

## تصميم مجفف شمسي بسيط لتجفيف المنتجات الزراعية

محمد صالح الفقيه\*، عبد اللطيف حسن الوشلي\*\*

\* قسم الهندسة الزراعية، كلية الزراعة - جامعة صنعاء ELFAKIM@YAHOO.COM  
\*\* الجامعة اليمنية الأردنية - صنعاء

### الملخص:

يهدف البحث الى تصميم مجفف شمسي يراعى فيه عدم التعقيد وقلة التكلفة وسهولة تصنيعه محليا بالورش البسيطة في اليمن، وذلك بغرض تجميع الطاقة الشمسية والاستفادة منه في تجفيف المنتجات الزراعية بفعالية. وقد تم في المرحلة الأولى تصميم الجهاز والتأكد من توفيره للطاقة الحرارية المطلوبة بدخله، وفي المرحلة الثانية تم تقييم أداء وفعالية الجهاز في تجفيف العنب صنف رازقي (*Vitis vinifera*) لإنتاج زبيب ذي جودة عالية. هذه الورقة توثق لمرحلتى البحث حيث مجمل أهداف المرحلة الأولى: (أ) تصميم وإنشاء مجفف شمسي بسيط المكونات يقوم بتجميع الطاقة الشمسية لتوفير الطاقة الحرارية الآمنة بيئياً وتمريها عبر أجزاءه الداخلية باستغلال حركة الهواء باستخدام مواد قليلة التكلفة ومتوفرة محلياً، (ب) تجهيز أماكن تجفيف ملائمة من حيث درجات الحرارة المناسبة لاستيعاب المنتج المراد تجفيفه بتقسيم المجفف من الداخل الى خمسة مستويات رأسية يتم قياس درجات الحرارة عندها، (ت) توفير بيئة تجفيف تضمن جودة المنتج عن طريق تغليف الأسطح الخارجية للمجفف بغلاف من البولي إيثيلين الأسود يعمل على تجميع الطاقة الشمسية دون تعرض المنتج المراد تجفيفه الى أشعة الشمس المباشرة وكذلك حمايته من الأتربة، و(ث) تقييم معدل الارتفاع في درجات الحرارة داخل المجفف مقارنة بدرجة حرارة الهواء الجوي. وقد تم بناء المجفف من مواد متوفرة محلياً وبتكلفة إجمالية قدرها 53 دولار أمريكي. وقد تميزت أقسامه الخمسة بفروق في درجات الحرارة تراوحت بين 3 إلى 10 درجة مئوية أعلى من درجة حرارة الهواء الخارجي مع زيادة في الفرق ناحية المخرج (الجهة العليا) مع سرعة مرور مناسبة للهواء عبره.

أما بالنسبة للمرحلة الثانية من البحث فقد تم استخدام المجفف الشمسي في تجفيف عنب يمني صنف رازقي، ومقارنة جودة الزبيب المنتج بمثله في الأسواق المحلية والمجفف بالطريقة التقليدية. حقق المجفف الشمسي كفاءة إنتاج زبيب قدرها 27% بزيادة تراوحت بين 2-5% عن الطريقة التقليدية، كما انخفضت الفترة المطلوبة للتجفيف بنسبة 53% مقارنة بالزمن المستغرق في التجفيف التقليدي. كما كان المحتوى الرطوبي للزبيب المنتج ضمن الحدود المثلثي (15%). وبلاستثناء على الجودة اعتبر الزبيب المنتج بالمجفف أفضل من المنتج بالتجفيف التقليدي من حيث النظافة والطعم واللون والشكل الخارجي.

كلمات دالة: طاقة شمسية، طاقة بديلة، مجفف شمسي، تقنية الأسطح الماصة، سلامة البيئة، تجفيف المنتجات الزراعية، إنتاج الزبيب، جودة المنتج.

### المقدمة:

الطاقة بمختلف أشكالها تساعد على توفير الجهد البشري وهو الأساس لأي عملية إنتاجية. من جهة أخرى فإن الحصول على طاقة رخيصة ليس بتلك السهولة لارتباطه بصعوبات اقتصادية. وقد تزداد الصعوبة إذا ما أضفنا الى ذلك عامل الأمان البيئي. وعليه عند البحث عن الطاقة من أي مصدر لها يجب الأخذ في الاعتبار عدة عوامل من أهمها على الإطلاق مدى توفر المصدر الملائم ضمن النطاق المحلي وكذا الآثار البيئية المتوقعة لاستغلال هذا المصدر. من المعلوم أن الطاقة الشمسية (*solar energy*) هي أوفر مصادر الطاقة وأكثرها أماناً من حيث الإضرار بالبيئة مقارنة بغيرها من المصادر الأخرى. كما أن الطاقة الحرارية المستخلصة من الطاقة الشمسية تعتبر الأكثر ملائمة والأرخص والأسهل تطبيقاً لأغراض التجفيف (Vermaas, 2000). لذلك كان من الطبيعي الاتجاه نحو دراسة إمكانية الاستفادة من الطاقة الشمسية لإنتاج الطاقة بمختلف الطرق. وقد أجريت الكثير من البحوث والدراسات بهذا الصدد واستخدمت العديد من التقنيات لتصنيعها على المستوى العالمي.

## إنتاج الطاقة الشمسية:

قدم حمدي والشغدري (١٩٩٩) مراجعة فنية لعدد من تقنيات التحويل الحراري للطاقة الشمسية لأغراض التسخين والتبريد، وركز البحث على تقنية أنبرك الشمسية ذات التدرج الملحي في التركيز للحصول على قدرة كهربائية بطريقة غير ملوثة للبيئة.. صمم (Ichsani and Dyah, 2002) مجفف أسماك باستخدام منظومة تعمل بالطاقة الشمسية والكيروسين. في حين استخدم (Shez-Rom *et al.*, 2007) الطاقة الشمسية لتطهير مياه الصرف الصحي التي سبق معالجتها بتعريضها لأشعة الشمس المباشرة بمساعدة مفاعل وذلك للاستفادة منها في الأغراض الزراعية. وقد تمكنوا من تخفيض التلوث البكتيري إلى المستوى المسموح به من قبل منظمة الصحة العالمية (WHO) لأغراض الري. أنشأ (Lee *et al.*, 2007) منظومة لتجفيف بعض المنتجات الزراعية بالطاقة الشمسية مكونة من مجمع طاقة شمسية أنبوبي فراغي، عاكس، صهريج تخزين، مبادل حراري من ماء - إلى - هواء، سخان إضافي، وحجيرة تجفيف. كما قام (Hien *et al.*, 2007) بتصميم مجفف للمعكرونة مستغلين الطاقة الشمسية المجهزة عبر جهاز مكون من مروحة، حجيرة تجفيف تسع ٥٠ كجم من المعكرونة، ومجمع طاقة شمسية عبارة عن أنبوبين متوازيين بطول ٢٥ متر مصنوعين من مادة البولي إيثيلين الشفافة التي تحتوي بداخلها على سطح ماص للحرارة من البولي إيثيلين الأسود. وكانت التكلفة الأولية للجهاز ٩٠٠ دولار أمريكي بالإضافة إلى ٥٠ دولار أمريكي لتبديل الأنبوبين كل ٧ أشهر.

## تجفيف المنتجات الزراعية:

هناك تغييرات ملحوظة في توجهات السوق على المستوى المحلي، الإقليمي، والعالمى فيما يخص زيادة الحذر لدى المستهلكين تجاه المكونات والطرق المستخدمة في إنتاج وصناعة المواد الغذائية بصفة عامة. وفي حالة تجفيف المنتجات الزراعية فمن الضروري مراعاة النوعية في إنتاجها باتباع طرق طبيعية دون استخدام لمواد كيميائية ودون تعريضها لتلوث بأي شائبة لتغطية احتياجات الأسواق بما يلبي رغبات المستهلكين. إن استغلال الطاقة الشمسية لتجفيف المنتجات الزراعية لم يكن وليد الأمل ولكنه اعتمد من قديم الزمان كوسيلة تقليدية كونه متوفر مجاناً في الهواء الطلق وهنا تكمن بعض السلبيات، إذ أن التعرض لأشعة الشمس المباشرة وللحواء قد يؤثر سلباً على نوعية المنتجات من حيث الخصائص الفيزيائية والتلوث. وقد نجح الكثير من الباحثين في محاولاتهم تصميم أنظمة لاستغلال الطاقة الشمسية في تجفيف المنتجات الزراعية مع الحفاظ على النوعية، ولكن اختلفت أنظمتهم من حيث التعقيد، الكلفة، استخدام مصادر طاقة إضافية و/أو آلات مساعدة، إضافة مواد كيميائية لتهيئة المنتج للتجفيف وهلم جرا. هذا وبعد اختبار تلك الأنظمة فقد تفاوت أداءها من حيث فترة التجفيف، درجات الحرارة الداخلية، وجودة المنتج.

