تأثير التجفيف الشمسي لشرائح البندورة في محتواها من الليكوبين والفينولات ومضادات الأكسدة

أ.د.رمضان عطرة*،أ.د.محمد مصري**، م.نور زين العابدين***

الملخص

تعدّ طريقة التجفيف الشمسي من أقدم الطرق التي استخدمها الإنسان لحفظ المنتجات الغذائية، حيث تتم عملية التجفيف الشمسي بأشعة الشمس المباشرة أو بالتجفيف غير المباشر بالاستفادة من حرارة الهواء. في هذه الدراسة، تم استخدام طريقة التجفيف الشمسي لتجفيف شرائح البندورة ودراسة تأثير عملية التجفيف الشمسي المباشر والتجفيف الشمسي غير المباشر بواسطة مجفف شمسي هجين تم تصميمه لهذه الدراسة وكذلك ظروف تخزين المنتج المجفف في محتوى الليكوبين، والفينولات الكلية، وخصائص مضادات الأكسدة DPPH.

تراوحت نسبة الرطوبة في الشرائح المجففة بالتجفيف المباشر من 13.072 إلى 16.332% بينما بالمجفف الهجين من9.084 إلى 12.107% خلال التخزين، تراوحت القيمة الوسطى لمحتوى الليكوبين بالتجفيف المباشر من 21.29 إلى 19.25مغ/100غ، بينما بالمجفف الهجين من 30.78 إلى 28.76مغ/100غ خلال التخزين. تراوحت القيمة المتوسطة لمحتوى الفينولات الكلية بالتجفيف المباشر من 279.74 إلى 177.56 مغGA/100غ وزن جاف، وبالمجفف الهجين من 397.39 إلى 300.04مغGA/100غ وزن جاف أثناء التخزين، وتراوحت قيم نشاط الكسح الجذري DPPH بالتجفيف المباشر من 80.51 إلى 71.75٪، وبالمجفف الهجين من 90.14 إلى 83.54٪. أظهرت شريحة البندورة المجففة بالمجفف الهجين احتفاظاً أعلى بالليكوبين والفينولات الكلية ومضادات الأكسدة وجودة أفضل مقارنة بالتجفيف المباشر.

الكلمات المفتاحية: التجفيف، الليكوبين، الفينولات، مضادات الأكسدة.

* أستاذ في قسم الهندسة الغذائية، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، جامعة البعث.
* أستاذ في قسم علوم الأغذية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة البعث.

*** عضو هيئة فنية في قسم الهندسة الغذائية، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، جامعة البعث.

Effect of solar drying and storage period on the content of lycopene, phenols and antioxidants of tomato slices

Ramdan Utra*, Mohamed Massri**, Eng. Nour Zien Alabiden*

Abstract

The sun drying method is one of the oldest methods used by humans to preserve food products, as the sun drying process is carried out by direct sunlight or by indirect drying by using hot air. In this study, the sun drying method was used to dry tomato slices and study the effect of direct sun drying and indirect sun drying by a hybrid solar dryer designed for this study, as well as the storage conditions of the dried product in lycopene contents, total phenols contents, and antioxidant properties DPPH of tomatoes.

The moisture percentage in the dried slices by direct drying ranged from 13.072 to 16.332%, while in the hybrid dryer from 9.084 to 12.107% during storage. The value of lycopene content obtained for sun dried tomatoes ranged from 21.29 to 19.25mg/100g, and hybrid dried ranged from 30.78 to 28.76mg/100g during storage. The average value of total phenols contents obtained for sun dried tomatoes ranged from 279.74 to 177.56mgGA/100gDM, and hybrid dried ranged from 397.39 to 300.04mgGA/100gDM during storage. The values of radical scavenging activity obtained for sun dried tomatoes ranged from 80.51 to 71.75%, and hybrid dried ranged from 90.14 to 83.54%.

Hybrid dried tomatoes slice showed higher retention of lycopene, total phenols content, antioxidants activity, and higher quality than the open sundried method.

Keywords: drying, lycopene, total phenols, antioxidants.

*Prof.Dr. Department of Food Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Al-Baath University.

**Prof.Dr. Department of Food Science, Faculty of Agricultural Engineering,Al-Baath University.

*** Eng. Department of Food Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Al-Baath University.

1.مقدمة:

يعد التجفيف طريقة حفظ شائعة للمواد الغذائية إذ يساعد التجفيف على إطالة العمر الافتراضي للمادة، وتقليل حجم المنتج بشكل كبير، واتساع تنوعها وزيادة تطبيقات منتجاتها وتحسين جودة المنتجات وزيادة الفوائد الاقتصادية. تعتمد جودة المنتجات النهائية بشكل كبير على تقنية التجفيف ومتغيرات العملية المستخدمة[1]، كما أن التجفيف يؤثر في الخصائص الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية للأغذية[2].

يعد التجفيف بالهواء الساخن من أكثر العمليات استخداماً لتجفيف الخضار والفواكه[3]، ولكن من العيوب الرئيسية المرتبطة بالتجفيف بالهواء الساخن أنه يستغرق وقتاً طويلاً، مما قد يتسبب في أضرار للنكهة واللون والعناصر الغذائية في المنتجات الغذائية المجففة[4].

