

Design and Testing Solar Dryer Performance

Enas Mozahim Abed

Electromechanical Engineering Department, University of Technology / Baghdad

Email: Enas232013@yahoo.com

Received on: 4/11/2012 & Accepted on: 4/4/2013

ABSTRACT

In this paper we design and testing solar dryer performance that made of three main part, which were solar collector, box dryer and chimney. The solar collector was made in trapezoid shape the bigger base down, the collector were inclined with thirty degree, the upper base connected with box dryer, that let the hot air reach to box dryer, which were making hotter by black rock effect in the solar collector to the box dryer and the tray. The last was the chimney. The aim of the chimney is to replace the moist air by dryer air and prevent the air turbulent movement, satisfying the continuity equation, the chimney was open to with diameter of (D=21 cm).

The drying process was in summer season of (100 gm of Okra), were selected and studying the daily efficiency of drying, which reach (35%) the maximum value at 12:00 pm in 24/7/2012, and the minimum value at 12:00 pm in 26/7/2012 reach (16%).

For the same day the reduction reason in efficiency was due to sun set down gradually but depending on observed heat in black rock.

To improving and increasing the drying efficiency process the fan was applied at the chimney outlet to take the air out and increasing the velocity of its movement, and changing the free air movement to forced movement inside the solar dryer. (now the movement will be mixed by free and forced).

In natural convection the velocity was ($V=0.1\text{m/s}$) at the solar collector input, while after the fan applying in the chimney outlet the velocity in the solar collector input has become ($V=0.3\text{m/s}$). After calculating the efficiency we notice that the value increase to (52%) at 10/8/2012 between the 2:00 pm and 4:00 pm, which means the efficiency, was increased by (14%).

The efficiency increasing percentage got from this process is a high good value in indirect solar dryer depending on changing the heat type from solar radiation to observed heat and then heating the air of drying process.

تصميم واختبار اداء مجفف شمسي

الخلاصة

تم تصميم واختبار اداء مجفف شمسي متكون من ثلاثة اجزاء رئيسية هي المجمع الشمسي (solar collector) وصندوق التجفيف (box dryer) وبرج التهوية (chimney), تم تصنيع المجمع الشمسي على شكل شبه منحرف قاعدته الاكبر الى الاسفل ومائل بزاوية 30 درجة وقاعدته العليا الى الاعلى مرتبطة مع حجرة التجفيف (box dryer) بحيث يضمن وصول الهواء الحار الذي تم تسخينه بحرارة الحصى الاسود اللون الموجود في المجمع الشمسي (solar collector) الى حجرة التجفيف (box dryer) ورف التجفيف (Tray) والجزء الاخير هو برج التهوية (chimney)، والغرض منه للتخلص من الهواء الرطب ليحل محله هواء جاف اما فتحة التهوية فقد كانت على شكل دائري (D=21 cm) بحيث يضمن تحقيق معادلة الاستمرارية كما ويضمن خروج نفس كمية الهواء الداخلة الى غرفة التجفيف من المجمع الشمسي.

كان التجفيف في فصل الصيف لمحصول البامياء بواقع (100 gm of Okra) تم اختيارها ودراسة كفاءة عملية التجفيف اليومي حيث بلغت اعلى قيمة لها (35%) عند الساعة (12:00) ظهراً ليوم 2012/7/24، واقل قيمة لها بلغت عند الساعة (12:00) ظهراً ليوم 2012/7/26 حيث بلغت (16%) اما لنفس اليوم فان سبب التناقص في الكفاءة هو غروب الشمس تدريجياً لكنها اعتمدت على الحرارة المخزونه داخل الحصى الاسود.

ولغرض تحسين وزيادة كفاءة عملية التجفيف تم اضافة مفرغة هواء عند فتحة برج التهوية لسحب الهواء وزيادة سرعة حركته وتحويل حركة الهواء الحرة (Free) الى حركة قسرية (Forced) داخل غرفة التجفيف. في حالة الحمل كانت السرعة (V=0.1 m/s) عند مدخل المجمع الشمسي (Solar dryer) اما عند ربط المروحة عند فتحة البرج اصبحت السرعة (V=0.3 m/s) عند مدخل المجمع الشمسي (Solar dryer) ولدى اجراء الحسابات تبين ان قيمة الكفاءة لعملية التجفيف ارتفعت الى (52%) عند تطبيق الحسابات في يوم 2012/8/10 عند الساعة الثانية والرابعة عصراً، أي ان الكفاءة ارتفعت بمقدار (14%) , وهي نسبة عالية وجيدة في عملية التجفيف الشمسي الغير مباشر المعتمدة على تحويل نوع الحرارة من اشعاع شمسي الى حرارة مخزونة ثم تسخين هواء عملية التجفيف.

المقدمة

لقد تم بناء المجفف الشمسي (Solar dryer) والعمل عليه في محافظة بغداد العاصمة الواقعة عند خط طول (44°) وخط عرض (33°) حيث قيمة الاشعاع الشمسي عالية ومتوفرة طوال السنة تقريباً . لقد اعتمد التجفيف الشمسي لازالة الماء من الاغذية ومنع نشاط الاحياء المجهرية ولحفظ الاغذية وتقليل وزنها وكثافتها وتسهيلاً لعملية النقل والخرن. التجفيف الشمسي (Solar drying) بواسطة الطاقة الشمسية هو عبارة عن تقنية تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة حرارية تستخدم لرفع درجة حرارة المنتج وتبخير الرطوبة منه وقد تكون العملية بواسطة الحمل الحر او بواسطة الحمل القسري او النوعين معاً حسب نوع التطبيق، وتكون اما مباشرة او غير مباشرة [1].

وقد تم حساب كفاءة التجفيف اليومية من معرفة شدة الاشعاع الشمسي واوزان المواد المجففة والحرارة الداخلة والخارجة أي عن طريق الحرارة التي اكتسبها هواء التجفيف وحسبت مساحة المجمع الشمسي لمعرفة كمية الاشعاع الشمسي الواصل الى الهواء المسخن وحسب معدل التدفق للهواء عن طريق معرفة سرعة الدخول ومساحة مقطع مدخل المجمع الشمسي ولإجراء الحسابات المطلوبة وتطبيق معادلة الكفاءة على مدى واسع من القيم تم بناء برنامج بلغة (QB) لهذا الغرض ملحق رقم(1). [5], [9], [2],[3],[4]. وبعض الدراسات السابقة في مجال التجفيف الشمسي هي التالية:

دراسة الحلفي 2007 حيث قام بتصميم واختبار مجفف شمسي شبه مختلط لتجفيف التمور، يتكون من غطاء بلاستيكي واخر زجاجي واسلاك امتصاص معدنية وحوض لونهما اسود وغير لماع ومدخنة ومجمع شمسي انبوبي صغير مثبت على هيكل حديدي بشكل منفصل حيث اظهرت النتائج ان معدل طاقة الاشعاع الشمسي المتوفرة في مدينة البصرة في شهر ايلول هي (764.30 w/m²) وهي كافية لتشغيل المجفف الشمسي، ووصل معدل درجة الحرارة في المجفف الشمسي الى حوالي (72°C)، وانخفض

المحتوى الرطوبي للتمر مع زيادة زمن التجفيف وكان مقدار الانخفاض اعلى عند استعمال المجفف الشمسي عنه عند استعمال التجفيف الشمسي المباشر، ولم يحصل امتصاص للرطوبة من الجو عند استعمال المجفف الشمسي مقارنة مع التجفيف الشمسي الطبيعي للتمر، انخفضت كفاءة التجفيف اليومية مع زيادة زمن التجفيف وكانت اعلى للمجفف الشمسي منه للتجفيف الشمسي الطبيعي [10].