قام (Alonge, 2008) بتصميم نوعين من منظومات التجفيف الشمسية السلبية: الأول يعمل على تسخين الهواء بداخله والآخر يمر الهواء عبره دون تسخين ليحمل معه بعضاً من رطوبة المحصول. وقد تم اختبار الأداء بتجفيف الفلفل الحار، البامية، وبعض الخضروات ووجد أن النوع الأول أفضل من حيث فترة التجفيف، معدل التجفيف، والتخلص من الرطوبة. وتحقق (Brodie, 2006) من أداء نظام تجفيف مساعد يعمل بطاقة المايكروويف لإعداد الخشب قبل تجفيفه بواسطة الطاقة الشمسية. وقد اعتمد في ذلك على التقنية التي وصفها (Vinden and Torgunikov, 2000) كوسيلة فعالة لتعديل بنية الخشب (زيادة نفاذيته للماء) قبل تجفيفه بهدف تسريع عملية التجفيف بواسطة الطاقة الشمسية. أوضحت نتائج اختبار الأداء بأن معاملة الخشب المسبقة بالمايكروويف خفضت فترة تجفيفه بدرجة كبيرة دونما تأثير على نوعيته.

كما قارن (Rajkumar *et al.*, 2006) أداء جهاز تجفيف بالطاقة الشمسية مدعوم بمحيط فراغي بنظام تقليدي عن طريق التجفيف المباشر تحت أشعة الشمس وذلك من خلال تجفيف الطماطم. تمت المقارنة على أساس مدى تأثير عوامل الطقس على أداء الطريقتين من حيث صفات التجفيف المميزة لكل منهما. أوضحت الدراسة التأثير المباشر لعوامل الطقس من إشعاع شمسي، رطوبة نسبية، وسرعة هواء على الأداء من حيث فترة التجفيف ودرجات حرارة المنتج أثناء التجفيف. وكذلك فقد احتفظت الطماطم المنتجة بالجهاز المدعوم بلونها الطبيعي بصورة أفضل من تلك المنتجة بالطريقة التقليدية.

وقام (Clary, *et al.*, 2005) باستقصاء كفاءة أداء منظومة تجفيف تعتمد على استخدام مواد كيميائية أقل من التقليدية وطرق أقل ضرراً في معالجة الأعناب لإنتاج الزبيب الذهبي. وقد تبين لهم بأن لون المنتج لم يكن بنفس درجة الزبيب المنتج بالطرق التقليدية والتي هي الأخرى تستخدم مواد كيميائية ولكن بمقادير أكبر من كربونات البوتاسيوم وبعض المركبات الكبريتية. واختبر (Schluterma and Siebenmorgen, 2004) أداء منظومة تجارية لتجفيف الأرز وتسجيل الرطوبة النسبية ودرجات حرارة الهواء الداخلي عند عدة مواقع بالإضافة إلى قياس الاحتواء الرطوبي لعينات من الأرز المنتج عبر مستويات المنظومة. وقد وجدوا أن بعض الأرز المنتج قد تضرر نتيجة تعرضه لتجفيف جائر داخل المنظومة لارتفاع درجات الحرارة عن درجة حرارة التحول الزجاجي للأرز ( glass transition temperature).

وقام (Song, *et al.*, 2003) بالتحقق من أداء ثلاث طرق تجفيف إلكترونية بالنظر إلى تأثيرها على الخواص الفيزيائية للشاي الذي تجفقه. اعتمدت الطرق المستخدمة على أفران مسالة، فراغية، ومايكروويف كمصادر للطاقة الحرارية يتم التحكم بها عن طريق الحاسوب. وقد وجدوا علاقة خطية بين درجة حرارة التجفيف ومتوسط حجم حبيبات الشاي وذلك بالنسبة لكل الطرق دون ذكر لأي فوارق معنوية بينها.

#### الطريقة التقليدية لإنتاج الزبيب في اليمن:

عادة ما يبدأ إنتاج الزبيب في فترتين الأولى في بداية موسم حيث تكون الثمرة غير ناضجة، ذات لون أخضر، وحموضة عالية، ويجد الزبيب المنتج رواجاً في السوق ويرتفع سعره لرغبة المستهلك فيه. أما فترة الإنتاج الثانية تكون عند نهاية موسم العنب حيث تكون الثمار ناضجة تماماً وقدت جزء كبير من رطوبتها. وتكون طريقة الإنتاج بوضع العنب على أرفف كبيرة من الشبك مقامة على أعمدة في غرف مسقوفة لمنع تعرضها لأشعة الشمس المباشرة حتى لا يكون لون الزبيب بني أو كهرماني وهي ألوان غير مرغوبة وتقلل من جودته وبالتالي سعره وعادة ما تكون الغرف مفتوحة من الجوانب لضمان التهوية. وبمرور الأيام تتساقط الثمار التي تجف إلى أرضية الغرفة التي تكون مغطاة بالقماش أو البلاستيك ويتم كنسها وتجميعها أولاً بأول. يستغرق التجفيف بهذه الطريقة فترة تتراوح بين ٦ إلى ٨ أسابيع حسب درجات حرارة الجو وسرعة الرياح السائدة. وتتخلص عيوب الطريقة التقليدية في:

- طول فترة التجفيف مما يجعل المزارع بحاجة إلى مساحات كبيرة للتجفيف حتى لا يتلف العنب،
- تعرض المنتج إلى التلوث والأثرية بشكل دائم خلال فترة التجفيف،
- في حالة تعرض العنب لأشعة الشمس المباشرة أثناء التجفيف قد تتجم بعض الأضرار التي لخصها الهزمي وآخرون ٢٠٠٠م في تعفن العنب عند هطول الأمطار، عدم تجانس لون حباته، وتأثر الشكل الخارجي للزبيب حيث قد يبدو للمستهلك أن الزبيب قديم أو مصاب.

مما سبق يتضح لنا بأن استغلال الطاقة الشمسية يتم باستخدام تقنيات مختلفة تتفاوت من حيث التصميم والكلفة، غير أن جميعها يعتبر معقد التصميم نوعاً ما بالإضافة إلى ارتفاع كلفته بالنظر إلى إمكانات المزارع اليمني عموماً. ومن المعلوم بأن اليمن تتمتع بشمس ساطعة طوال العام بما يوفر ساعات سطوح يومية تتراوح بين ٨ إلى ٩,٥ ساعة يتم خلالها استقبال ٤,٥ إلى ٧,٧ كيلوات من الطاقة الشمسية في الساعة لكل متر مربع من المساحة الأفقية (قاعدة بيانات هيئة الأرصاد الجوية اليمنية، ١٩٩٣). هذا يجعل إمكانات استغلال الطاقة الشمسية في اليمن واعدة وجديرة بالاهتمام مما يشجع البحث عن البدائل المتجددة للطاقة من قبل المختصين في هذا المجال. وقد اعتمد هذا البحث على تقنية المجمعات ذات الأسطح الماصة الأقل تكلفة وتعقيداً لتجميع الطاقة الشمسية واستغلالها على صورة طاقة حرارية عن طريق مجفف يتم تصميمه لهذا الغرض. ومن ثم الاستفادة منه لاحقاً في أغراض التجفيف للمنتجات الزراعية. وعليه سيتم التركيز على تصميم وتنفيذ منظومة بسيطة يمكن إنشائها بواسطة المستخدم النهائي دون الحاجة إلى خبرات فنية عالية واعتماداً على مواد رخيصة ومتوفرة في السوق المحلية كمرحلة أولى تليها مرحلة ثانية لاختبار المنظومة وتقييم أداءها من خلال تجفيف العنب الرازقي لإنتاج الزبيب بنوعية تتنافس المنتج بالطرق التقليدية.

**أهداف البحث:**

الهدف الرئيس هو تصميم منظومة تتصف بالكفاءة وعدم التعقيد وقلة التكلفة لتجميع الطاقة الشمسية ضمن بيئة آمنة ومن ثم الاستفادة منها لاحقاً في تجفيف المنتجات الزراعية بفعالية مع الحفاظ على جودتها. وسيتم تحقيق ذلك على مرحلتين الأولى تختص بتصميم الجهاز وضمان توفيره للطاقة الحرارية المطلوبة ضمن محيطه الداخلي، والثانية تختص بتقييم أداء وفعالية الجهاز في تجفيف العنب لإنتاج زبيب نوجودة عالية.

**المواد وطرق البحث:**

صُم وصنع هيكل الجهاز من المواد الحديدية وأرضية الأقسام من شبك حديدي وغلفت جوانبه بغطاء أسود مصنوع من مادة البولي ايثيلين (polyethylene) تعمل كأسطح ماصة للطاقة الشمسية، بالإضافة الى تزويده بعجلات دوارة تساعد على نقل وتوجيه الجهاز حسب الحاجة كما هو موضح في الشكل (١). وقد كلف إنتاج الجهاز مبلغ إجمالي قدره ٥٣ دولار أمريكي. وقد صمم الجهاز ليُقوم بتجميع الطاقة الشمسية وتحفيز الحصول على تيار هوائي ساخن بداخله في آن واحد، بحيث يدخل الهواء من الفتحة السفلى وخلال مروره عبر تجويف الجهاز المقسم الى خمس مستويات يكتسب طاقة حرارية ويرتفع ليخرج من الفتحة العليا مصطحباً معه كمية من رطوبة المنتج الزراعي. تم قياس درجات الحرارة عند ثلاث مواضع ضمن الخمس مستويات كل على حده. امتدت فترة القياس من حين إخراج الجهاز الى العراء الى حين إدخاله الى المعمل. وقد جربت ثلاث تصميمات مختلفة للجهاز بغرض المفاضلة بينها من حيث ارتفاع درجات الحرارة وسرعة مرور الهواء عبرها.