تنتمي البندورة إلى عائلة Solanaceae، وهي من الخضروات الرئيسة المزروعة والأكثر استهلاكاً على نطاق واسع في العالم، وبالتالي فهي ذات أهمية استراتيجية، لكنها موسمية حيث تتوافر بكميات كبيرة في موسم معين من السنة[5]. تم الاهتمام حديثاً بالمركبات المضادة للأكسدة في منتجات البندورة لأنها تلعب دوراً مهماً في الوقاية من السرطان[6]، تعتبر البندورة مصدراً مهماً لفيتامين C والمركبات الفينولية والليكوبين في النظام الغذائي للإنسان[7] أظهرت العديد من الدراسات أن الضرر التأكسدي للبندورة المجففة يحدث أيضاً أثناء التخزين لذلك، فإن الاهتمام المتزايد للعلماء الآن هو معرفة الضرر التأكسدي للبندورة المجففة أثناء التخزين وتحسين أنظمة التخزين لتقليل هذا الضرر[8].

أفاد Adenike عام (2012) أن نسبة كبيرة من البندورة عادة ما يتم تجفيفها بالشمس في الأرض الزراعية لتجنب الهدر ولكن هذه الأساليب تؤدي إلى منتجات ذات

سمات غير جذابة، حيث أن المنتج غير محمي من العوامل البيئية والإصابة بالحشرات والقوارض والحيوانات الأليفة وغيرها، لذلك تعتبر المجففات الشمسية طريقة أفضل كونها تساعد على زيادة الإنتاجية والموثوقية في العمل[9]. في المجفف الشمسي الهجين، يستمر التجفيف خلال ساعات الليل بواسطة الطاقة الحرارية الاحتياطية أو المخزنة لذلك، يتم حفظ المنتج من التدهور المحتمل بسبب الإصابة الميكروبية[10]. يتزايد الاهتمام بإنتاج البندورة المجففة بسبب إمكانية استخدامها في أغراض مختلفة ويعتمد الريف السوري على تجفيف الخضار والفواكه ولاسيما البندورة لاستخدامها في غير موسمها بعد تخزينها لمدة مختلفة وباعتبار القطر العربي السوري من المناطق التي يناسب مناخها عملية التجفيف في الصيف وأوائل الخريف حيث يتم جني المحاصيل الزراعية فكان لابد من استغلال هذه الميزة في تجفيف وحفظ الأغذية ومن هنا جاءت فكرة دراسة تجفيف شرائح البندورة.

2. هدف البحث: هدفت هذه الدراسة إلى:

1. تجفيف شرائح البندورة باستخدام أشعة الشمس المباشرة والمجفف الشمسي الهجين.
2. دراسة تأثير طريقتي التجفيف في كمية الليكوبين والفينولات الكلية ومضادات الأكسدة لشرائح البندورة المجففة خلال التخزين.

3. مواد وطرائق البحث:

1.3. مواد البحث: نفذ هذا البحث في مخابر كلية الهندسة الكيميائية والبترولية قسم الهندسة الغذائية وفي مخابر قسم علوم الأغذية في كلية الزراعة – جامعة البعث في موسم 2019–2020 واستخدمت في هذه الدراسة:

- ثمار بندورة (صنف لوريت) تم الحصول عليها من السوق المحلية وقد أجريت عليها عمليات الفرز والغسيل والتقطيع إلى شرائح بسماكة 5ملم.

- أكياس من البولي بروبيلين المستخدمة بالتغليف.

2.3. طرائق البحث:

1.2.3 التجفيف:

تم تقسيم شرائح البندورة المقطعة إلى قسمين :

- قسم تم تجفيفه تحت أشعة الشمس المباشرة.
- قسم تم تجفيفه في المجفف الشمسي الهجين الذي تم تركيبه في مخابر قسم الهندسة الغذائية الموضح في الشكل رقم(1)

شكل(1) المجفف الشمسي الهجين المستخدم في البحث

خزنت شرائح البندورة المجففة مدة 6 أشهر ضمن أكياس من البولي بروبيلين لمدة 6 أشهر ودراسة تغير محتوى الليكوبين والفينولات الكلية ومضادات الأكسدة.

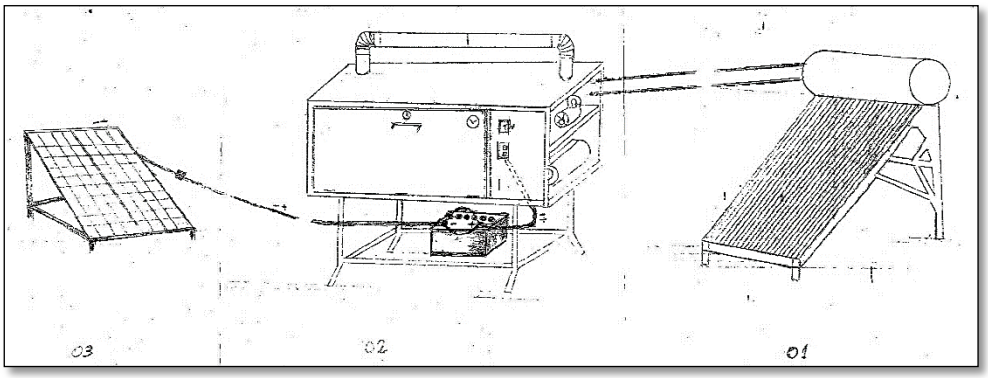
❖ **التجفيف تحت أشعة الشمس المباشرة:**

تم وضع شرائح البندورة في صواني ستانلس ستيل تحت أشعة الشمس المباشرة حتى الانتهاء من عملية التجفيف.