وفي دراسة لابن ادريس من جامعة الخرطوم 2012 اجريت لتجفيف قرون البامياء شمسياً واختبار اداء المجفف الشمسي الذي يعمل بالحمل الطبيعي مع تحديد خواص قرون البامياء ومحاكاة عملية التجفيف هذه التي اجريت على ثلاثة ايام وتم تطبيق نموذجين للتجفيف يسميان لويس والاخر بيج تم اختبارهما لمحاكاة عملية تجفيف قرون البامياء وفقاً لنموذجين رياضيين تمت كتابتهما بلغة Turbo pascal. ووضحت هذه الدراسة ان عملية التجفيف الفعلية حدثت خلال اليوم الاول اما اليومين التاليين فقد حدثت فيهما عملية الاتزان [11].

وفي دراسة ثانية للحلبي 2007 تم تجفيف الذرة الصفراء في المجفف الشمسي غير المباشر ذي الجريان الطبيعي المصنع عملياً الذي يتكون من مجمع شمسي مساحته (0.5m²) وغرفة تجفيف طاقتها الاستيعابية 25 Kg مصنعة من الخشب، اظهرت النتائج انه يمكن استعمال الطاقة الشمسية لتجفيف الذرة الصفراء في مدينة البصرة. وان كل من المحتوى الرطوبي والنشاط المائي والحرارة النوعية انخفضت مع زيادة ساعات النهار وكان هذا الانخفاض اعلى عند استخدام المجفف الشمسي منه عند استخدام التجفيف الطبيعي وتم التوصل الى معادلات تجريبية لحساب الحرارة النوعية للذرة الصفراء والمحتوى الرطوبي ودرجة حرارة المجفف الشمسي عند معرفة شدة الاشعاع الشمسي ودرجة حرارة الجو [2].

وفي دراسة ثالثة للحلبي 2010 تم فيها تحويل اطارات السيارات النالفة الى مجففات شمسية مباشرة لتجفيف الاغذية بواسطة الطاقة الشمسية مكون من اطار قديم وعازل وقاعدة خشبية وغطاء ذي طبقتين من الزجاج تفصل بينهما مادة السليكون وفتحات تهوية وحوض من الحديد المقاوم للصدأ وكانت سعة المجفف 5 Kg واظهرت الدراسة ان معدل الطاقة الشمسية المتوفرة في مدينة البصرة في شهر اذار هي (848.22 w/m²) وان معدل درجة حرارة المجفف (62°C) وان معدل الرطوبة للاغذية قد انخفض مع زيادة زمن التجفيف وكان هذا الانخفاض عند استعمال المجفف الشمسي اعلى منه عند استعمال المجفف الطبيعي [3].

وفي دراسة لابراهيم 2011 في تركيا تمت دراسة عملية تجفيف الفلفل الاخضر والبامياء من الحالة الابتدائية للرطوبة والبالغة (85%) و (88.7%) على التوالي لكل من الفلفل الاخضر والبامياء الى الرطوبة النهائية والبالغة (15% ± 0.5) كانت 100,60 ساعة في الشمس المفتوحة، وتم حساب الرطوبة الفعالة من قانون Fick [9].

الدراسة الحالية اجريت على قرون البامياء بواقع 100 gm للاختبار واستمرت لخمسة ايام اليوم الاول للتجفيف المباشر والايام الثلاثة التالية للتجفيف الشمسي الغير مباشر بالحمل الحر واليوم الاخير للتجفيف الغير المباشر بالحمل القسري باضافة مفرغة هواء لسحب الهواء عند فتحة برج التهوية. اتفقت الدراسة الحالية مع جميع الدراسات السابقة في ان معدل الرطوبة يتناقص مع تقادم ساعات النهار كما ان هذا المعدل يكون اكثر تناقصاً في حالة التجفيف الشمسي الغير مباشر منه في حالة التجفيف الشمسي المباشر، اما من ناحية التصميم فان اغلب الدراسات استخدمت مادة الخشب لانها عازلة جيدة للحرارة ومادة الزجاج لانها تسمح بدخول اشعة الشمس وفي دراستنا الحالية استخدمنا مادة الخشب لصنع كل من المجمع الشمسي وحجرة التجفيف وبرج التهوية مع استخدام الحصى المصبوغ باللون الاسود الغير لماع الخازن للحرارة واستخدمنا مروحة سحب لتحريك الهواء لحالة الحمل القسري.

الرموز والثوابت

η_D : كفاءة التجفيف اليومية وتكون بدون وحدات (%) .

W : يمثل الوزن بوحدة (Kg) .

W_r : كمية الرطوبة المزالة بوحدة (Kg) .

L_v : الحرارة الكامنة لتبخير الماء وتساوي (2260 KJ/Kg) .

- a: شدة الاشعاع الشمسي وتقاس بوحدات (W/m^2).
- Acollector: مساحة سطح المجمع الشمسي الذي تسقط عليه اشعة الشمس بوحدات (m^2).
- t: يمثل الزمن لعملية التجفيف ويقاس بوحدات (s).
- Qc: كمية الحرارة التي يكتسبها الهواء الداخل الى المجمع الشمسي بوحدات (Watt).
- m: تمثل المعدل الزمني لتدفق الهواء وتقاس بوحدات (Kg/s).
- Cp: السعة الحرارية النوعية للهواء وتساوي ($1007 J/Kg.K$).
- To: تمثل درجة حرارة الهواء الخارج من برج التهوية للمجفف الشمسي بوحدات (K).
- Ti: تمثل درجة حرارة الهواء الداخل الى المجمع الشمسي بوحدات (K).
- V: تمثل سرعة دخول الهواء الى المجمع الشمسي وتقاس بوحدات (m/s).
- Ainlet: تمثل مساحة مدخل الهواء الى المجمع الشمسي الذي قيست عنده السرعة وتحسب المساحة بوحدات (m^2).
- b1: طول قاعدة المجمع الشمسي عند المدخل ($b1=72 cm$).
- b2: طول قاعدة المجمع الشمسي عند مدخل غرفة التجفيف ($b2=36 cm$).
- h: المسافة بين قاعدتي المجمع الشمسي ($h=86 cm$).
- ρ : كثافة الهواء الكتلية التي اعتبرت ثابتة عند درجة حرارة المحيط الخارجي بثبوت الضغط والارتفاع عن سطح البحر وتبلغ قيمتها ($1.2 Kg/m^3$).
- Tm: درجة حرارة رف التجفيف ($^{\circ}C$).