تم قياس درجة الحرارة داخل وخارج المجفف كل ثلاث ساعات وفق الخطوات التالية:

١. تم اخذ قراءة درجة الحرارة خارج المجفف مباشرة عند البدء في اخذ القراءات لدرجات الحرارة داخل المجفف.
٢. تم اخذ القراءات لدرجات الحرارة داخل المجفف لكل مستوى (في المواقع المبينة بالشكل ٢).
٣. تم اخذ قراءة درجة الحرارة خارج المجفف مباشرة عند الانتهاء من اخذ القراءات لدرجات الحرارة داخل المجفف.
٤. تم اخذ المتوسط الحسابي لقراءتي درجة الحرارة خارج المجفف.
٥. تم حساب الفارق بين درجات الحرارة لكل المواقع بكل مستوى داخل المجفف والمتوسط الحسابي لقراءتي درجة الحرارة خارج المجفف.

**الأجهزة:**

تم قياس درجة الحرارة داخل المجفف بواسطة ثلاث ترمومترات (محارير) مئوية لكل مستوى في المواقع المبينة بالشكل (٢) بحيث تم تعليق كل ترمومتر بواسطة حامل غير موصل للحرارة في المستوى الذي يملوه. ونظراً لعدم توفر جهاز لقياس سرعة الهواء بدقة فقد تم استخدام وسيلة بسيطة عبارة عن مجموعة من شفرات دوران (مروحة بلاستيكية) يمر عليها التيار الهوائي فتدور بسرعة تتناسب مع سرعته.

**عمل الجهاز كمنظومة تيرموديناميكية  
أوضاع الجهاز لتجميع الطاقة الشمسية**

عند توجيه الجهاز في اتجاه أشعة الشمس صباحاً فإن الشعاع يسقط بزوايا أصغر على السطح الراسي منها على السطح الأفقي؛ مما يجعل كمية الطاقة الشمسية الساقطة على السطح الراسي أكبر من تلك الساقطة على الأفقي. وعند امتصاص السطح الراسي للطاقة الحرارية ينقلها الى جزيئات الهواء الموجودة داخل التجويف الراسي الملامس له مما يسبب تمددها وزيادة المسافات البينية مما ينتج عنه زيادة في الحجم وبالتالي تقل الكثافة مقارنة بالهواء خارج الجهاز، فتتجه صعوداً للخروج من الفتحة العليا. كذلك الحال بالنسبة لجزيئات الهواء داخل التجويف الأفقي التي تبحث عن مخرج إما من الفتحة السفلى أو العليا، ولكن نتيجة للخروج المسبق لجزيئات الهواء في التجويف الراسي من الفتحة العليا يحدث شبه تفرغ هوائي في التجويف الراسي يسمح بانتقال الهواء من التجويف الأفقي الى الراسي، مسبباً أيضاً شبه تفرغ هوائي في التجويف الأفقي يستدعي دخول جزيئات من الهواء الجوي الخارجي تكون عادةً أبرد. وهي بدورها تمر

بنفس المراحل السابقة حيث تزداد درجة حرارتها بمرورها عبر تجويف الجهاز. وقد لوحظ ذلك عند قياس درجات الحرارة ضمن مستويات الجهاز حيث تزداد بزيادة البعد عن قاع الجهاز نحو الأعلى. وكلما اقترب الوقت من الظهيرة حيث تكون الشمس شبه عمودية على السطح الأفقي للجهاز، تبدأ زاوية السقوط بالنقصان على السطح الأفقي وتزداد على الرأس مما ينتج عنه استقبال أكبر للطاقة الشمسية من قبل السطح الأفقي ويحدث تسخين أكبر لجزيئات الهواء في التجويف الأفقي وبالتالي زيادة في تدفق ومرور الهواء عبر الجهاز عما كان عليه الحال في الفترة الصباحية. ويستدل على ذلك من قلة الفوارق في درجات الحرارة في المستويات السفلية عنها في العلوية مقارنة بالفترة الصباحية مما يدل على أن الجزيئات حينها تمر بسرعة أكبر عبر الجهاز. عند دنو الغروب يتم توجيه الجهاز الى عكس اتجاهه أثناء الفترة الصباحية بحيث تصبح زاوية السقوط صغيرة على الرأس وتقل على الأفقي، ويبدأ تدفق الهواء بالتناقص التدريجي حتى الغروب بعكس الفترة الصباحية تماما.

#### انتقال الطاقة عبر الجهاز:

يتم انتقال الطاقة الحرارية عبر الجهاز بطرق النقل الثلاث (الإشعاع، التوصيل، والحمل) حيث يتم التالي:

- تنتقل الطاقة الحرارية بالإشعاع من الشمس الى السطح الماص للحرارة.
- تنتقل الطاقة الحرارية بالتوصيل من السطح الماص الى جزيئات الهواء الملاصقة له فتزداد طاقتها الحركية.
- تنتقل الطاقة الحرارية بالحمل عن طريق جزيئات الهواء حيث ترتفع الكتل الهوائية الساخنة (الأقل كثافة) وتحل محلها كتل هوائية أبرد (الأكثر كثافة)

أما توليد الطاقة الحركية في جزيئات الهواء داخل الجهاز فيمكن تفسيره باستخدام النظرية الحركية للغازات ومعادلة الغاز النموذجي (المعادلة ١).

$$PV = mRT \dots\dots\dots (1)$$

$$T = \frac{2}{3} \frac{1}{k} \left( \frac{1}{2} mv^2 \right) \dots\dots\dots (2)$$

$P = \text{Absolute pressure, } V = \text{Volume, } m = \text{mass, } R = \text{Specific-gas constant, } T = \text{Absolute temperature}$   
 $k = \text{Boltzman constant, } v = \text{Gas molecular velocity}$

ويمكن إثبات أن درجة الحرارة المطلقة  $T$  تعتبر سبب (مقياس) للطاقة الحركية للغازات (طاقة الحركة الانتقالية) حيث يمكن الحصول على المعادلة (٢) والمقدار  $(1/2 mv^2)$  هو متوسط طاقة الحركة الانتقالية لجزيء الغاز. ونلاحظ من المعادلة (٢) أن سرعة الغاز تتناسب مع درجة الحرارة المطلقة. وعليه لزيادة حركة جزيئات الهواء يجب زيادة درجة حرارته المطلقة وهذا ما يقوم به الجهاز.

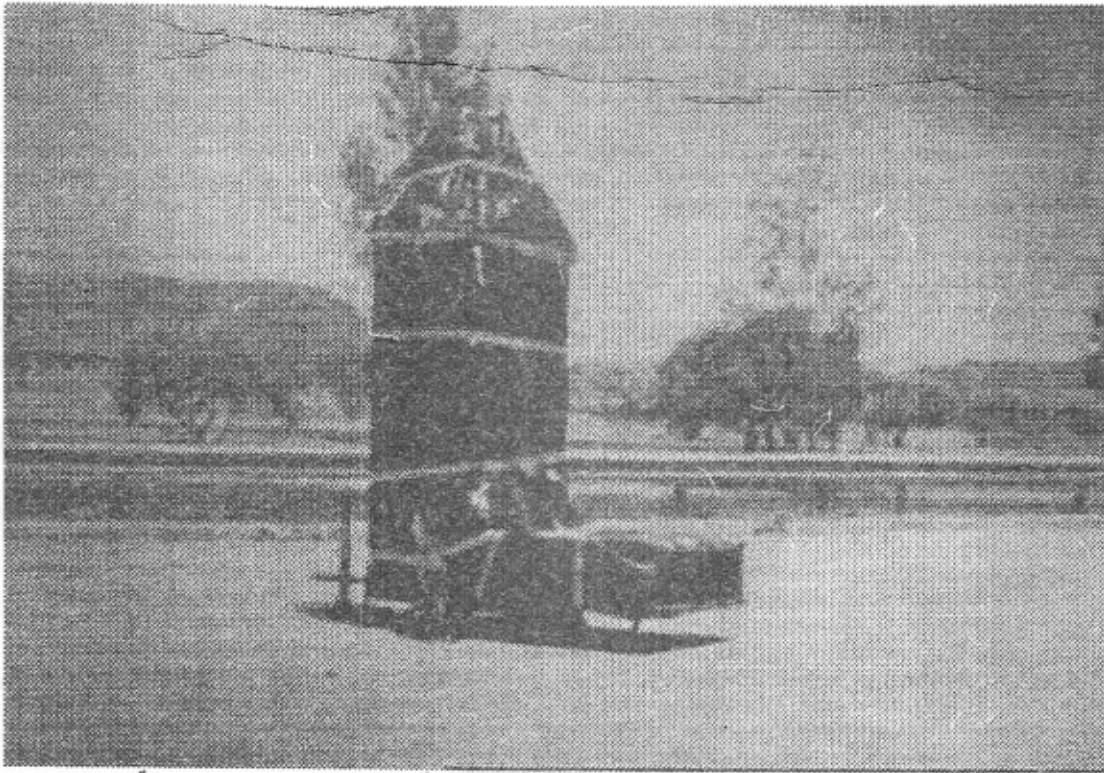
#### الديناميكية الحرارية داخل الجهاز:

الجهاز عبارة عن منظومة ثيرموديناميكية مفتوحة (open system) غير معزولة حرارياً عن الهواء الجوي والعمليات التي تتم تعتبر غير أديباتية (non-adiabatic) تحت ضغط ثابت  $P$  وهو ضغط الهواء الجوي. ومن تعريف السعة الحرارية النوعية وهي كمية الحرارة التي تنساب الى وحدة كتلة من المادة لترفع درجة حرارتها بمقدار درجة واحدة (المعادلة ٣)، يمكننا الاستنتاج أن زيادة كمية الحرارة الداخلة الى الجهاز ستعمل على زيادة طاقة جزيئات الهواء الداخلية والحركية والتي يستفاد منها في عملية التجفيف (المعادلات ٤ - ٥).