❖ **المجفف الشمسي الهجين:**

يتألف من الأجزاء الموضحة في الشكل رقم (2):

- حجرة تجفيف تحتوي 4 صواني تجفيف.
- مقياس درجة حرارة ورطوبة نسبية داخل حجرة التجفيف وفي الجو المحيط.
- غرفة التشغيل وتحتوي على: مشع حراري، مضخة 12 فولت لتدوير الماء، قاطع كهربائي لتشغيل الأجزاء الكهربائية، مروحة توجيه للهواء الساخن، مشع حراري أفقي عند قاعدة حجرة التجفيف.
- ألواح تغذية بالطاقة الشمسية.
- بطارية تغذية 12 فولت.



شكل(2) مخطط للمجفف الشمسي الهجين المستخدم

استخدم مجفف شمسي هجين يعتمد على مبدأ تسخين الماء باستخدام وحدة تسخين مياه بالطاقة الشمسية(01)، ومن ثم تمرير الماء الساخن ضمن حجرة التجفيف(02) عبر مشعات مخصصة لهذا الغرض، حيث يستخدم في هذا المجفف مشعان أحدهما في قاعدة حجرة التجفيف (حمل طبيعي) والثاني جانبي مزود بمروحة دفع للهواء الساخن متعددة السرعات. يجري تدوير الماء ضمن الدارة باستخدام مضخة 12 فولت تعمل بالتيار المستمر وتستخدم لذلك ألواح طاقة شمسية(03) لتوليد الطاقة الكهربائية وتخزينها في بطارية 12 فولت مخصصة لتأمين التغذية للأجزاء الكهربائية من الجهاز. تم وضع حساسات لقياس درجة حرارة الماء والهواء داخل غرفة التجفيف والرطوبة النسبية للهواء المعاد تدويره.

تم تجفيف العينات في بداية شهر تشرين الثاني، وتسجيل درجات الحرارة من الساعة 10 صباحاً وحتى الساعة 6 مساءاً (خلال أوقات التجفيف) حيث بلغت درجات الحرارة بشكل وسطي ضمن المجال الموضح في الجدول رقم(1):

جدول(1) متوسط درجات الحرارة أثناء عملية التجفيف

الموقع	درجة الحرارة °م
الجو المحيط (شمس)	**18-23**
الجو المحيط (ظل)	**14-17**
المياه الخارج من الطاقة الشمسية باتجاه حجرة التجفيف	**65-80**
الهواء داخل حجرة التجفيف	**50-60**
الهواء المعاد تدويره	**50-55**

يلاحظ من الجدول(1) اختلاف درجات الحرارة بشكل واضح وهذا بسبب ارتفاع درجة حرارة الجو مع تقادم ساعات النهار مما يؤثر بشكل مباشر على درجة حرارة الماء وغرفة

التجفيف إذ زيادة الإشعاع الشمسي تؤدي إلى زيادة الطاقة المنتزعة بواسطة المجمع الشمسي المائي وبالتالي ارتفاع درجة حرارة الماء وبالتالي ارتفاع درجة حرارة الهواء داخل غرفة التجفيف. كما تم تسجيل الرطوبة النسبية للهواء المعاد تدويره إلى داخل حجرة التجفيف وكانت تتراوح ضمن المجال 10−23% وذلك حسب أوقات التجفيف.
وحددت مواصفات شرائح البندورة وفق ما يلي:

1−الرطوبة: تم تحديد الرطوبة في العينات تبعاً لطريقة الموصوفة في[11]

2− الليكوبين:

تم تحديد الليكوبين وفقاً للطريقة المذكورة في[12] حيث تتم عملية الاستخلاص بالمذيبات باستخدام مزيج مكون من (أسيتون: أسيتات الإيتيل بنسبة 1:1) وعند درجة حرارة 40 °م ولمدة 5 ساعات، ثم يتم إجراء عملية ترشيح المستخلص باستخدام ورق ترشيح في قمع زجاجي، تم قياس الامتصاصية باستخدام جهاز السبيكتروفوتوميتر (Specord 40 Analitica, Germany) لنواتج الاستخلاص الحاوية على الليكوبين عند طول موجة 503 نانو متر.

حساب كمية الليكوبين:

$$Lycopene\ content\ (mg/100g) = \frac{A_{503}}{a_{503}} \times \frac{v}{1000} \times \frac{100}{w}$$

حيث:

A_{503}: الامتصاصية عند 503 نانو متر.

a_{503}: معامل الانطفائية (الماصية) وهو ثابت انتقائي لليكوبين يساوي (172×10^{-3}) بواحدة (مغ/ل).

v: الحجم الكلي المستخدم بالاستخلاص (مل).

w: وزن العينة (غ).

3- تحضير العينة لاختبار قياس القدرة المضادة للأكسدة والفينولات الكلية:

حُضرت العينات وفق[13] لإجراء تقدير الفينولات الكلية بطريقة فولين، القدرة المضادة للأكسدة بطريقة DPPH.

حيث أخذ 1غ وأُكمل الحجم حتى 20 مل بالميتانول 80%، حُرك المزيج باستخدام سرير متحرك (SELECTA ROTATERM) لمدة 30 دقيقة ثم أُجري الطرد المركّزي بسرعة 4500 دورة/ دقيقة لمدة 10 دقائق (SCILIGEX- DC0412- USA)، ثم أُخذ القسم الرائق وحُفظ بدرجة حرارة -18°م لحين إجراء الاختبارات.

