عند ساعات الصباح كانت قليلة لتأخذ بعدها بالتزايد حتى وصلت إلى أعلى قيمة [w]386.4 عند الساعة 12 ظهراً لتعود مرة أخرى للتناقص حتى وصلت إلى أقل قيمة لها [w]109.6 عند المساء.

4.6.5- منحني مردود الحراري للمجمع η_c:

يبين الشكل (17) منحني المردود الحراري للاقط الشمسي خلال ساعات النهار. يلاحظ من الشكل أنّ المردود الحراري للاقط الشمسي يزداد مع ازدياد درجات الحرارة التي تراوحت ما بين 62.2-92.3 % وبلغت أعلى قيمة عند الساعة 12 ظهراً وبلغت 92.3%.



الشكل (17) منحني المردود الحراري للمجمع كتابع للزمن

4.7- الاختبارات الحسية لثمار التين المجففة:

يتبين من الجدول (10) عدم وجود فروق معنوية في كل من الطعم والرائحة والقبول العام، بينما يلاحظ وجود فروق معنوية في القوام بالنسبة لثمار التين التي بقيت دون معاملة مسبقة (شاهد)، أيضاً يوجد فروق معنوية بالنسبة للون عند وجود القرميد لكل من (سلق، ميتا، شاهد)، أما بالنسبة للحصى والمعاملات دون وسيط تخزين كانت الفروقات بالنسبة للشاهد.

جدول (10) الخصائص الحسية لثمار التين المجففة حسب المعاملات المختلفة

المعاملات		الاختبارات الحسية				
		طعم	قوام	رائحة	لون	قبول عام
قرميد	سلق	8.50^{a}	7.75^{ab}	8.75^{a}	6.50^{ab}	7.50^{a}
	ميتا	8.25^{a}	7.50^{ab}	8.50^{a}	5.75^{a}	8.50^{a}
	الشاهد	8.00^{a}	5.00^{a}	8.00^{a}	5.00^{b}	7.75^{a}
حصى	سلق	8.75^{a}	7.50^{ab}	8.50^{a}	6.00^{ab}	7.25^{a}
	ميتا	8.50^{a}	7.25^{ab}	8.25^{a}	6.00^{ab}	7.75^{a}
	الشاهد	8.25^{a}	5.00^{a}	8.00^{a}	5.00^{b}	7.50^{a}
دون وسيط تخزين	سلق	8.25^{a}	7.25^{ab}	8.25^{a}	6.75^{ab}	7.25^{a}
	ميتا	8.00^{a}	7.25^{ab}	8.75^{a}	6.00^{ab}	8.00^{a}
	الشاهد	7.75^{a}	5.75^{a}	8.25^{a}	5.50^{b}	7.25^{a}

تشير الأحرف المتشابهة في العمود الواحد إلى عدم وجود فروق معنوية عند مستوى خطأ 0.05.

الفصل الخامس

الاستنتاجات والتوصيات

5.1- الاستنتاجات:

1. تبين أنّ استخدام القرميد كوسيط تخزين حراري كان أفضل من استخدام الحصى نظراً لانخفاض الزمن الكلي للتجفيف.
2. عدم وجود تأثير معنوي لنوع وسيط التخزين الحراري المستخدم للثمار في بعض المؤشرات الكيميائية [السكريات الكلية –درجة الحموضة]، ويلاحظ أنّ استخدام القرميد كان أفضل.
3. بينت الاختبارات الحسية عدم وجود تأثير غير معنوي لنوع وسيط التخزين الحراري في كل من الطعم والرائحة والقوام، في حين كان معاملة الثمار بالسلق قبل تجفيفها أثر إيجابي في تحسين اللون والطعم والقوام.
4. يتناسب زمن التجفيف طرداً مع درجة حرارة هواء التجفيف وتدفق الهواء الداخل إلى اللاقط الشمسي.

5.2- التوصيات:

1. ينصح بإضافة وسيط تخزين حراري للمجفف الشمسي غير المباشر أثناء عملية التجفيف (ينصح باستخدام القرميد).
2. معاملة الثمار قبل تجفيفها بشكل عام (معاملة الثمار بالسلق على درجة حرارة 90[C] لمدة خمس دقائق).
3. إجراء عملية تبديل بين الرفوف كل بضع ساعات لضمان تجانس توزع الحرارة.

المراجع العلمية

المراجع باللغة العربية:

1. الحلفي، أسعد. 2007. تصميم وتصنيع واختبار مجفف شمسي شبه مختلط لتجفيف التمر، مجلة البصرة لأبحاث نخلة التمر، المجلد 6، العدد 1، السنة 2007.
2. الحلفي، أسعد. 2010. تحوير الإطارات التالفة إلى مجففات شمسية مباشرة ودراسة كفاءتها في تجفيف الأغذية، مجلة أبحاث البصرة، العدد 36.
3. الحلفي، أسعد. 2012. التجفيف بالطاقة الشمسية، مطبوعات جامعة البصرة، العراق، ص122.
4. المجموعات الإحصائية الصادرة عن وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، (2018).
5. اشتية، محمد. 2010. التجفيف الشمسي للفواكه والخضراوات، مركز أبحاث التنوع الحيوي والبيئة، فلسطين، ص 17.
6. حسن، أبو بكر. ربيع، ممدوح. شادي، الجمال. 2005. مشروع إنتاج الأغذية المجففة، كلية الزراعة، جامعة المنصورة، مصر، ص68.
7. طلي، روعة. 2015. تأثير طرق التجفيف الصناعي في محتوى شرائح التفاح من مضادات الأكسدة ومعايير الجودة، رسالة دكتوراه، جامعة دمشق، كلية الزراعة، قسم علوم الأغذية.
8. فارس، أمينة. 2021. أنظمة التسخين الشمسي 2، منشورات جامعة دمشق.