الجانب العملي

تم تصميم وتصنيع المجفف الشمسي من ثلاثة اجزاء رئيسية وهي المجمع الشمسي وحجرة التجفيف وبرج التهوية والتي صممت وفقاً لما مبين ادناه ومن مادة الخشب العازل للحرارة.

1. المجمع الشمسي (Solar Collector) (الحسابات والتصميم والتصنيع)

لقد تم تصميم وتصنيع المجمع الشمسي بحيث يضمن اكبر كمية هواء داخلية مع زاوية ميل (30) درجة ليكون في مواجهة الشمس وبأبعاد ($10*72$) سنتيمتر لمدخل المجمع الشمسي التي تمثل فتحة دخول الهواء الى المجمع وبأبعاد ($10*36$) سنتيمتر لفتحة دخول الهواء الى حجرة التجفيف الذي تم تسخينه داخل المجمع الشمسي، وذلك اعتماداً على قوانين المثلثات حيث ان جيب الزاوية يساوي المقابل على الوتر، المقابل يعتبر ارتفاع المنضدة الذي يبلغ ($43 cm$) والوتر هو طول المجمع الذي تم حسابه وبلغ ($86 cm$).

$$\sin(30) = Y/Z$$

$$Z = Y/\sin(30) = 43/0.5 = 86 cm$$

والقاعدة العليا تمثل فتحة دخول الهواء الى حجرة التجفيف اما مدخل الهواء الى المجمع الشمسي فهي ضعف البعد السابق ليضمن دخول اكبر كمية هواء وتبلغ ($72 cm$) ، وارتفاع المجمع على طوله ($10 cm$) للسماح لدخول الهواء بكمية وفيرة ولقد تم تثبيت ارضيته من الحصو ذو الحجم المتوسط داخل هذا المجمع بالغراء وصبغ باللون الاسود لتكون خبير ماص للحرارة الشمسية ولغرض تحديد توزيع درجات الحرارة داخل المجمع الشمسي تم وضع (12) مقياس لقياس درجة الحرارة (Digital thermometer) نوع (ST-1A) تبلغ دقة قياسه ($\pm 1^{\circ}C$) والمدى الذي يقيسه من ($-20^{\circ}C$) وحتى ($80^{\circ}C$) ويبلغ طول المتحسس (NTC 1m)، اما ابعاد هذا المقياس حسب مواصفات الشركة المنتجة فهي ($16mm * 42.5mm * 55.5mm$). وظروف عمله بين ($0^{\circ}C$) و ($60^{\circ}C$) ورطوبة بين (20%) الى حد (85%). وزعت على مساحة سطح المجمع وبواقع اربعة مقاطع كل مقطع يحوي على ثلاثة محارير ، وهذه المقاطع موزعة حسب الاحرف الابدجية (A,B,C,D).

المقطع (A) يقع على بعد (5 cm) عن المدخل، اما المقطع (B) يقع على بعد (30 cm) عن المدخل، اما المقطع (C) يقع على بعد (56 cm) عن المدخل، اما المقطع (D) فيقع على بعد (80 cm) عن المدخل، مواقع المحارير الوسطية على خط المنتصف عند تلك الابعاد اما المحارير الطرفية فعلى بعد

(5 cm) عن الحافة وعند تلك الابعاد كذلك. المحارير الاثني عشر تم تثبيتها على قطعة شفافة من مادة البيراسبكس عالية الجودة وثبتت الاخيرة على قاعدة المجمع بواسطة براغي التثبيت وتم ملئ الفراغات البسيطة المتبقية بواسطة الغراء لضمان العزل الحراري الكامل، وغطيت الحواف بمادة البلاستر اللاصق وثم طبقة من ورق التغليف الخاص ، ومما هو جدير بالذكر ان وزن المجمع كاملاً مع الحصوص وقطعة البيراسبكس قد اصبح (14 Kg).

وقد تم قياس السرعة عند مدخل المجمع الشمسي بواسطة مقياس السلك الحار (Hot wire Anemometer) نوع (AM-4204) تايواني الصنع، اما شدة الاشعاع الشمسي فقد قيست بواسطة مقياس شدة الاشعاع الشمسي وبوحدات (W/m²).

2. حجرة التجفيف (Dryer box)

لقد تم تصميم وتصنيع حجرة التجفيف على شكل مكعب طول ضلعه الخارجي (40cm) وطول ضلعه الداخلي (36 cm)، وهذه الحجرة تحتوي على فتحة مستطيلة من الامام لتثبيت وربط المجمع مع حجرة التجفيف وبابعاد (10cm*36cm)، كما ويحتوي على رف التجفيف (Tray) على ارتفاع (18 cm) من قاعدته، وتبلغ مساحة رف التجفيف (36cm * 36 cm)، تحتوي حجرة التجفيف على باب تفتح لوضع المواد الغذائية في الرف الخاص بالتجفيف والذي هو عبارة عن قطعة مشبكة من الحديد المغلن المعزول الناعم التشبيك لكي تتخلله تيارات الهواء وتمر خلال المادة المراد تجفيفها وتحتوي غرفة التجفيف على فتحة في الجزء العلوي مربعة الشكل تعمل على ربط غرفة التجفيف مع برج التهوية بطول ضلع قدره (24 cm) أي ان مساحة الفتحة (24 cm * 24 cm). تم وضع جهاز لقياس الحرارة والرطوبة عند مخرج المجمع ومدخل حجرة التجفيف كما وقد تم وضع جهاز لقياس الحرارة والرطوبة من نفس النوع في رف التجفيف حيث ان حرارة رف التجفيف اعتبرت مساوية لحرارة المادة المراد تجفيفها.

3. برج التهوية (Chimney)

تم صنع برج التهوية بشكل مربع من مادة الخشب الصاج كذلك والهدف منه للابتعاد عن تيارات الهواء المضطربة القريبة من السطح في حالة وجود تيارات رياح قوية ولغرض تسهيل اضافة مروحة تهوية لسحب الهواء كمرحلة اخيره لتحسين الاداء وزيادة كفاءة عملية التجفيف، تم وضع محرار عند مدخل البرج الذي يمثل مخرج غرفة التجفيف واخر عند مخرج البرج الذي يمثل (Tout)، وكذلك وضع مقياس للرطوبة عند مدخل البرج وعند مخرج البرج لمعرفة نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة.