4- تحديد المركبات الفينولية:

تمّ تحديد كمية المركبات الفينولية وفقاً لطريقة فولين- سيوكالتيو عبر تفاعلها مع كاشف فولين- سيوكالتيو، يضاف محلول قلوي ليتم التفاعل عند رقم حموضة قريب من (10) لمدة 1-2 ساعة عند درجة حرارة الغرفة بعيداً عن الضوء. فيتحول لون كاشف فولين من اللون الأصفر إلى الأزرق الذي يملك امتصاصية عظمى عند طول الموجة 765nm حيث تتناسب الشدة الضوئية مع تركيز المركب الفينولي [14].

تحضر السلسلة العيارية لحمض الغاليك حيث يتم حل0.1 غ من حمض الغاليك في 50مل من الميتانول 80% ويتمم الحجم حتى 100 مل بالماء المقطر. ثم تحضر منه التراكيز من (500 – 50) مغ/ل لرسم منحني السلسلة العيارية. يُرسم بعدها المنحني القياسي الذي يربط بين تركيز حمض الغاليك والامتصاصية الموافقة فنحصل على

مستقيم يتم إيجاد معادلته بواسطة برنامج Excel. يحسب المحتوى الفينولي للعينات بالاستعانة بالمنحني القياسي وبقيمة امتصاصية العينة.

5- تحديد المركبات المضادة للأكسدة: قدرت القيم المضادة للأكسدة لعينات البندورة المجففة باستخدام طريقة DPPH. وتتلخص الطريقة [15] بإضافة 1.5 مل من محلول ($DPPH^{\cdot}$) المحضّر حديثاً بتركيز (0.025غ/ل بالميتانول 70%) لـ37.5 ميكروليتر من العينة المحضّرة، وبعد حفظ المزيج في مكان مظلم مدة نصف ساعة تقاس الامتصاصية عند طول موجة515 =λ نانو متر باستخدام جهاز السبيكتروفوتوميتر (Specord 40 Analitica, Germany) الذي تم تصفيره باستخدام الميتانول 80% كشاهد.

يتم حساب نسبة تثبيط مركب DPPH بتطبيق القانون:

$$\%R = \frac{A_0 - \mathrm{A}}{A_0} \times 100$$

حيث:

R: النسبة المئوية لتثبيط (إرجاع) جذر الـ DPPH %.

A_0: امتصاصية محلول DPPH في الميتانول 80% عند طول موجة (515 نانومتر).

A: امتصاصية محلول DPPH مع العينة بعد مضي نصف ساعة على التفاعل.

2.2.3 التقييم الاحصائي:

تمَّ إجراء الاختبارات بأخذ ثلاث مكررات، والتعبير عن النتائج المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري. وتمَّ التقييم الإحصائي للنتائج التي تم التوصل إليها بواسطة برنامج

إحصائي Minitab.17 باستخدام تحليل التباين ANOVA وتطبيق general linear model متضمناً اختبار Fisher وذلك عند مستوى وثوقية ($P\leq0.05$).

4. النتائج والمناقشة:

1.4. الرطوبة: استغرقت عملية التجفيف في المجفف الشمسي الهجين حوالي 15hr أما التجفيف الشمسي الطبيعي حوالي 36hr وذلك على أساس الساعات المشمسة. ويبين الجدول رقم (2) قيم الرطوبة% التي تم الحصول عليها للعينات المجففة وتغيرها خلال التخزين لمدة 6 أشهر.

جدول (2) قيم الرطوبة للشرائح البندورة المجففة بطريقتي التجفيف وتغيرها خلال التخزين لمدة 6 أشهر

زمن التخزين (يوم)	التجفيف المباشر (%)	المجفف الشمسي (%)
0	^{b} 13.072±0.173 F	^{a} 9.084±0.062 E
15	^{b} 13.645±0.067 E	^{a} 9.264±0.043 E
30	^{b} 13.902±0.063 E	^{a} 10.061±0.085 D
60	^{b} 14.447±0.113 D	^{a} 10.213±0.035 D
90	^{b} 15.004±0.048 C	^{a} 10.926±0.045 C
120	^{b} 15.691±0.028 B	^{a} 11.672±0.118 B
180	^{b} 16.332±0.011 A	^{a} 12.107±0.044 A

تشير الأحرف a,b,c المختلفة إلى وجود فرق معنوي بين معاملات التجفيف، أما الأحرف A,B,C,D المختلفة فتشير إلى وجود فرق معنوي في زمن التخزين عند مستوى معنوية 5%.