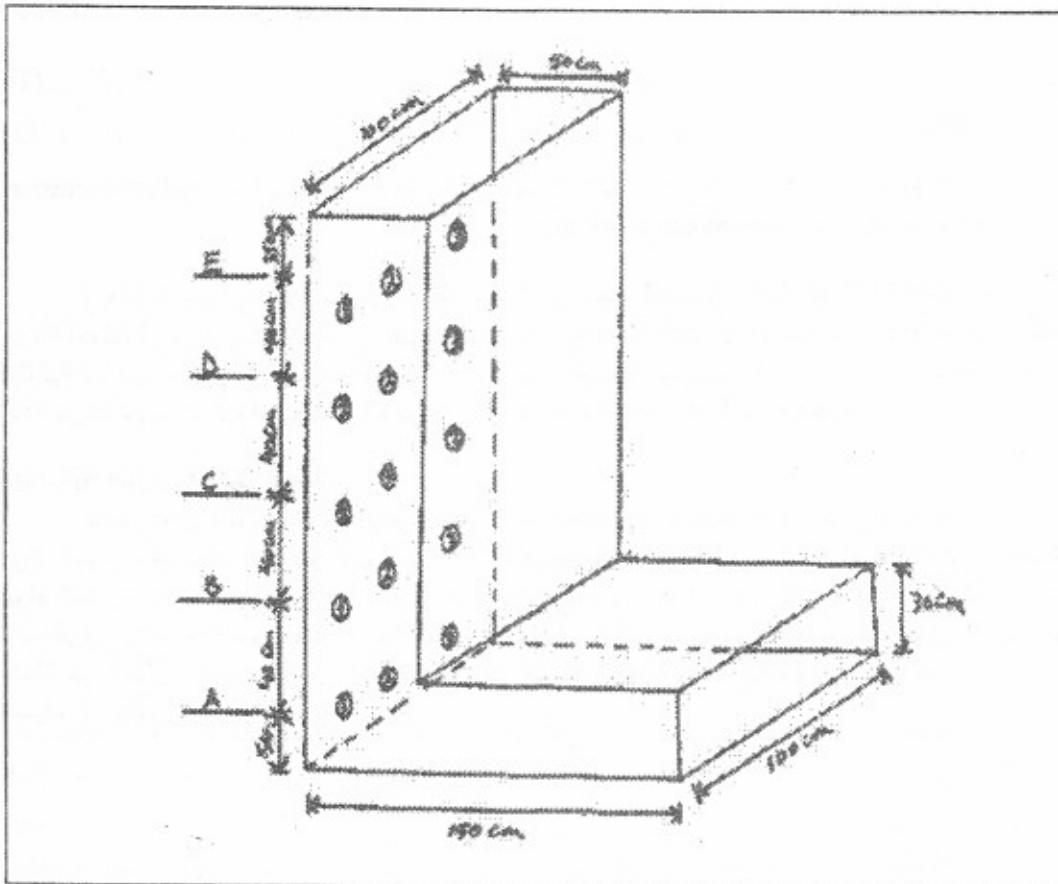
$$c = \frac{\Delta Q}{m \Delta T} \dots\dots\dots (3)$$

$$\therefore \Delta Q = mc\Delta T \dots\dots\dots (4)$$

$$\therefore P = \text{constant, } \therefore \Delta Q = mc_p \Delta T \dots\dots\dots (5)$$



شكل (١): صورة رقمية لجهاز تجميع الطاقة الشمسية لتجفيف المنتجات الزراعية



شكل (٢): التصميم الأول للجهاز موضحاً عليه نقاط قياس درجة الحرارة

## تصميم مجفف شمسي بسيط لتجفيف المنتجات الزراعية

٧

وقد لوحظ من بيانات القياس لدرجات الحرارة داخل الجهاز أن الزيادة في فروق درجات الحرارة بين داخل الجهاز وخارجه تتغير تغيراً طفيفاً مع الوقت عند نفس النقطة ضمن المستوى الواحد كما هو موضح في الجدول (١) مما يعني أن المنظومة تعمل تحت ظروف الانسياب المستقر (steady flow) للطاقة الحرارية نتيجة حركة الهواء.

جدول رقم (١): الفروق في درجات الحرارة بين باطن الجهاز في كل مستوى عند ثلاث مواضع ودرجة حرارة الهواء الجوي خارج الجهاز.

اليوم	الوقت	فروق درجات الحرارة المثوية بحسب المستوى وموضع القياس								
		الموسم A			الموسم B			الموسم C		
		الموضع ١	الموضع ٢	الموضع ٣	الموضع ١	الموضع ٢	الموضع ٣	الموضع ١	الموضع ٢	الموضع ٣
الأول	١٠:٠٠	٥,٥	٦,٠	٦,٠	٥,٥	٥,٠	٥,٥	٥,٥	٥,٥	٦,٠
	١٢:٠٠	٥,٠	٦,٠	٦,٠	٥,٠	٥,٠	٦,٠	٦,٠	٦,٠	٧,٠
الثاني	١٠:٠٠	٦,٠	٨,٠	٨,٠	٧,٥	٧,٥	٨,٠	٨,٠	٨,٠	٩,٠
	١٢:٠٠	٥,٠	٦,٥	٧,٥	٧,٥	٧,٥	٨,٠	٨,٠	٨,٠	٧,٥

### تجفيف العنب:

إنتاج الزبيب تم استخدام عنب يماني صنف رازقي بعد تحليل عينة منه كانت الرطوبة ٧٨%، الأحماض ٠,٩%، والسكريات ١٨%. بعد تعبئة الأرفف ضمن أقسام الجهاز الخمسة بالعنب وجد أن الفوارق في درجات الحرارة بين الأقسام متناهية الصغر مع انخفاض ملحوظ في سرعة الهواء باتجاه الأعلى. وتفسير ذلك هو شبه ثبات لسرعة مرور الهواء عند المستوى الأسفل لقربه من مدخل الجهاز، وعدم وجود عوائق قبله، وتناقص سرعة مرور الهواء مع الارتفاع نحو الأعلى في اتجاه المخرج حيث تزداد العوائق (أرفف التجفيف) وبالتالي كانت أقل عند المستويين الأوسط والأعلى. وعليه فقد تم استبعاد رفين لزيادة المسافات بين الأقسام ليصير عدد الأرفف المستخدمة في تجفيف العنب ثلاثة. هذا الوضع ساعد على إيجاد الفروق المطلوبة في درجات الحرارة وكذا سرعة أكبر للهواء. وعليه فقد تم تجفيف ١١,٦٥ كيلوجرام من العنب وزعت على ثلاثة مستويات (أرفف) بحيث وضع في الأسفل ٤,١٠ كيلوجرام وفي الأوسط ٣,٦٥ كيلوجرام وفي الأعلى ٣,٩٥ كيلوجرام. أما بالنسبة لتقييم نوعية الزبيب المنتج فقد أخذت عينات عشوائية من كل مستوى على حدة لتحديد الرطوبة. أما بقية معايير النوعية فقد تم تحديدها عن طريق الاستفتاء بعرض الزبيب المنتج على مجموعة مختصة من منتجي (٦ أشخاص) وتجار (٦ أشخاص) الزبيب لإبداء الرأي حول الشكل الخارجي، اللون، الطعم، والنظافة ومقارنته بفنتين (محلّي درجة أولى وثانية) من نفس الصنف من الزبيب المنتج بالطرق التقليدية.