4. منضدة (Table)

منضدة لتثبيت ووضع غرفة التجفيف عليها ويبلغ ارتفاعها (43 cm) والتي تم حساب طول المجمع الشمسي على اساسها للحصول على زاوية ميل تبلغ 30 درجة.

5. فتحة التهوية

تم اختيار وعمل فتحة التهوية بحيث تضمن تحقيق قانون حفظ الكتلة حيث ان كمية الهواء الداخلة يجب ان تساوي كمية الهواء الخارجة، حيث ان فتحة حجرة التهوية المرتبطة مع المجمع ذات مساحة (360cm²) وقطر فتحة التهوية يكون (21 cm) التي حسبت بالطريقة التالية:

$$A_i = 36 * 10 = 360 \text{ cm}^2$$

$$A_i = A_o \text{ continuity equation}$$

$$A_o = (22/7) * R^2$$

$$R = (A_o * 7/22)^{1/2}$$

$$R = (360 * (7/22))^{1/2}$$

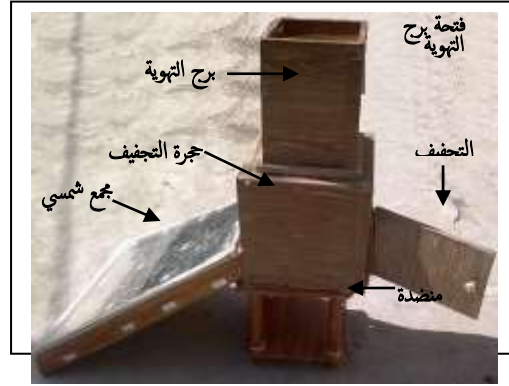
$$R = 10.7$$

$$D = 21 \text{ cm}$$

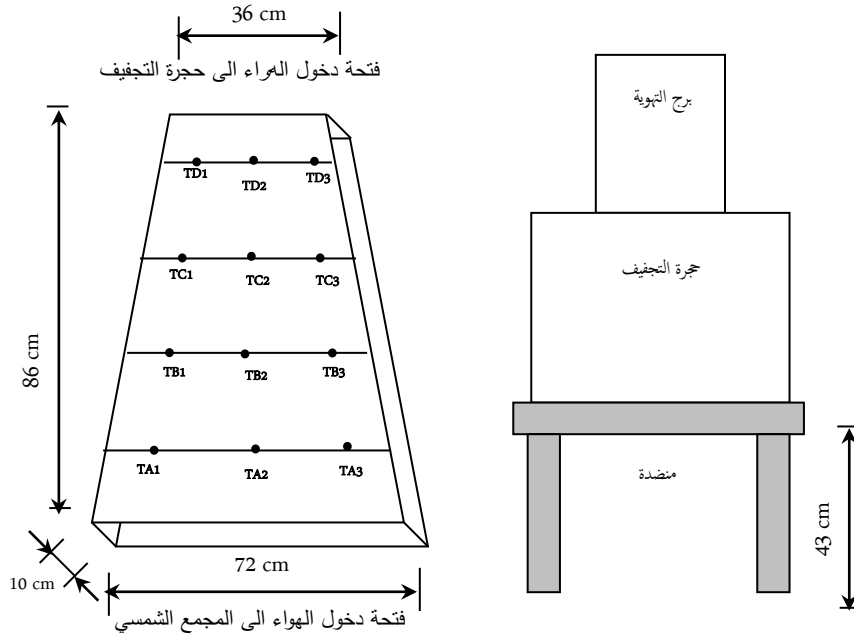
والقطر هذا يمثل ويساوي فتحة مفرغة الهواء.

6. مفرغة الهواء (Fan) :-

تم اختيار مفرغة الهواء بحيث يمكن تثبيتها على فتحة التهوية في البرج وتكون دائرية المقطع بقاعدة مربعة وهي التي ستحقق معادلة الاستمرارية بحيث تكون كمية الهواء الداخلة الى حجرة التجفيف هي نفس كمية الهواء الخارجة من البرج.



شكل رقم (1) يبين المجفف الشمسي الغير المباشر بكافة اجزائه (المجمع الشمسي، حجرة التجفيف وبرج التهوية)



شكل رقم (2) فيبين المخطط التوضيحي للمجفف الشمسي مع بيان مقاطع المجمع الشمسي ومواقع قياس درجات الحرارة .

خطوات العمل لتحضير عينة التجفيف

١. توجد عدة خطوات لتحضير عينة البامياء للتجفيف وهي كمايلي:
٢. تحضير المواد الاولية البامياء، سكين حاد، ميزان.
٣. تنظيف وفرز وتقطيع الاجزاء التالفة الغير مرغوب بها في عملية التجفيف.

٤. فرز القطع الكبيرة عن القطع الصغيرة واختيار 100gm منها للعمل.
٥. تحضير قدر ماء مغلي وغمر البامياء فيه لمدة دقيقتين تقريباً ثم تصفيته لينشف الماء الزائد واعادة وزنه لتحديد كمية الماء التي تشربها والغرض من هذه العملية هو للتخلص من المواد الصمغية الموجودة في الثمرة والتخلص من الاتربة والبكتريا وتنشيط عمل الانزيمات للحصول على لون افضل بعد انتهاء عملية التجفيف.

مقارنة بين التجفيف المباشر والتجفيف الغير المباشر

في ادناه قيم لاوزان البامياء المجففة ليوم الاثنين 2012/7/23 حيث استخدم ميزان غذائي حساس لقياس الوزن بوحدة (gm) من نوع (tescoma). والجدول رقم (1-a) يبين قيم الاوزان المقاسة في اوقات مختلفة لتجفيف البامياء تحت اشعة الشمس المباشرة. يبين الجدول رقم (1-a) ان كمية الماء التي تشربتها عينة البامياء والبالغة (27 gm) احتاجت الى ساعة كاملة لتفقدتها وكان معدل التجفيف في البداية سريع ثم اصبح بطيئاً وذلك بسبب تصلب الغلاف الخارجي من الحرارة العالية والمباشرة ونمط توزيع الهواء. اما الجدول (1-b) فيمثل الاوزان المماثلة لنفس الكمية من البامياء لحالة التجفيف الغير المباشرة بواسطة المجفف الشمسي.