يحدث أثناء عملية التجفيف انخفاض في محتوى الرطوبة عن طريق التبخير، حيث يقوم وسط التجفيف بتوفير الحرارة الكامنة للتبخر، نلاحظ من الجدول رقم (2) أنه تم الوصول إلى رطوبة 9% لعينات البندورة في المجفف الشمسي الهجين بينما بالتجفيف المباشر تم

الوصـول إلـى رطوبـة 13% أي أنـه فـي المجفف الشمسـي الهجين تـم الوصـول إلـى قيم رطوبة أخفض من التجفيف المباشر وهذا يتوافق مع العالم Luna–Guevara [16]، إذ بيّن أن الاختلافات في محتوى الرطوبة في التجفيف الشمسي مرتبطة بالتغيرات في درجة حـرارة التجفيـف أو الموسـم لضـمان الإشـعاع الشمسـي. ويلاحـظ أن المجفـف الشمسـي الهجين يقلل من وقت التجفيف بمقدار النصف على الأقل من التجفيف الشمسي المباشر، كما لوحظ أن معدل التجفيف لأنظمة الحمل القسري أعلى من أنظمة الحمل الحراري الطبيعي. هذا بسبب معامل الحمل الحراري المحسن المرتبط بزيادة سرعة الهواء[17]. ويتأثر معدل إزالة الرطوبة وكفاءة التجفيف بشكل كبير بنوع المنتج المجفف وسماكة القطـع المـراد تجفيفهـا [18]. النتـائج التـي تـم الحصـول عليهـا تؤكـد ارتفـاع معـدل إزالـة الرطوبة في المجفف الشمسي الهجين عن التجفيف الشمسي في الهواء الطلق [19].

2.4. الليكـوبين: يبـين الجـدول رقـم (3) نتـائج الليكـوبين التـي تـم الحصـول عليهـا بعـد التجفيف بطريقتي التجفيف المدروسة وخلال التخزين الذي استمر لمدة 6 أشهر.

جدول(3) قيم الليكوبين لشرائح البندورة المجففة بطريقتي التجفيف وتغيرها خلال التخزين لمدة 6 أشهر

زمن التخزين (يوم)	التجفيف المباشر مغ/100 غ	المجفف الشمسي مغ/ 100 غ
0	^{b} 21.296±0.052 A	^{a} 30.785±0.052 A
15	^{b} 21.122±0.052 A	^{a} 30.645±0.052 A
30	^{b} 20.791±0.105 B	^{a} 30.227±0.087 B
60	^{b} 20.407±0.105 C	^{a} 29.756±0.069 C
90	^{b} 20.093±0.105 D	^{a} 29.512±0.069 D
120	^{b} 19.517±0.017 E	^{a} 29.058±0.069 E
180	^{b} 19.256±0.069 E	^{a} 28.762±0.087 F

تشير الأحرف a,b,c المختلفة إلى وجود فرق معنوي بين معاملات التجفيف، أما الأحرف A,B,C,D المختلفة فتشير إلى وجود فرق معنوي في زمن التخزين عند مستوى معنوية 5%

قدرت قيم الليكوبين في البندورة الطازجة قبل التجفيف مخبرياً 7.599±0.227mg/100g ويتراوح محتوى البندورة الطازجة من الليكوبين 15.51– 23.89 mg/100g مع الأخذ بعين الاعتبار أن عينات البندورة ثم شراؤها في فصل الخريف [8].

أظهر الجدول رقم (3) محتوى الليكوبين في المجفف الشمسي 30.785mg/ 100g ومحتوى الليكوبين تحت أشعة الشمس المباشرة 21.296 mg/100g وهذا يتوافق مع الباحث Hussein وآخرون عام2016 حيث يعود هذ الاختلاف بتركيز الليكوبين مع اختلاف طريقة التجفيف بسبب طول زمن التجفيف مع عدم ضبط درجة الحرارة في طريقة التجفيف بالشمس[20].

إن الانخفاض في كمية الليكوبين عينات البندورة المجففة تحت أشعة الشمس أعلى من الانخفاض في عينات المجفف الشمسي وهذا يتوافق مع الباحث Hossein وآخرون عام2008 الذي بيّن أن العينات التي تحتوي على مستويات أعلى من المحتوى الرطوبي تؤدي إلى تحلل المزيد من الليكوبين مقارنة بالعينات التي تحتوي على مستويات أقل من الرطوبة[8].

ذكر Akanbi and Oludemi عام 2004 أن الليكوبين في البندورة المخزنة يتحلل مع درجة حرارة التخزين ووقت التخزين. كان السبب الرئيسي للتحلل أثناء التخزين هو الأكسدة. أما محتوى الأكسجين المنخفض، ومحتوى الرطوبة المنخفض للبندورة المجففة بالمجفف الشمسي الهجين يمنع الأكسدة وكذلك تحلل الليكوبين[21].

وهذا يتوافق أيضاً مع الباحث (الحاج علي وآخرون، 2010) الذي درس تأثير التخزين في محتوى الليكوبين في البندورة المجففة على درجة حرارة 40–60 درجة مئوية خلال مدة التخزين ولاحظ انخفاض تركيز الليكوبين مع الزمن[22]، وكذلك مع الباحث Davoodi وآخرون عام2007 الذي درس انخفاض الليكوبين لمسحوق البندورة المجفف خلال مدة تخزين 6 أشهر[23].

3.4. المركبات الفينولية: يبين الجدول رقم (4) كمية الفينولات الكلية التي تم تحديدها في شرائح البندورة المجففة في المجفف الشمسي الهجين والتجفيف المباشر وتغير هذه الكمية خلال زمن التخزين.