المراجع باللغة الإنكليزية:

1. AOAC. 2005. Determination of Moisture, Ash, Protein and Fat, Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical chemists, Washington DC, 1-43.
2. Choicha,S. Boubekri,A. Mennouche,D. Berrbeuh,M.H. 2013. Solar Drying Sliced Potatoes, An Experimental Investigation, Advancement In Renewable Energy And Clean Environment, Vol.36, pp:1276-1285.
3. Dincer,I. 1996. Sun Drying Of Sultana Grapes, Drying Technology, 14[7/8], pp:1827- 1838.
4. Fadl,A. Ghanem,M. Elbadry,T.H. Naser,A. 2015. Effect of some different drying methods on quality criteria of dried fig fruit. Research, Egypt, Vol. [04], Issue. 04, pp:548- 566.
5. Hajar,E. Rachid,T. Najib,B. 2017. Conception Of Solar Air Collector For Dehydration Of Chamomile, Energy Procedia Magazine, Vol. 57, pp:2249-2254.
6. Howrtiz,W. 1975. Official Methods Of Analysis Association Official Analytical Chemical, Washington.

7. Jairaj,K.S. Singh,S.P. Srikant,K. 2009. Solar drying, solar energy, vol.83(9), pp:1689-1712.

8. Krokida,M.K. and Marionos,K.D. 2003. Rehydration Kinetics Of Dehydrated Products, Journal Of Food Engineering, 57[1-7], p:135.

9. Larmond,E. 1997. Laboratory Methods For Sensory Evaluation Of Food, Canada Department Of Agricultural, Ottawa, NO.1637.

10. Lingayat,A. Chandramohan,V.P. Raju,V.R.K. 2016. Design Development And Performance Of Indirect Type Solar Dryer For Banana, Energy Procedia Magazine, IRAN, Vol.109, pp.409-416.

11. Lopez,C. Cesar,L. Issac,P. Auturo,N. 2015. Drying Of Strawberry In A Direct And Indirect Solar Dryer Effects Of Drying Methods On Total Phenolic content, Journal Of Advances In Agricultural And Environmental Engineering, Vol. 2, pp:2349-1523.

12. Musembi,M.N. Kiptoo,K.S. Yuichi,N. 2016. Design And Analysis Of Solar Dryer For Mid-Latitude Region, Solar Energy, Vol.08, Issue.12.

13. Niranjan,T. Rajender,G. Reddy,P. Kumar,A. 2018. Study On Osmotic Dehydration Of Fig Fruit Slices, Journal Of Current Microbiology Applied Sciences, Vol.7, Issue.7, pp:3198-3205.

14. Noutifa,Y. Alem,Ch. Benali,A. Zegzouti,Y.F. 2018. Design Of Solar Dryer For Small- Farm Level Use And Studying Fig Quality, Acta Sci, Pol, Technol.Aliment, Vol.17(4), Pp:359-365.

15. Rahemi,m. Bakhshi,D. Jafari,M. chamane,R. 2016. Phytochemical Attributes Of Some Dried Fig Fruit cultivars Grown In Iran, Agricultural Conspectus Scientifics, IRAN, Vol. 81, No. 03, pp:27-81.

16. Slantar,A. Klancer,V. Stampar,F. Veberic,R. 2011. Effect Of Draying Of Figs On The Contents Of Sugars Organic Acids, and Phenolic compounds, Journal Agricultural And Food Chemists, 3b2:Ver.9.

17. Sopin,K. Fudholi,A. Ruslan,M.H. Alghoul,M.A. Sulaiman,M.Y. 2017. Review Of Solar Dryers For Agricultural And Marine Products, Renewable Sustainable Energy, National University Of Malysia, Rev.14:1030.

18. Troftgruben,J. 1997. Drying Food, University Of Illinois College Of Agricultural, Cooperative Extension Services, circular 1227.

ملحق جدول الرموز		
الرمز	**الدلالة**	**الواحدة**
I	كمية الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على السطح الماص	$W\backslash m^2$
A_C	مساحة اللاقط	m^2
Q_U	كمية الطاقة الحرارية المفيدة المعطاة للهواء	W
Q_{cond}	كمية الطاقة الحرارية الناتجة عن الضياع بالتوصيل من السطح الماص	W
Q_{conv}	كمية الطاقة الحرارية الناتجة عن الضياع بالحمل من السطح الماص	W
Q_R	كمية الطاقة الناتجة عن إعادة إشعاع الأمواج طويلة الموجة للسطح الماص	W
Q_ρ	كمية الطاقة الناتجة عن الضياع الحراري بالانعكاس من السطح الماص	W
Q_g	كمية الطاقة الحرارية المفيدة	W
τ	معامل النفوذية	–
ρ	معامل الانعكاسية	–
α	معامل الامتصاصية	–
U_L	معامل انتقال الحرارة الكلي للماص	$Wm^{-2}k^{-1}$
T_c	درجة حرارة الماص في المجمع	Kal
T_a	درجة حرارة الهواء الخارجي	Kal
m_a	تدفق كتلي للهواء	Kg/s
C_{pa}	سعة حرارية للهواء	KJ/Kg.k
F_R	معامل انتزاع الحرارة	–
m_w	كتلة ماء متبخرة من الغذاء	Kg
m_a	كتلة هواء تجفيف	Kg
T1	درجة حرارة ابتدائية	Kal
T2	درجة حرارة نهائية	Kal
L_V	إنتالبي تبخر	Kj/Kg