جدول رقم (1-a) الاوزان في حالة التجفيف المباشر ليوم 2012./7/23

Time	10:40	11:40	1:50	3:50	4:50	8:50	10:25	11:00
Weight (gm)	127	100	66	51	45	35	33	33

رقم (1-b) الاوزان في حالة التجفيف الغير المباشر ليوم 2012/7/23

Time	10:15	1:30	6:30					
Weight (gm)	127	67	33					

الجانب النظري والمعادلات المستخدمة

لحساب كفاءة التجفيف اليومية سيتم تطبيق المعادلة رقم (1) [6].

$$\eta_D = \left[\frac{Wr.Lv}{(I.Ac + Qc) * t} \right] * 100\% \quad \dots (1)$$

اما قيمة الحرارة التي يكتسبها الهواء الداخل الى المجمع الشمسي بتأثير الاشعاع الشمسي والحرارة الممتصة من الحصو الموجود داخل المجمع فتحسب من المعادلة رقم (2) [6].

$$Qc = m \cdot Cp \cdot (To - Ti) \quad \dots (2)$$

مساحة المجمع الشمسي الذي تسقط عليه اشعة الشمس تعتبر مساحة شبه منحرف وتحسب من المعادلة رقم (3):

$$A_{collector} = \frac{1}{2} [b1 + b2] * h \quad \dots (3)$$

$$A_{collector} = \frac{1}{2}[72 + 36] * 86 * 10^{-4} = 0.4644 m^2$$

ولحساب معدل التدفق للهواء نستخدم المعادلة رقم (4) [8,7]

$$m^{\bullet} = \rho.V.A_{inlet} \quad \dots (4)$$

ولحساب مساحة مدخل الهواء الى المجمع الشمسي نستخدم المعادلة رقم (5) التالية

$$A_{inlet} = 72 * 10 = 720 cm^2 = 0.072 m^2$$

$$m^{\bullet} = 1.2 \frac{Kg}{m^3} * 0.1 \frac{m}{s} * 0.072 m^2 = 8.6 * 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

حيث تم قياس السرعة عند مدخل المجمع الشمسي بواسطة جهاز السلك الحار ولحالة الحمل الحر وكانت تساوي 0.1 m/s .

الجدول رقم (2) يبين قيم درجات الحرارة والاوزان وشدة الاشعاع الشمسي للايام (2012/7/24)، (2012/7/25) و (2012/7/26) لتجفيف (100 gm of Okra) من البامياء تم غمرها في الماء المغلي لمدة دقيقتين واصبحت اوزانها تتراوح بين (135 gm & 145 gm). ولحساب قيم الكفاءة عند الساعة (6:00)، (3:00)، (12:00) للايام الثلاثة سنطبق المعادلة رقم (1) ولحساب الحرارة التي يكتسبها الهواء سنطبق المعادلة رقم (2). والجدول رقم (3) يبين النتائج المحسوبة .

جدول رقم (2) درجات الحرارة والاشعاع الشمسي والاوزان لحالة التجفيف الغير مباشر بالحمل الحر.

اليوم : الثلاثاء 2012/7/24				
Time	9:00 am	12:00	3:00 pm	6:00 pm
Ti (°C)	41.1	48.8	53.0	44.6
To (°C)	43.6	57.9	54.5	44.9
I (W/m ²)	650	900	650	225
W (g)	145	59	31	25
t (s)	-	10800	10800	10800
اليوم : الاربعاء 2012/7/25				
Time	9:00 am	12:00	3:00 pm	6:00 pm
Ti (°C)	37.9	43.8	41.3	37.4
To (°C)	39.4	50.3	42.2	37.7
I (W/m ²)	600	900	850	200

W (g)	135	76	59	55
t (s)	-	10800	10800	10800
اليوم : الخميس 2012/7/26				
Time	9:00 am	12:00	3:00 pm	6:00 pm
Ti (°C)	39.2	43.8	54.8	43.5
To (°C)	40.6	50.0	57.0	45.6
I (W/m ²)	650	900	650	250
W (g)	145	100	68	43
t (s)	-	10800	10800	10800

جدول رقم (3) يبين قيم Q_c ، η_D المحسوبة لحالة التجفيف الغير مباشر بالحمل الحر.

Date	اليوم : الثلاثاء 2012/7/24				اليوم : الاربعاء 2012/7/25				اليوم : الخميس 2012/7/26			
Time	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6
Qc (Watt)	21.75	79.17	13	2.6	13	56.55	7.83	2.610	12.18	53.9	19	18.27
η_D (%)	-	21	35	32.8	-	20	28.6	22.6	-	16	29.5	26.6
I (W/m ²)	650	900	650	225	600	900	850	200	650	900	650	250

الجدول رقم (4) يبين قيم درجات الحرارة لكل من المحيط الخارجي (Ti) التي تمثل درجة الحرارة لداخله ودرجة الحرارة الخارجة (To) ودرجة حرارة رف التجفيف (Tm) ليوم الخميس المصادف 2012/7/26 .

جدول رقم (4) درجة حرارة الدخول ودرجة حرارة الخروج ودرجة حرارة رف التجفيف ليوم الخميس المصادف 2012/7/26.

Time	9:00 am	12:00	3:00 pm	6:00 pm
Ti (°C)	35.5	55.0	50.0	43.0
Tm (°C)	41.0	58.0	55.0	45.0

To (°C)	40.1	57.6	54.7	44.0
---------	------	------	------	------

اما الجدول رقم (5) فيبين توزيع درجات الحرارة عند مدخل المجمع الشمسي ليوم 2012/7/21 وعند مقاطعه الاربعة، المقطع (A)،(B)،(C)، (D) التي تقع على بعد (5 cm)، (30 cm)، (56 cm) و(80 cm) عن الحافة على التوالي، والاخير يمثل مقطع دخول الهواء الى حجرة التجفيف.

جدول رقم (5) توزيع درجات الحرارة في المجمع الشمسي ليوم 2012/7/21.

Time	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	15:00	16:00	
	0		0	0	0	0	0	
A	T1	33.0	36.7	34.3	53.9	55.4	52.0	46.0
	T2	32.9	38.9	39.6	52.1	54.5	48.2	45.5
	T3	33.3	40.5	40.1	50.8	54.2	48.2	45.8
B	T1	32.9	36.9	41.3	55.5	56.7	52.2	45.8
	T2	33.1	41.4	40.8	54.1	55.4	48.6	45.9
	T3	33.3	42.8	40.3	53.1	54.9	48.5	46.0
C	T1	33.0	37.9	40.8	56.8	57.0	50.4	46.2
	T2	33.1	43.4	40.4	56.8	52.8	48.9	46.1
	T3	33.1	44.6	40.5	59.9	53.3	48.8	46.0
D	T1	33.0	44.1	41.1	61.3	53.6	50.1	46.3
	T2	33.2	44.2	40.5	56.6	51.5	49.2	46.1
	T3	33.4	44.4	40.8	56.5	51.6	49.1	46.1

ولغرض زيادة كفاءة عملية التجفيف وسرعتها تم اضافة مفرغة هواء لسحب الهواء من البرج الى الخارج وزيادة سرعة مروره على رف التجفيف وقد تم قياس السرعة عند مدخل المجمع الشمسي بعد ربط المفرغة بواسطة جهاز السلك الحار فقد بلغت قيمتها (0.3 m/s) ولغرض حساب كفاءة عملية التجفيف اخذت القراءات التالية بتاريخ 2012/8/10 كما مبين في الجدول رقم (6) ادناه.