جدول (4) قيم المركبات الفينولية الكلية لشرائح البندورة المجففة وتغيرها خلال التخزين لمدة 6 أشهر

زمن التخزين (يوم)	التجفيف المباشر mgGA/100g DM	المجفف الشمسي الهجين mgGA/100g DM
0	^{b} 279.739±0.434 A	^{a} 397.391±0.752 A
15	^{b} 263.652±0.612 B	^{a} 378.261±0.681 B
30	^{b} 249.304±0.421 C	^{a} 364.783±0.431 C
60	^{b} 236.261±0.435 D	^{a} 350±0.434 D
90	^{b} 215.391±0.431 E	^{a} 333.478±0.341 E
120	^{b} 200.609±0.378 F	^{a} 314.348±0.387 F
180	^{b} 177.565±0.607 G	^{a} 303.044±0.405 G

تشير الأحرف a,b,c المختلفة إلى وجود فرق معنوي بين معاملات التجفيف، أما الأحرف A,B,C,D المختلفة فتشير إلى وجود فرق معنوي في زمن التخزين عند مستوى معنوية 1%.

يلاحظ من الجدول رقم (4) انخفاض المركبات الفينولية في البندورة أثناء عملية التجفيف حيث يبلغ محتواها في البندورة الطازجة 426.261±0.869 mg GA/100gDM [24]. خلال عملية التجفيف، قد يؤدي ذلك إلى تنشيط الأنزيمات المؤكسدة، مثل بولي فينول أوكسيداز وبيروكسيداز، وبالتالي انخفاض كمية المركبات الفينولية وهذا ما نلاحظه في العينات المجففة بكلا الطريقتين وهذا يتوافق مع العالمGümüş ay وآخرون عام 2015 حيث درس تأثير عملية التجفيف الشمسي والتجفيف تحت التفريغ والتجفيف بالتجميد على محتوى المركبات الفينولية وبيّن انخفاض تركيز هذه المركبات أثناء التجفيف ويتعلق هذا الانخفاض بالطريقة المتبعة أثناء التجفيف[25]. كما بيّن العالمين Toor and Savage في عام (2006) أن البندورة المجففة عند درجة حرارة منخفضة (42 °م)، تحتوي على محتوى الفينول أقل من تلك الموجودة في البندورة الطازجة[26].

خلال عملية التجفيف الشمسي يحدث تدمير لخلايا الثمرة، وقد يتسبب ذلك أيضاً في تحرير أنزيمات الحلمهة وأنزيمات البيروكسيد ويمكن أن تكون هذه أسباب أخرى لانخفاض المحتوى الفينولي وقد يحدث ارتباط الفينولات بالبروتينات نتيجة للتغيرات في البنية الكيميائية[27]. وذكر العالم Dewanto وآخرون عام 2002 أن تطبيق درجة الحرارة المرتفعة أثناء تجفيف البندورة، مثل 88 °م، لم تؤثر على محتواها بشكل كبير من المركبات الفينولية، حيث أشار إلى أن هذه المعالجة الحرارية تعمل على تثبيط الإنزيمات المؤكسدة وأنزيمات الحلمهة التي قد تسبب فقدان المركبات الفينولية[28]. حافظت شرائح البندورة المجففة بالمجفف الشمسي الهجين على محتوى أكبر من المركبات الفينولية مقارنة بالتجفيف الشمسي المباشر حيث كانت كمية الفينولات الكلية 397.391 mgGA/100g DM في المجفف الشمسي الهجين بينما بالتجفيف الشمسي المباشر 279.739 mgGA/100g DM وهذا يعود بسبب تجانس درجة حرارة التجفيف وقصر زمن التجفيف مقارنة بالتجفيف المباشر[29]. يعود انخفاض المركبات الفينولية أثناء

التخزين بسبب تفكك مركب الأنتوسيانين بسهولة أثناء التخزين، وهو قابل للتفكك بسهولة بظروف بيئية مختلفة[30]، كما يرتبط هذا الانخفاض بالفعالية المائية والمحتوى المائي في المنتج المجفف لذلك كان الانخفاض في المركبات الفينولية في المجفف الشمسي الهجين أقل من التجفيف الشمسي المباشر[31].

4.4 الفعالية المضادة للأكسدة: يبين الجدول رقم (5) قيم الفعالية المضادة للأكسدة لشرائح البندورة المجففة بطريقتي التجفيف وخلال التخزين الذي استمر لمدة 6 أشهر

جدول (5) نتائج DPPH لشرائح البندورة المجففة بطريقتي التجفيف وخلال التخزين لمدة 6 أشهر.

زمن التخزين (يوم)	التجفيف المباشر%	المجفف الشمسي%
0	b 80.508±0.054 A	a 90.144±0.027 A
15	b 80.176±0.055 B	a 89.619±0.055 B
30	b 79.624±0.056 C	a 88.101±0.028 C
60	b 77.388±0.065 D	a 86.969±0.056 D
90	b 74.792±0.071 E	a 86.278±0.026 E
120	b 74.489±0.055 F	a 85.836±0.027 F
180	b 71.755±0.028 G	a 83.545±0.054 G

تشير الأحرف a,b,c المختلفة إلى وجود فرق معنوي بين معاملات التجفيف، أما الأحرف A,B,C,D المختلفة فتشير إلى وجود فرق معنوي في زمن التخزين عند مستوى معنوية 5%.

يلاحظ من الجدول رقم(5) أن الفعالية المضادة للأكسدة في المجفف الشمسي الهجين أعلى من الفعالية المضادة للأكسدة تحت أشعة الشمس المباشرة حيث بلغت 90.144% – 80.508% على التوالي.