### النتائج والمناقشة:

#### تصميم المجفف الشمسي:

بدأت التجارب بتصميم الجهاز الموضح في الشكل (٢) وتم قياس درجات الحرارة المثوية داخله وخارجه (الهواء الجوي) واحتساب الفروق. وبالرغم من ارتفاع درجة الحرارة داخل الجهاز إلا أنه لوحظ أن انسياب الهواء عبره كان بطيئاً. وعليه تم التعديل إلى التصميم الثاني بتصغير فتحة دخول الهواء كما في الشكل (٣) وقيست درجات الحرارة عند نفس المواضع كم في التصميم الأول. وقد لوحظ أن الارتفاع في درجات الحرارة داخل الجهاز كان أكبر عما هو عليه الحال في التصميم الأول، بينما انخفض انسياب الهواء بدرجة أكبر. بعدها كانت المحاولة الثالثة حيث تم تعديل التصميم بتصغير فتحة خروج الهواء كما في الشكل (٤). وقد امتاز هذا التصميم الأخير عن سابقه بسرعة انسياب أكبر للهواء مع فارق في درجة الحرارة بين باطنه والهواء الجوي أكبر من التصميم الأول وأصغر من التصميم الثاني. وبهذا وجد أنه التصميم الأمثل من حيث تجميع الطاقة الحرارية وتمريها. الجدير بالذكر أن فارق درجات الحرارة بين داخل الجهاز والهواء الجوي يزداد بالارتفاع نحو المستويات الأعلى وينطبق هذا على جميع التصميمات الثلاث. الجدول (٢) يوضح نتائج قياس هذه الفوارق بالنسبة لكل التصميمات التي تم اختبارها. الشكل (٥) يوضح بصورة جلية المعدل التزايدى في فارق درجات الحرارة من المستوى الأدنى إلى المستوى الأعلى لكل تصميم على

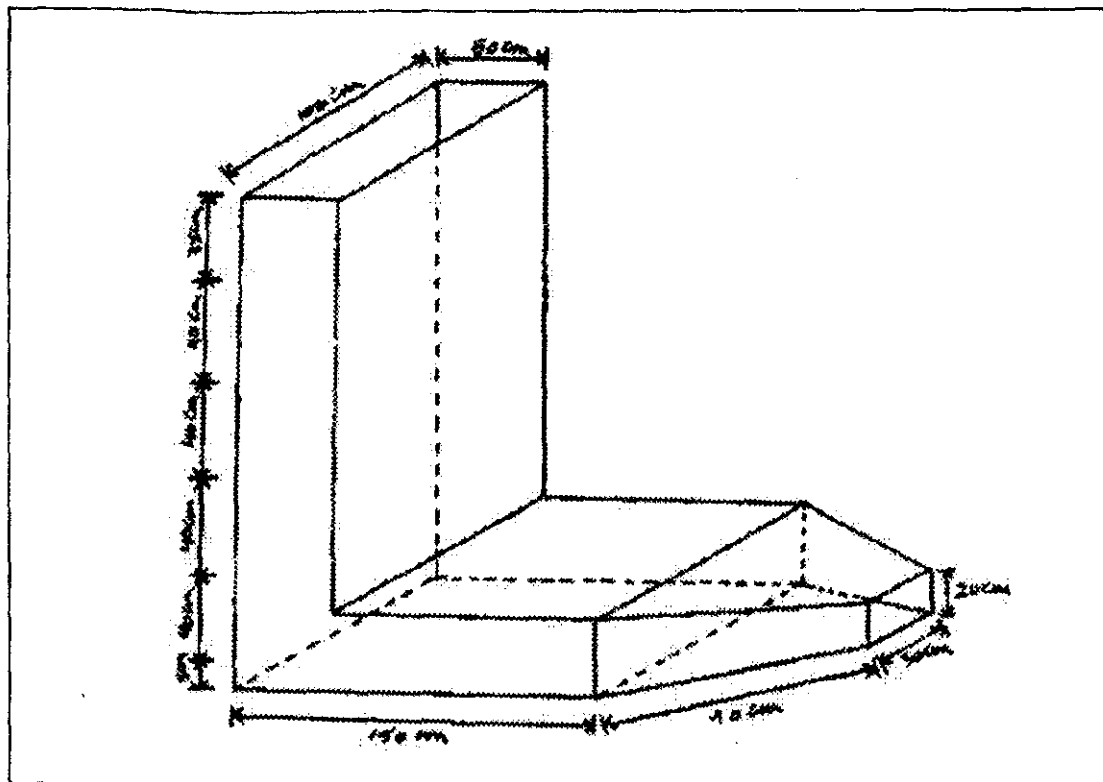
حدة. أما بالنسبة للاختلاف بين التصميمات الثلاثة فإن الشكل (٥) يبين تميز التصميم النهائي بالوسطية بين التصميمين الأول والثاني. عموماً هناك ثلاثة فوائد هامة تم الحصول عليها من تصميم هذا الجهاز يمكن تلخيصها في التالي:

- بما أن الجهاز يوفر الطاقة الحرارية المطلوبة للتجفيف مباشرة من تجميع الطاقة الشمسية بدون استهلاك لأي نوع من الوقود فهذا يعني عدم وجود عوادم أو مخلفات مما يجعله وسيلة آمنة بيئياً.
- الجهاز يؤدي مهامه دون الاستعانة بالخلايا الشمسية المكلفة وبهذا فهو أبعد ما يكون عن التكلفة العالية والتعقيد في أن واحد، مما يجعله في متناول الجميع.
- المجمعات ذات الأسطح الماصة لم توفر الطاقة الحرارية فحسب بل أضافت الى ذلك فقد هيأت بيئة تجفيف محمية من أشعة الشمس المباشرة والأتربة مما يضمن الحصول على منتج نوجودة عالية.

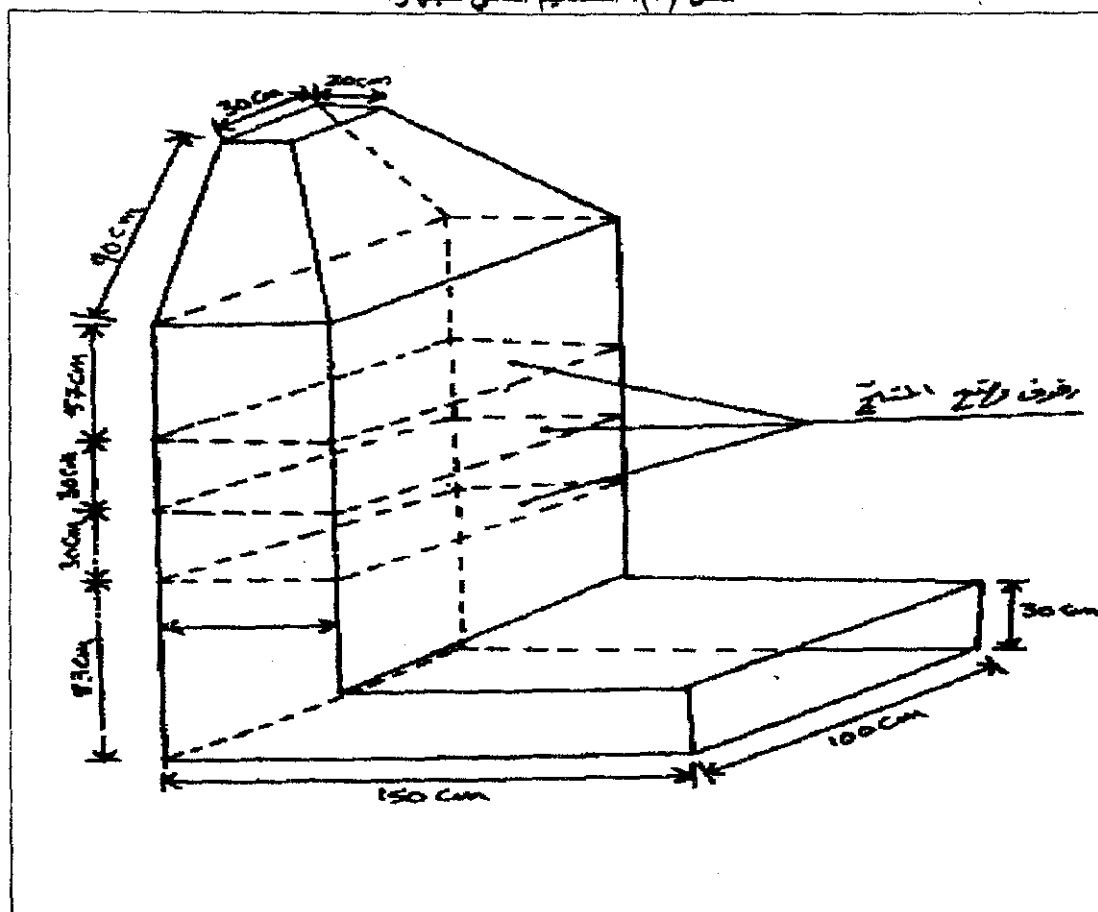
#### تجفيف العنب لإنتاج الزبيب:

تم الحصول على ٣,١٤ كيلوجرام من الزبيب في نهاية فترة التجفيف التي استغرقت ٢٣ يوماً، علماً بأنه قد تكرر إخراج الجهاز الى العراء وإدخاله الى غرفة الحفظ عدة مرات خلال فترة التجفيف. بالنسبة للطرق التقليدية المحلية فإنه للحصول على ١ كيلوجرام من الزبيب يلزم تجفيف ٤-٥ كيلوجرام من العنب أي بكفاءة إنتاج تتراوح بين ٢٠% و ٢٥% في حين أن كفاءة الإنتاج للمجفف الشمسي وصلت الى ٢٧% أي بزيادة تراوحت بين ٢% و ٥٥% رغم أن التجفيف أوصل رطوبة الزبيب المنتج الى الحد الأدنى للمدى الخاص بالمحتوى الرطوبي الأمثل للزبيب الذي هو ١٥% ت ١٨% كما ذكره الهزمي وآخرون ٢٠٠٠ م. وتفسير ذلك هو أنه في الطرق التقليدية المحلية يتم التجفيف في أماكن مفتوحة من الجوانب (غالباً ما تكون غرف مسقوفة ذات نوافذ مفتوحة) مما يتسبب في تلف جزء من المنتج نتيجة تعرضه لأشعة الشمس المباشرة عند دخولها عبر النوافذ خصوصاً في فترات ما بعد الشروق وقبل الغروب نتيجة ميل الشعاع الشمسي. هذا بالإضافة الى مشكلة تعاني منها الطرق التقليدية المحلية وهي فقدان جزء من المنتج نتيجة تعرضه للطيور التي قد تدخل من تلك النوافذ. هذا وقد كان صافي عدد الساعات التي تعرض فيها الجهاز الى أشعة الشمس ٥٣ ساعة أي بمتوسط يومي قدره ٢,٣ ساعة. من الملاحظ أن المعدل اليومي لفترة تعرض الجهاز لأشعة الشمس كانت متدنية وأقل بكثير مما هو متوقع نسبة لتكرار ظهور الغيوم أثناء فترة التجفيف ولكن رغم ذلك فقد كانت فترة التجفيف الكلية أقل بمقدار ٢٦ يوماً عن متوسط فترة التجفيف بالطريقة التقليدية (٤٩ يوم). وبهذا فقد ساعد الجهاز على تخفيض الفترة المطلوبة لتجفيف العنب بنسبة ٥٣%. وهنا يجدر القول بأنه فيما إذا كانت حالة الطقس في وضعها الطبيعي حين القيام بعملية التجفيف لأمكن تخفيض فترة التجفيف بنسبة أكبر. ولم يتمكن الباحثون من تكرار التجربة في طقس أفضل نسبة لضيق الوقت حيث يتزامن موسم العنب في اليمن مع موسم الأمطار وظهور الغيوم، ويلزم لإعادة الاختبار انتظار موسم آخر للحصول على العنب. يوضح الجدول (٣) فروق درجات الحرارة بين باطن الجهاز والهواء الجوي (تراوحت درجة حرارته ضمن المدى ٢٦ - ٣٧ درجة مئوية) قبل وأثناء عملية التجفيف حيث يلاحظ إزدیاد الفوارق بعد وضع المنتج عما هو الحال قبله وذلك لارتفاع درجات الحرارة بصفة عامة داخل الجهاز بعد وضع المنتج لتناقص سرعة مرور الهواء (الذي ترتفع درجة حرارته بفعل المجمع الحراري لغلاف الجهاز) وحدث انحباس حراري جزئي خصوصاً بين المستويين الأوسط والأعلى حيث تزداد العوائق بدرجة أكبر (أرفف التجفيف + المنتج) عما كانت عليه قبل وضع المنتج هذا الوضع ينطبق تماماً على المستويين الأوسط والأعلى وليس تماماً على المستوى الأسفل الذي حافظ نوعاً ما على الفروق قبل وأثناء التجفيف، وتفسير ذلك هو شبه ثبات سرعة مرور الهواء عند المستوى الأسفل لقربه من مدخل الجهاز وتناقصها مع الارتفاع نحو الأعلى في اتجاه المخرج حيث تزداد العوائق وبالتالي كانت أقل عند المستويين الأوسط والأعلى. هذا الوضع أعطى ميزة أكبر للمستوى الأسفل من حيث ملائمة بيئة التجفيف (درجة حرارة وسرعة هواء مناسبين) عنده بدرجة أكبر وتدنيتها مع الارتفاع، أي تقل الملائمة عند المستوى الأوسط عن الأسفل ونقل عند الأعلى عن الأوسط. هذا ونظراً لعدم توفر جهاز لقياس سرعة الهواء بدقة فقد تم الاكتفاء بملاحظة الفارق في سرعة التيار الهوائي عند المستويات المختلفة بواسطة الجهاز البسيط المذكور سابقاً. أما بالنسبة للرطوبة النسبية للهواء داخل الجهاز فلم يتم قياسها ولكن كان يتم بين الحين والآخر اخذ عينات من المنتج لقياس رطوبته حتى إذا ما وصلت الى الرطوبة المطلوبة للمنتج النهائي (الزبيب) عندها يتم إخراجها من الجهاز.

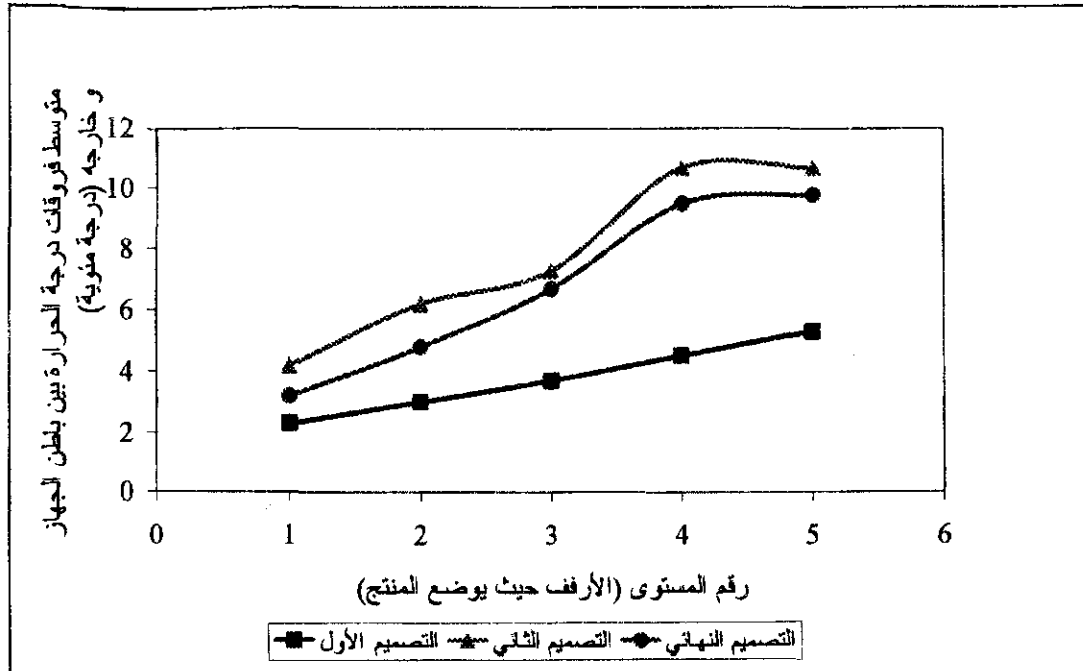




شكل (٣): التصميم الثاني للجهاز.



شكل (٤): التصميم النهائي للجهاز والمستخدم في التجفيف



شكل (٥): الفرق في درجات الحرارة بين الوضعية داخل جهاز التجفيف والهواء الجوي بحسب المستوى بالنسبة لتصميمات الجهاز الثلاثة.

جدول (٢): الفرق في درجة الحرارة بين باطن الجهاز ودرجة حرارة الجو الخارجي بالنسبة لتصميمات الجهاز الثلاث.

فروق درجات الحرارة المثمية بحسب المستوى وموضع القياس						التصميم
رقم الموضع	المستوى A	المستوى B	المستوى C	المستوى D	المستوى E	
1	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	الأول
2	2.0	2.5	4.0	4.5	5.5	
3	2.5	3.5	3.5	5.0	5.5	
1	4.0	6.5	7.0	11.0	10.0	الثاني
2	4.5	6.5	7.0	9.0	11.0	
3	4.0	5.5	8.0	12.0	11.0	
1	3.0	4.0	7.0	10.0	9.5	الثالث
2	3.5	4.5	6.5	9.5	10.0	
3	3.0	6.0	6.5	9.0	10.0	

جدول رقم (٣): الفروق في درجات الحرارة بين باطن الجهاز ضمن كل مستوى عند ثلاث مواضع ودرجة حرارة الهواء الجوي قبل وأثناء عملية التجفيف.