جدول رقم (6) يبين درجات الحرارة الداخلة والخارجة والوزن، وشدة الاشعاع الشمسي عند الساعة الثانية والساعة الرابعة ليوم 2012/8/10

Time	2:00 pm	4:00 pm
Ti (°C)	45.0	42.8
To (°C)	49.3	43.6
W (gm)	124	81
I(W/m ²)	950	925
time (s)	-	7200

ويتطبيق المعادلتين رقم (1) و(2) لحساب الكفاءة وكمية الحرارة التي يكتسبها الهواء يتبين ان قيمة الكفاءة اصبحت اعلى بكثير وبلغت %52، كما هو واضح من الجدول رقم (7).

جدول رقم (7) يبين فرق درجات الحرارة الداخلة والخارجة وكمية الحرارة التي اكتسبها الهواء والكفاءة عند الساعة الرابعة عصراً ليوم 2012/8/10

Time	4:00 pm
To (K)	316.6
Ti (K)	315.8
(To-Ti)	0.7999992
Qc (W)	20.88113
Wr (Kg)	0.043
t (s)	7200
η_D (%)	52%

الرسوم والمناقشة

يبين الشكل رقم (3) المعدل الزمني لنقص الوزن لحالة التجفيف المباشر والتجفيف الغير مباشر وواضح ان المنحني الموجود الى الاعلى يمثل التجفيف المباشر لقرون البامياء اما الموجود في الاسفل فيمثل التجفيف الغير مباشر باستخدام المجفف الشمسي ويتضح من خلال الشكل ومن خلال الجدول رقم (1) بانه (100 gm) من البامياء بعد غمرها بالماء المغلي لمدة دقيقتين وصلت الى وزن (127 gm) وقد احتاجت لكي تجف الى اكثر من 12 ساعة لتصل الى وزن (33 gm) اما في حالة التجفيف الغير المباشر فقد احتاجت الى 8 ساعات تقريباً لتصل الى الوزن نفسه، اي ان التجفيف الغير مباشر كان اسرع من التجفيف المباشر وذلك بسبب تركيز درجة الحرارة وتسخين الهواء نتيجة مروره على الحصو الساخن.

الشكل رقم (4) يبين شدة الاشعاع الشمسي للايام (7/24) و (7/25) و (7/26) حيث يمثل المنحني الموجود الى الاعلى شدة الاشعاع الشمسي الذي يصل الى اقصى قيمة له عند الساعة (12:00) ظهراً والتي بلغت (960 W/m^2) وتناقصت تدريجياً مع غروب الشمس حيث وصلت الى اقل قيمة لها والبالغة (200 W/m^2) عند الساعة السادسة عصراً (18:00) ليوم (7/25).

الشكل رقم (5) يبين قيم الكفاءة المحسوبة من المدخلات الموجودة في الجدول رقم (2) ولثلاثة ايام حيث وصل منحني الكفاءة الى اعلى قيمة له في يوم (7/24) عند الساعة الثالثة فبلغت (35%) عصراً لكن جميع هذه المنحنيات وبصورة عامة تتناقص مع تقدم ساعات النهار وغروب الشمس وسجلت اقل قيمة للكفاءة عند الساعة الثانية عشر ظهراً من يوم (7/26).

الشكل رقم (6) يمثل المعدل الزمني لتوزيع درجات الحرارة عند مدخل المجمع الشمسي (Ti) وعند رف التجفيف (Tm) وعند مخرج فتحة برج التهوية (To)، ويتضح من الرسم ان قيمة درجات الحرارة الداخلة تكون قليلة مقارنة مع درجة الحرارة الخارجة للهواء الساخن (To)، اما منحني درجات الحرارة (Tm) عند رف التجفيف فقد كانت قيمتها اكبر مقارنة مع الاثننتين، والفرق بالحرارة بين الهواء الخارج ورف التجفيف فقد استنزفت لغرض تبخير الماء ورفع الرطوبة من المادة المطلوب تجفيفها.

الشكلين رقم (7،8) يبين كل منهما توزيع درجات الحرارة عند المقطع (A) الذي يمثل مدخل المجمع الشمسي والتي تكون متفاوتة حسب كل نقطة اما توزيع درجات الحرارة في المقطع (D) والذي يمثل مخرج المجمع الشمسي ومدخل حجرة التجفيف كانت اعلى ومقاربة بسبب تسخين الحصو للهواء المار عليه والواصل الى حجرة التجفيف.

الشكل رقم (9) يمثل المعدل الزمني للتناقص في الوزن لثلاثة الايام (7/24)، (7/25) و (7/26) على التوالي والتي تبين بانه كلما تقدم الزمن كلما قل الوزن وانخفض المحتوى الرطوبي للمادة المجففة.

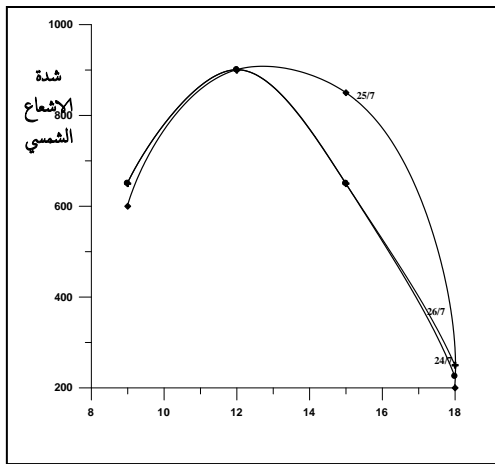
اما الشكل رقم (10) فيمثل كمية الحرارة التي اكتسبها الهواء المار فوق الحصو خلال المجمع الشمسي وهذه الحرارة تزداد مع الزمن ومع زيادة شدة الاشعاع الشمسي حتى وصلت الى اعلى قيمة لها في يوم (7/24) عند الساعة (12:00) البالغة (79.17 W)، وانخفضت الى اقل قيمة لها في يوم (7/26) وبلغت (16%)، وهذا واضح كذلك من الجدول رقم (3).