وتعتبر القدرة المضادة للأكسدة في البندورة المجففة أكبر من البندورة الطازجة وذلك بسبب توافر الليكوبين بشكل أكبر في المنتجات المجففة. يرتفع محتوى الليكوبين خلال التجفيف، بسبب تمزق خلايا البندورة مما يؤدي إلى توفر مضادات الأكسدة وأهمها الليكوبين [32]. وفق العالم Stewart وآخرون عام 2000 تزداد الأشكال الحرة غير المقترنة من البولي فينول، للكيرسيتين وكايمبفيرول، أثناء المعالجة الحرارية للبندورة. وهذه المركبات لها نشاط مضاد للأكسدة أكبر من الأشكال المترافقة لذلك تزداد الفعالية المضادة للأكسدة في شرائح البندورة المجففة مقارنة مع البندورة الطازجة حيث بلغت الفعالية المضادة للأكسدة للبندورة الطازجة 76.836%±0.138 [33].

يعود انخفاض الفعالية المضادة لأكسدة مع زمن التخزين وذلك بسبب تفكك الليكوبين والمركبات الفينولية ويكون الانخفاض في المجفف الشمسي الهجين أقل من التجفيف المباشر حيث بلغت الفعالية المضادة للأكسدة بعد انتهاء فترة التخزين في المجفف الشمسي الهجين والتجفيف المباشر 83.545%- 71.755% على التوالي [34].

5. الاستنتاجات والمقترحات:

أثبتت نتائج هذا البحث أن عينات البندورة المجففة في المجفف الشمسي الهجين حافظت بشكل أفضل على المحتوى من الليكوبين (وهو أحد مضادات الأكسدة القوية الفعالة ضد الجذور الحرة وله تأثير إيجابي على صحة الإنسان) وعلى لون البندورة الطبيعي أكثر من العينات المجففة تحت أشعة الشمس المباشرة لذلك يمكن اعتبار المنتجات التي تم تحليلها في هذه الدراسة مصادر جيدة لمركبات مضادات الأكسدة.

كما أشارت البيانات التي تم الحصول عليها إلى اختلاف تركيب شرائح البندورة المجففة بالمجفف الشمسي الهجين والتجفيف الشمسي التقليدي، مما ينتج عنه منتجات ذات

خصائص مختلفة، بما في ذلك مستويات الرطوبة ومركبات مضادات الأكسدة وأنشطة مضادات الأكسدة. .

لذلك، يمكن تصنيف المجفف الشمسي بأنه أفضل طريقة متبعة من بين طرق التجفيف الشمسي لتجفيف البندورة من أجل الحفاظ على مكوناتها التغذوية ومنع تلفها بعد الحصاد والحصول على منتج ذو جودة أعلى وقبول أكثر من قبل المستهلك.

ومن هنا لابد من استعراض بعض المقترحات:

1- دراسة تجفيف شرائح البندورة في المجفف الشمسي بسماكات مختلفة وبدرجات حرارة مختلفة.

2- التعبئة تحت التفريغ للحفاظ على خواص البندورة المجففة بشكل أفضل.

3- إجراء بعض المعاملات الأولية على شرائح البندورة للحفاظ على مكوناتها التغذوية.

4- ضرورة دراسة بقية المواد المضادة للأكسدة الموجودة في البندورة المجففة (فيتامين C) وتأثير الضوء عليها وشروط التخزين المختلفة.

6- المراجع:

6-1 المراجع العربية:

22. **الحاج علي**. أ، **اليازجي**. ص، **العقلة**.ب، 2010، تأثير تجفيف شرائح البندورة وتخزينها في محتواها من حمض الأسكوربيك والليكوبين، مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، المجلد (26) العدد-1- ص 293-304.

6-2 المراجع الأجنبية:

1. Doymaz, İ. (2005). **Drying behaviour of green beans**. *Journal of food Engineering*, *69*(2), 161-165.
2. Demirhan, E., & Özbek, B. (2010). **Drying kinetics and effective moisture diffusivity of purslane undergoing microwave heat treatment**. *Korean Journal of Chemical Engineering*, *27*(5), 1377-1383.
3. Youssef, K. M., & Mokhtar, S. M. (2014). **Effect of drying methods on the antioxidant capacity, color and phytochemicals of Portulaca oleracea L. leaves**. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, *4*(6), 1.
4. Jing, Y., Chen, J. F., Zhao, Y. Y., & Mao, L. C. (2010). **Effects of drying processes on the antioxidant properties in sweet potatoes**. *Agricultural Sciences in China*, *9*(10), 1522-1529.
5. Celma, A. R., Cuadros, F., & López-Rodríguez, F. (2009). **Characterisation of industrial tomato by-products from**

infrared drying process. *Food and bio products processing*, 87(4), 282-291.