فروق درجات الحرارة للنوعية بحسب المستوى وموضع القياس									وقت القياس
الموسم C			الموسم B			الموسم A			
الموضع ٢	الموضع ١	الموضع ٢	الموضع ٢	الموضع ١	الموضع ٢	الموضع ٢	الموضع ١	الموضع ٢	
8.5	8.0	9.0	6.5	7.0	6.5	7.0	6.5	6.0	قبل عملية التجفيف
11.5	12.0	10.0	7.5	7.5	7.0	6.5	6.0	6.0	بعد عملية التجفيف

الاختلاف في أوضاع المستويات الثلاثة من حيث ملائمة البيئة للتجفيف انعكست آثارها جلية على سرعة التجفيف، كمية المنتج، ونوعيته ضمن كل مستوى. فعند نهاية الأسبوع الثاني للتجفيف تم تجميع ١,٠٧ كيلوجرام من الزبيب، ٨٢,٢% منها جمعت من المستوى الأسفل، و١٧,٨% منها جمعت من المستوى الأوسط في حين لم يجمع شيء من المستوى الأعلى خلال نفس الفترة. بقية الزبيب المنتج (٢,٠٧ كيلوجرام) تم تجميعها في نهاية الأسبوع الثالث من جميع المستويات (جدول ٤). وفيما يخص النوعية فبعد انتهاء عملية التجفيف وجد أن محتوى رطوبة الزبيب المنتج ١٥% أي ضمن حدود المحتوى الرطوبي الأمثل للزبيب الراقى والذي يقع ضمن المدى ١٥% - ١٨% (الهزمي وآخرون ٢٠٠٠ م). أما بالنسبة لبقية معايير النوعية فإن الشكل (٦) يوضح نسب المختصين الذين صنفوا الزبيب المنتج بمتاز من حيث الشكل الخارجي، اللون، الطعم، والنظافة وذلك لكل مستوى على حده. وقد كان جلياً تفوق الزبيب المنتج من المستوى الأسفل على ذلك المنتج من المستويين الأوسط والأعلى بالنسبة لكل معايير النوعية ما عدا معيار النظافة الذي حصلت فيه جميع المستويات على نفس التقدير ومن نفس النسبة من المختصين (٨٣,٣%). أي أن غالبية خبراء الزبيب اليميني اتفقوا دون علمهم على أن الزبيب المنتج من جميع المستويات الثلاثة للمنظومة يعتبر خالي تماماً من الشوائب والأتربة بدرجة ممتازة. أما بالنسبة للزبيب المنتج من المستوى الأعلى فلم يحصل على تقدير ممتاز من أي من المصنفين سواءً من حيث الشكل الخارجي، اللون، أو الطعم (الشكل ٦). وهذا يشير إلى معلومة مفادها أن الزيادة في فترة التجفيف قد تؤثر سلباً على بعض الخصائص المتعلقة بنوعية الزبيب المنتج مما يدل على سلبية تعرض المنتج إلى درجات حرارة أعلى لفترات طويلة مع انخفاض في مستوى التهوية. وقد سبق التوضيح خلال عرض نتائج هذا البحث بأن العنب الذي وضع في المستوى الأعلى تعرض لدرجات حرارة أعلى وسرعة هواء أقل مما تعرض له العنب الذي وضع في المستويين الأسفل والأوسط إضافة إلى بقاءه لفترة أطول داخل الجهاز أثناء التجفيف. وبصفة عامة وعند مقارنة طريقة التجفيف بالمجفف الشمسي بطريقة التجفيف التقليدية نجد أن الأولى تفوقت في أدائها على الثانية بإنتاج نوعية مميزة من الزبيب من حيث الشكل الخارجي، اللون، الطعم والنظافة وبفارق ملحوظ يبينه بكل وضوح الشكل (٧).

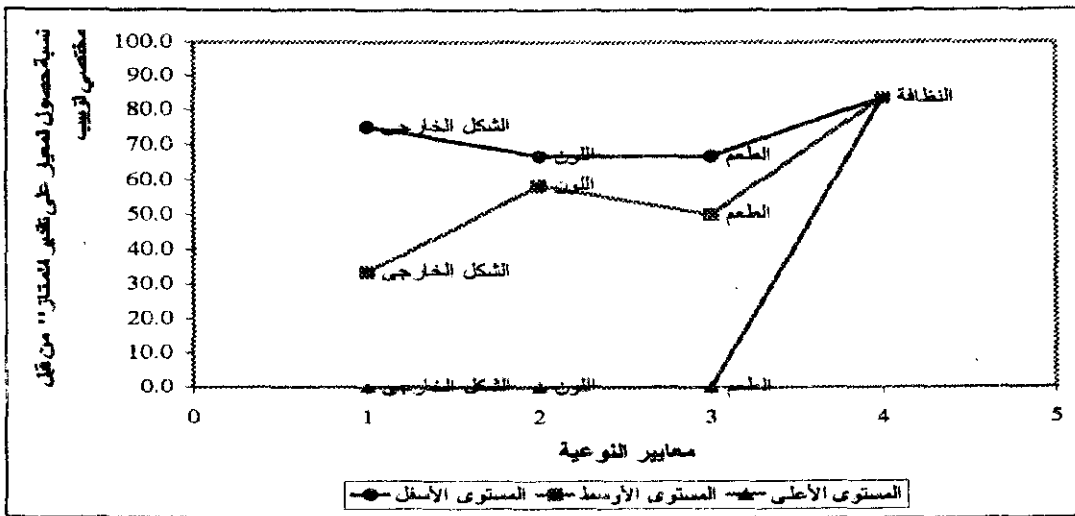
#### الاستنتاجات:

تم تصميم مجفف شمسي عبارة عن منظومة مفتوحة على هيئة جهاز يقوم بتجميع الطاقة الشمسية وتحويلها إلى طاقة حرارية بكفاءة عالية وذلك باستخدام المجمعات ذات الأسطح الماصة. الجهاز يوظف ديناميكية الهواء لتمرير الطاقة الحرارية عبر أقسامه المختلفة من الأسفل إلى الأعلى. تم بناء الجهاز من مواد متوفرة محلياً وبتكلفة إجمالية قدرها ٥٣ دولار أمريكي، كما تصنف تصميمه بالبساطة مما يضمن إمكانية تكرار صنعه من قبل أي ورشة محلية أو مزارع العادي دون أي عناء أو حاجة لخبرة فنية عالية. تميزت أقسام المجفف الشمسي المعدة لاستيعاب المنتج الزراعي بفارق كبير في درجات الحرارة عما هو سائد خارج الجهاز مع زيادة في الفارق ناحية المخرج (الجهة العليا).

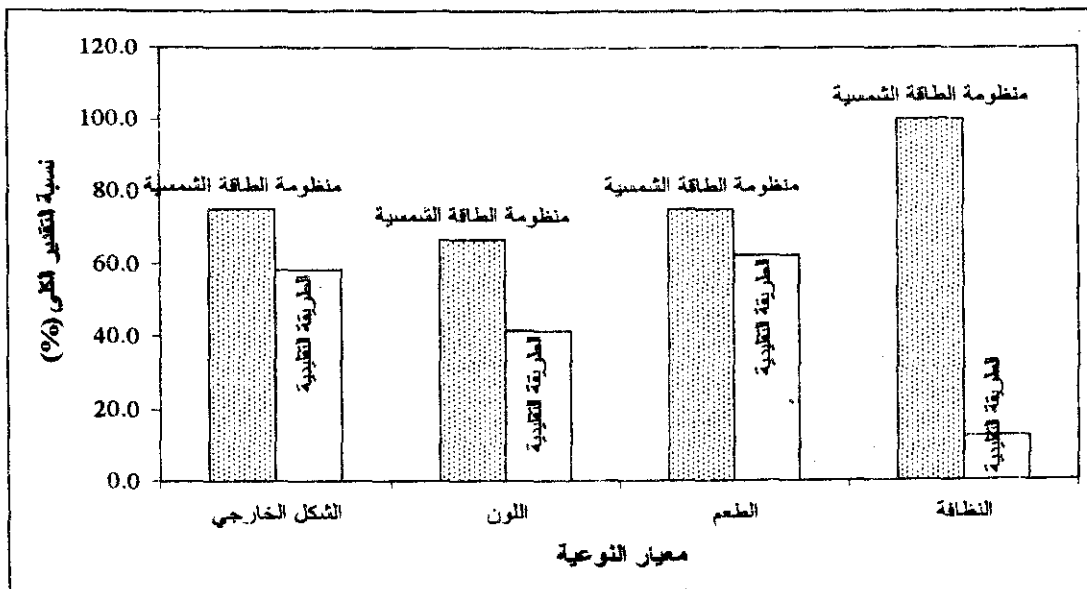
تم التحقق من كفاءة وفعالية المجفف الشمسي من خلال تجفيف عنب صنف رازقي وتقييم نوعية الزبيب المنتج مقارنة بذلك المنتج بالطريقة التقليدية وذلك عن طريق عرضه على خبراء في إنتاج وتجارة الزبيب. حقق المجفف الشمسي كفاءة إنتاج قدرها ٢٧% بزيادة تراوحت بين ٢% و ٥% عن الطريقة التقليدية بالإضافة إلى توفير الوقت بتخفيض الفترة المطلوبة لتجفيف العنب بنسبة ٥٣%. أثناء التجفيف ظهر اختلاف في درجات الحرارة وسرعة الهواء بين المستويات الثلاثة للمنظومة مما نتج عنه تفاوت في أوضاع المستويات الثلاثة من حيث تندي مستوى ملائمة البيئة للتجفيف مع الارتفاع، الشيء الذي انعكست آثاره على سرعة التجفيف، كمية المنتج، ونوعيته ضمن كل مستوى. تميز الزبيب المنتج بمحتوى رطوبة ضمن الحدود المثلى (١٥%). اتفق خبراء النوعية على أن الزبيب المنتج من جميع المستويات الثلاثة للمنظومة يعتبر خالي تماماً من الشوائب والأتربة. أوضحت النتائج أن الزيادة في فترة التجفيف قد تؤثر سلباً على بعض الخصائص المتعلقة بنوعية الزبيب المنتج مما يدل على سلبية تعرض المنتج إلى درجات حرارة أعلى لفترات طويلة مع انخفاض في مستوى التهوية ورغم ذلك فقد تفوق المجفف الشمسي بأدائه في إنتاج الزبيب على الطريقة التقليدية من حيث سرعة التجفيف وكفاءة الإنتاج وجودة المنتج.