الاستنتاجات

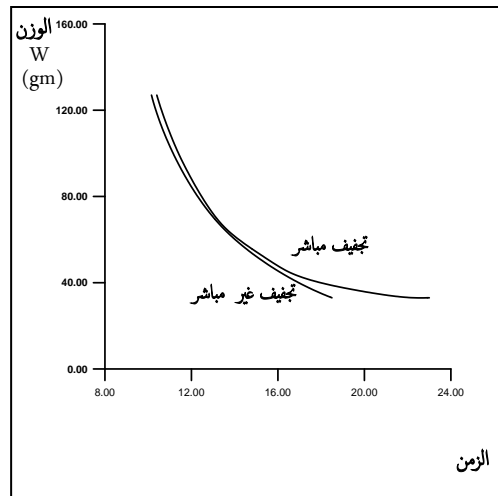
بعد غلي الماء وغمر قرون البامياء فيه تتشرب كمية من الماء حيث يتراوح وزنها الجديد ما بين (135 gm) الى (145 gm) اي ان كمية الماء الذي تتشربه تتراوح ما بين (24 gm) و (35 gm) حسب حجم قرون البامياء المختاره. بعد اكتمال عملية التجفيف يصل وزن (100 gm) من البامياء الى (20 gm)، والوزن الاخير يمثل وزن المادة الصلبة في البامياء الخالية من الماء والتي اختبرت بكسر هذه القرون، ومما هو جدير بالذكر انه عند غلي (100 gm of Okra) لفترة من الزمن حتى تتضج نلاحظ ان وزنها اصبح (200 gm of Okra)، أي تضاعف.

وقد وصلت اقصى قيمة للاشعاع الشمسي في مدينة بغداد الى (900 W/m²) سجلت عند الساعة الثانية عشر ظهراً للأيام (7/24) و (7/25) و (7/26) على التوالي لكن هذا الاشعاع الشمسي لم يعطي نفس قيم الكفاءة عند نفس الساعة في تلك الايام حيث حسبت الكفاءة في يوم (7/24) عند الساعة الثانية عشر (21%) وعند نفس الوقت ليوم (7/25) حسبت (20%) اما في يوم (7/26) فقد بلغت قيمتها المحسوبة (16%)، وهي قيم متقاربة والسبب في ذلك هو كمية الحرارة المخزونة في الحصو والرطوبة النسبية للجو، وقد حسبت اعلى كفاءة للمجمع الشمسي وبلغت (35%) عند الساعة الثالثة من يوم (7/24) اما اقل كفاءة تجفيف حسبت كانت عند الساعة الثانية عشر ليوم (7/26) حيث بلغت (16%).

لغرض تحسين اداء المجفف الشمسي الغير المباشر بالحمل الحر وزيادة كفاءته تم التحكم بسرعة الهواء المار خلال المجمع الشمسي عن طريق سحبه بواسطة مروحة ثبتت عند مخرج فتحة التهوية التي عملت على زيادة السرعة عند المدخل من (0.1 m/s) الى (0.3 m/s) وحولت عملية التجفيف بالحمل الحر الى عملية تجفيف بالحمل الحر والقسري معاً، والتي ادت بالتالي الى رفع كفاءة المجفف الشمسي الى (52%).

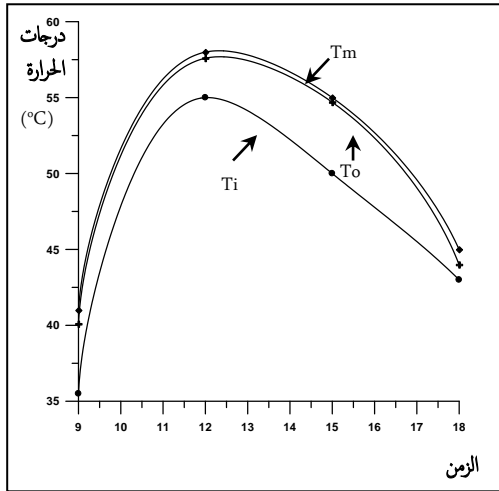


الشكل رقم (4) شدة الاشعاع الشمسي للأيام (7/24)، (7/25)، (7/26) - 2012

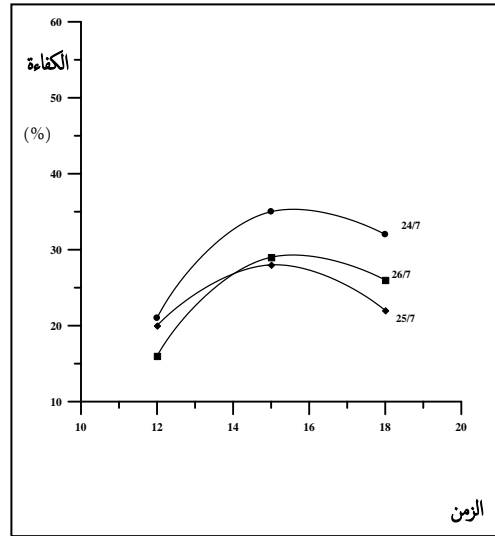


شكل رقم (3) المعدل الزمني لنقص الوزن للتجفيف المباشر والتجفيف الغير مباشر

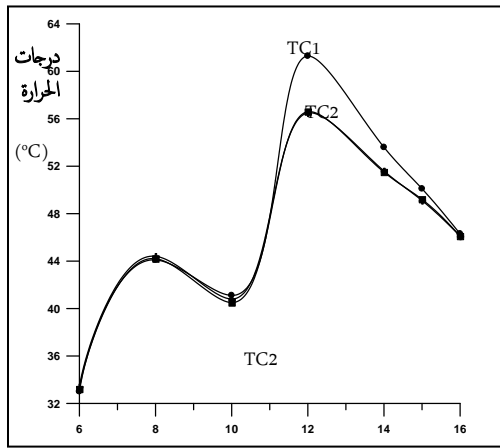
شكل رقم (4) شدة الاشعاع الشمسي للأيام (7/24)، (7/25)، (7/26) - 2012



شكل رقم (6) المعدل الزمني لتوزيع درجات الحرارة عند مدخل المجمع الشمسي وعند رف التجفيف وعند مخرج البرج ليوم الخميس المصادف 2012/7/26

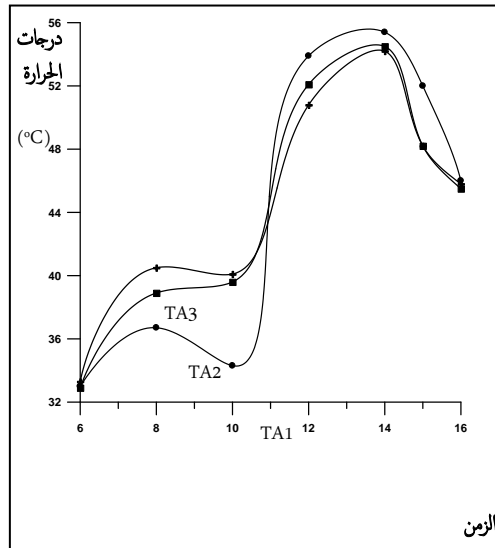


شكل رقم (5) المعدل الزمني للكفاءة لحالة التجفيف الغير المباشر للأيام (7/24)، (7/25)، (7/26) - 2012