6. Rao, A. V., & Agarwal, S. (2000). **Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease.** *Journal of the American College of Nutrition*, *19*(5), 563-569.
7. Georgé, S., Tourniaire, F., Gautier, H., Goupy, P., Rock, E., & Caris-Veyrat, C. (2011). **Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes**. *Food Chemistry*, *124*(4), 1603-1611.
8. Hossain, M. A., Amer, B. M. A., & Gottschalk, K. (2008). **Hybrid solar dryer for quality dried tomato**. *Drying Technology*, *26*(12), 1591-1601.
9. Adenike, A. B. (2012). **The effect of pretreatment and drying on some vitamin contents of tomato powder**. *Annals Food Science and Technology,* 13(2), 156-160.
10. Hossain, M. E., Alam, M. J., Hakim, M. A., Amanullah, A. S. M., & Ahsanullah, A. S. M. (2010). **An assessment of physicochemical properties of some tomato genotypes and varieties grown at Rangpur**. *Bangladesh Res. Pub. J*, *4*(3), 135-243.
11. AOAC, (2000). **Official Methods of analysis of AOAC International,** 17th Edition. USA.
12. Pandya, D., Akbari, S., Bhatt, H., & Joshi, D. C. (2017). **Standardization of solvent extraction process for Lycopene**

extraction from tomato pomace. *J Appl Biotechnol Bioeng*, *2*(1), 00019.

13. Xu, G., Liu, D., Chen, J., Ye, X., Ma, Y., & Shi, J. (2008). **Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China.** *Food chemistry*, *106*(2), 545-551.
14. Agbor, G. A., Vinson, J. A., & Donnelly, P. E. (2014). **Folin-Ciocalteau reagent for polyphenolic assay.** *International Journal of Food Science, Nutrition and Dietetics* (IJFS), 3(8), 147-156.
15. De Torre, M. P., Cavero, R. Y., Calvo, M. I., & Vizmanos, J. L. (2019). **A simple and a reliable method to quantify antioxidant activity in vivo.** *Antioxidants*, *8*(5), 142.
16. Lorena, L. G. M., Teresita, G. S., Adriana, D. A., Elena, R. C. M., Guillermo, P. L. J., & Jose, L. G. J. (2020). **Study of the quality and antioxidant properties of tomatoes (Solanum lycopersicum L.) under different postharvest and dehydration conditions.** *AGROProductividad*, *13*(9), 13-20.
17. Aravindan, V., Dineshkumar, A., Giriprasath, B., Karthikeyan, V., & Ebenezer, D. (2017). **Moisture removal rate of solar dryers–A review.** *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences ISSN*, *974*, 2115.
18. Shanmugam, V., & Natarajan, E. (2007). **Experimental study of regenerative desiccant integrated solar dryer with and**

without reflective mirror. *Applied thermal engineering*, *27*(8-9), 1543-1551.

19. Bolaji, B. O. (2014). **Analysis of Moisture Transport in the Solar Drying of Food Items**. Department of Mechanical Engineering, University of Agriculture.
20. Hussein, J. B., Sanusi, M. S., & Filli, K. B. (2016). **Evaluation of drying methods on the content of some bio-actives (lycopene,-carotene and ascorbic acid) of tomato slices**. *African Journal of Food Science*, *10*(12), 359-367.
21. Akanbi, C. T., & Oludemi, F. O. (2004). **Effect of processing and packaging on the lycopene content of tomato products**. *International Journal of Food Properties*, 7(1), 139-152.
23. Davoodi, M. G., Vijayanand, P., Kulkarni, S. G., & Ramana, K. V. R. (2007). **Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder**. *LWT-Food Science and Technology*, *40*(10), 1832-1840.
24. Abreu, W., Barcelos, M., Vilas, B.E., & Silva, E. (2014). **Total Antioxidant Activity of Dried Tomatoes Marketed in Brazil**. *International Journal of Food Properties*. 17. 639-649.
25. Gümüşay, Ö. A., Borazan, A. A., Ercal, N., & Demirkol, O. (2015). **Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger**. *Food chemistry*, *173*, 156-162

26. Toor, R. K., & Savage, G. P. (2006). **Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes**. *Food chemistry*, *94*(1), 90-97.

27. Miranda, M., Vega-Gálvez, A., López, J., Parada, G., Sanders, M., Aranda, M., ... & Di Scala, K. (2010). **Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (Chenopodium quinoa Willd.)**. *Industrial crops and Products*, *32*(3), 258-263.

28. Dewanto, V., Wu, X. Z., Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). **Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 50(10), 3010-3014.

29. OrphAnides, A., GOulAs, V., & GekAs, V. (2013). **Effect of drying method on the phenolic content and antioxidant capacity of spearmint**. *Czech Journal of Food Sciences*, *31*(5), 509-513.

30. Oliveira, A., Almeida, D. P., & Pintado, M. (2014). **Changes in phenolic compounds during storage of pasteurized strawberry**. *Food and bioprocess technology*, *7*(6), 1840-1846.

31. Zorić, Z., Pelaić, Z., Pedisić, S., Garofulić, I. E., Kovačević, D. B., & Dragović-Uzelac, V. (2017). **Effect of storage**

conditions on phenolic content and antioxidant capacity of spray dried sour cherry powder. *LWT-Food Science and Technology*, *79*, 251-259.

32. Periago, M. J., Rincón, F., Jacob, K., García-Alonso, J., &Ros, G. (2007). **Detection of key factors in the extraction and quantification of lycopene from tomato and tomato products.** *Journal of agricultural and food chemistry* 55(22) 8825-8829.

33. Stewart, A., Bozonnet, S., Mullen, W., Jenkins, G., Lean, M., Crozier, A. (2000) **Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products.** *J Agric Food Chem* 48: 2663-2669.

34. Rocha-Parra, D. F., Lanari, M. C., Zamora, M. C., & Chirife, J. (2016). **Influence of storage conditions on phenolic compounds stability, antioxidant capacity and colour of freeze-dried encapsulated red wine.** *LWT*, *70*, 162-170.