جدول رقم (٤): الكمية الكلية من الزبيب المنتج باستخدام منظومة التجفيف بالطاقة الشمسية لكل مستوى على حده.

المستوى ضمن منظومة التجفيف (الأرفف)						وقت التجميع
الأعلى		الأوسط		الأسفل		
النسبة شمس الأسبوع	كمية الزيت المتجمعة (كيلوجرام)	النسبة شمس الأسبوع	كمية الزيت المتجمعة (كيلوجرام)	النسبة شمس الأسبوع	كمية الزيت المتجمعة (كيلوجرام)	
٠,٠	٠,٠٠	١٧,٨	٠,١٩	٨٢,٢	٠,٨٨	نهاية الأسبوع الثاني
٥١,٢	١,٠٨	٣٧,٧	٠,٧٨	١١,١	٠,٢٣	نهاية الأسبوع الثالث



شكل (٦): نسب مختصي الزبيب الذين أعطوا تقدير "ممتاز" لمعايير النوعية الأربعة عند تقييمهم لنوعية الزبيب المنتج من المستويات الثلاثة لمنظومة التجفيف بالطاقة الشمسية.



شكل (٧): نسب مختصي الزبيب الذين أعطوا تقدير "جيد جداً" أو "ممتاز" لمعايير النوعية الأربعة عند تقييمهم لنوعية الزبيب المنتج من المستويات الثلاثة وقد تم تصنيف النسب حسب طريقة التجفيف المتبعة.

إن نتائج المرحلة الأولى للبحث أثبتت أن الجهاز المصمم يعتبر إضافة هامة لتقنية مجمعات الطاقة الشمسية ذات الأسطح الماصة وكذا لتقنية توفير الطاقة البديلة والأمنة بيئياً مما يؤوله ليكون صديقاً للمزارع والبيئة معاً. وباكتمال اختبار أداء منظومة التجفيف فقد استوفيت أهداف المرحلتين الأولى والثانية من البحث. وبهذا فقد تحقق الهدف الرئيس من البحث ككل والمتمثل في تصميم منظومة تتصف بالكفاءة وعدم التعقيد وقللة التكلفة لتجميع الطاقة الشمسية لأغراض تجفيف المنتجات الزراعية والتأكد من حسن أداءها وفعاليتها من خلال تجفيف العنب الراقى وإنتاج زبيب ذو جودة عالية.

## المراجع:

- الهزمي، مانع حسين، عبد الجليل سعيد غالب وأحمد حمزة اليميني. (٢٠٠٠): تأثير بعض المعاملات التقليدية على ثمار العنب (الراقى) المعدة لإنتاج الزبيب. المجلة المصرية للعلوم التطبيقية. المجلد (١٥) العدد (١٠): ١٦٥-١٧٧.
- حمدي، شافعي معوض ومحمد عبدالله الشغدري (١٩٩٩): تقويم الخبرة مع التقنيات الحرارية للطاقة الشمسية وتطبيقها على استخدامات الطاقة في اليمن. مجلة العلوم والتكنولوجيا. المجلد (٤) العدد (٢) خاص - أكتوبر.
- قاعدة بيانات هيئة الأرصاد الجوية اليمنية (١٩٩٣): سجلات الطقس لعام ١٩٩٣ م.
- Alonge, A.F. (2008): A study of drying rate of some fruits and vegetables with passive solar dryers. Proc. Food Proc. Autom. Conf., 28-29 June, Providence, Rhode Island. ASAE Pub No. 701P0508cd.
- Brodie, G. (2006): Microwave treatment accelerates solar timber drying. Trans. of ASABE Vol. 50(2): 389-396.
- Clary, C.D.; Schmidtgal-McMillan, D. and Petrucci, V.E. (2005): A method for reducing the amount of sulfur used to produce golden raisins. App. Eng. in Agr. Vol. 21(3): 473-477.
- Ichani, D. and Dyah, W.A. (2002): Design and experimental testing of a solar dryer combined with kerosene stoves to dry fish. An ASAE Paper No. 028024. Written for pres. at the 2002 ASAE Ann. Int. Mt./CIGR XVth World Cong., Chicago, Il., USA, July 28-July 31, 2002.
- Hien, P.H.; Vinh, L.Q. and Thuy, T.T.T. (2007): The solar macaroni dryer. An ASAE Pub. # 701P0307e Electronic-only Proc. of the Int. Con. on crop harvesting and processing, 11-14 February 2007, Louisville, Kentucky, USA.
- Lee, G.H.; Kang, W.S. and Park, C.H. (2007): Drying system using compound parabolic concentrator (CPC) evacuated tubular solar collector. An ASAE Paper No. 076191. Written for pres. at the 2007 ASABE Ann. Int. Mt., Minneapolis, Minnesota, 17 - 20 June 2007.
- Rajkumar, P.; Kulanthaisami, S.; Raghavan, G.S.V.; Garipey, Y. and Orsat, V. (2006): Vacuum assisted solar drying of tomato slices. An ASAE Paper No. 066207. An ASAE Mt. Pres. 9-12 July 2006. Portland, Oregon, USA.
- Schluterman, G.J. and Siebenmorgen, T.J. (2004): Air and rice property profiles within a commercial cross-flow rice dryer. App. Eng. in Agr. Vol. 20(4): 487-494.
- Shez-Rom, R.M.; Soares, A.A.; de Matos, A.T.; Sediama, G.C.; DeSouza, O. and Mounteer. A.H. (2007): Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. Tran. of the ASABE Vol. 50(1): 65-71.
- Song, H.; Mao, Z. and Lian, G. (2003): Effect of drying on the physical characteristics of black tea leaf. An ASAE Paper No. 036110. Written for presentation at the Ann. Int. Mt., Las Vegas, Nevada, USA, 27- 30 July 2003.
- Vermaas, H.F. (2000): A review of drying technologies for young fast-grown eucalypts. Paper presented in Proc. of IUFRO Conf., Tasmania, Australia.
- Vinden, P. and Torgovnikov, G. (2000): The physical manipulation of wood properties using microwave. In Proc. IUFRO Conf. Tasmania, Australia: IUFRO.

DESIGN OF A SIMPLE SOLAR DRYER FOR DRYING AGRICULTURAL  
PRODUCTS  
BY

El-Faki, M.S.,\* and Al-Washali, A.H.\*\*

\* Agr. Eng. Dep., Fac. of Agr - Sana'a U., [ELFAKIM@YAHOO.COM](mailto:ELFAKIM@YAHOO.COM)

\*\* Yemeni and Jordanian U. - Sana'a

ABSTRACT

This research aimed at designing a Solar Dryer (SD) taking into account that it should be simple, cheap and easy to be manufactured in local workshops in Yemen. Its purpose would be collecting and utilizing solar energy in drying agricultural products effectively. The first stage of the research was devoted to system development in a way that ensures provision of the needed heat energy for drying within its interior. The second stage was devoted to system evaluation in terms of performance and effectiveness in drying grapes (*Vitis vinifera*) of variety Razigi to produce high quality raisins. This paper documented the work carried out and results obtained upon completion of the two stages. The specific objectives of the first stage were: (a) to design and build a solar dryer that is simple in its composition and made from locally available materials, to collect solar energy and convert it into an environmentally-safe heat energy while maintaining its flow through it by employing air movement, (b) to construct drying chambers with optimal temperatures for accommodating the agricultural products that need to be dried, by dividing the vertical interior of the SD into five vertical sections (chambers) at which temperatures would be measured, (c) to secure a drying environment that guarantees adequate quality of the product through full coverage of the SD with black polyethylene sheets that would collect solar energy without exposing the product to direct sunlight or dust, and (e) to evaluate the rate of temperature rise inside the SD from entrance to exit in comparison to air temperature outside the SD. The SD was successfully constructed from locally available materials with a total cost of 53 USD. An important feature of the SD five chambers was the significant difference in their interior temperatures - ranged from 3.0°C to 10.0°C - higher than the exterior air temperature with an increase towards the exit (top) with an adequate air movement through it.

In regard to the second phase of the research which was devoted to system performance evaluation, its specific objectives were: (a) to dry Yemeni grapes, variety Razigi, and (b) to compare the quality of raisins produced to its counterpart produced by traditional ways available in the local market. The SD achieved a 27% raisin production efficiency, which was higher than that of the traditional methods by 2% to 5% in addition to a 53% saving in time needed for drying. The produced raisin had a moisture content of 15%, which was within the optimum range. Poll results confirmed that the SD produced raisins with a better quality than that of the raisins produced by the traditional methods in terms of purity, taste, color and shape.

**Key words:** Solar energy, Alternative energy, Solar dryer, Absorbing surfaces technology, Environmental safety, Drying agricultural products, Raisin production, Product quality.