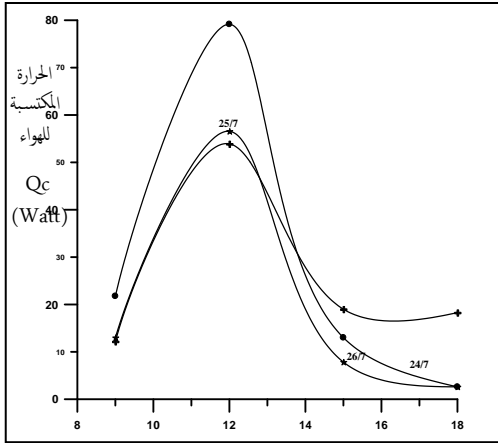
الزمن

شكل رقم (8) توزيع درجات الحرارة عند مخرج المجمع الشمسي عند المقطع (D) ليوم 2012/7/26

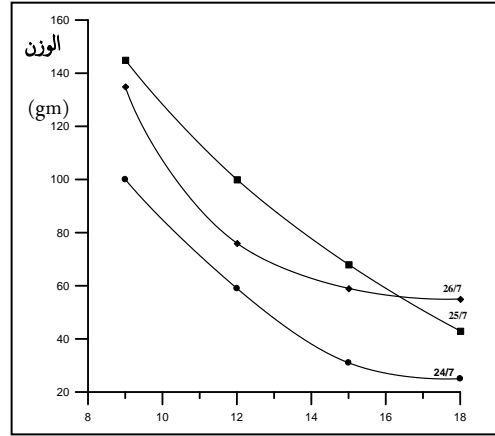


الزمن

شكل رقم (7) توزيع درجات الحرارة عند مدخل المجمع الشمسي عند المقطع (A) ليوم 2012/7/26



الزمن



الزمن

شكل رقم (10) المعدل الزمني لكمية الحرارة التي اكتسبها الهواء لحالة التجفيف الغير المباشر للايام (7/24) ، (7/25) ، (7/26) - 2012

شكل رقم (9) المعدل الزمني لتناقص الوزن لحالة التجفيف الغير المباشر للايام (7/24) ، (7/25) ، (7/26) - 2012

ملحق رقم (1) البرنامج الحاسوبي

```

A = 0.5 * (72 + 36)*86 / 10000
Print "Area of collector (m2)="; A
Cp = 1007
Print "Cp of air (j/kg.k)="; Cp
Ain = (72 * 10) / 10000
Print "Area of input collector (m2)="; Ain
rou = 1.2
Print "air density (kg/m3)="; rou
V = 0.1
Print "input air velocity (m/s)="; V
Lv = 2260
Print "Latent heat for water evaporation (kj/kg)="; Lv
mo = V * Ain * rou
Print "mo(kg/S) ="; mo
INPUT ; "To(oC) ="; tempo
INPUT ; "Ti (oC) ="; tempi
Print "To-Ti ="; deltaT
Qc = mo * Cp * deltaT
Print "Qc(w) ="; Qc
INPUT ; "Wr1 (g) =", Wr1
Print "Wr1 =", Wr1
INPUT ; "Wr2 (g) =", Wr2
Print "Wr2 =", Wr2
Wr = (Wr1 - Wr2) / 1000
Print "Wr (kg) =", Wr
INPUT ; "I=", i
Print "I =", i
INPUT ; "time="; time
Print "time =", Time
Ed = ((Wr * Lv) / ((i * A + Qc) * (Time))) * 100
Print "Effeciency % =", Ed

```

المصادر:

- [1] O.V.E Kedukuwa, & Norton review of Solar drying technology - energy conservation and management. 3 pp 615-655. (1999).
- [2] تجفيف الذرة الصفراء بالطاقة الشمسية ، اسعد رحمن سعيد الحلفي، قسم علوم الاغذية والتقانات الاحيائية، كلية الزراعة، جامعة البصرة، العراق.
- [3] تحوير الاطارات النالفة الى مجففات شمسية مباشرة ودراسة كفاءتها في تجفيف الاغذية، اسعد رحمن سعيد الحلفي، قسم علوم الاغذية والتقانات الاحيائية، كلية الزراعة، جامعة البصرة، ISSN 1817-2695.
- [4]. Design and experimental study of solar agricultural dryer for rural area, E Azad, Livestock Research for Rural Development 20 (9) 2008.
- [5]. Performance evaluation of a Mixed-Mode Solar Dryer, Bukola O. Bolaji and Ayoola P. Olalusi, Department of Mechanical Engineering , University of Agriculture Abeokuta, Ogun State, Nigeria, AUJ. T. 11 (4);225-231(Apr.2008).
- [6]. Mohamed M. A, G.R. Gamea & M. H. Keshek, Drying characteristics of Okra by different Solar dryers. Misr J. Ag. Eng., January 2010, 27(1): 294-312.
- [7]. Design and Fabrication of a Direct Natural Convection Solar dryer for Topioca, Diemuodeke E. Oghenemona, Department of Mechanical Engineering, University Port Harcourt & Momoh O. L. Yusuf, Department of Civil and Environmental Engineering, university of port Harcourt, 25 June, 2011.
- [8]. Development and performance Evaluation of on okra Drying Machine, O. K. Owolarafe, Department of Agricultural Engineering & S. O. Obayapo, Department of Mechanical Engineering, Obafemi Awolowo University, Il-Ife, Nigeria, Research Journal of applied sciences, Engineering and Technology 3 (9) : 914-922, 2011, ISSN : 2040-7467.
- [9]. Drying of Green Bean and Okra under Solar energy, Ibrahim Doymaz, Department of chemical Engineering, Yildiz Technical University, Esenler, Istanbul, Turkey, Chemical Industry of Chemical Engineering quarterly 17,2,199-205 (2011).
- [10] تصميم وتصنيع واختبار مجفف شمسي شبه مختلط لتجفيف التمر ، اسعد رحمن الحلفي، قسم علوم الاغذية والتقانات الاحيائية، كلية الزراعة، جامعة البصرة، مجلة البصرة نخلة التمر، المجلد:6، العدد 1 لسنة 2007.
- [11]. Modifying of Thin Layer Solar Drying of Okra, Ibtihal Mohammad Ibn Idriss & Mohammad Ayoub Ismail, June, 2012, U of KTD by University of Kartoum.