الاداء الحراري للمجفف الشمسي وتأثيره في بعض الصفات الهندسية للتجفيف

غياث حميد مجيد اسعد رحمن الحلفي*

قسم علوم الاغذية والتقانات الاحيائية – كلية الزراعة – جامعة البصرة – العراق

ghmajeed@vahoo.com, *asaadrehman@vahoo.com

الخلاصة

تمت دراسة الاداء الحراري للمجفف الشمسي من النوع غير المباشر ذي الجريان الطبيعي وتأثيره في بعض الصفات الهندسية للتجفيف مقارنة بطريقتي التجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الكهربائي عند تجفيف كل من المشمش والتين والعنب والباميا وكانت الصفات المدروسة هي :

الطاقة الحرارية المفقودة (واط) من جميع اجزاء المجفف الشمسي والكفاءة الحرارية الكلية (%) له في فصلي الصيف والشتاء ومعدل التجفيف (غم ماء/غم مادة جافة.ساعة) والنشاط المائي ومعامل انتشار الرطوبة (م^{2}/ثا)وثابت التجفيف (ساعة$^{-1}$)ومعامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع (%).بينت النتائج ان الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي هي اعلى من بقية اجزاء المجفف الشمسي الاخرى ، كما انها اعلى في فصل الصيف منها في فصل الشتاء .

وصلت الكفاءة الحرارية الكلية للمجفف الشمسي في فصل الصيف الى ٣٤%، بينما وصلت الى ٢١% في فصل الشتاء . كما اظهرت النتائج ان كل من معامل انتشار الرطوبة وثابت التجفيف ومعامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع كانت اعلى عند استعمال المجفف الشمسي مقارنة مع طريقتي التجفيف الاخرتين . كما انه اعطى اقل قيم للنشاط المائي للاغذية المجففة .

الكلمات المفتاحية : مجفف شمسي ، اغذية مجففة ، حرارة.

المقدمة

التجفيف هو احدى الطرائق القديمة والمستعملة بشكل واسع لحفظ الاغذية ، اذ انه يعمل على ازالة الرطوبة منها مما يؤدي الى توقف نشاط الاحياء المجهرية وضمان عدم تلفها . وتكون الاغذية المجففة خفيفة الوزن وسهلة التحضير والخزن .هنالك طرائق عدة لتجفيف الاغذية مثل التجفيف الشمسي الطبيعي اذ تفرش الاغذية على قماش وتعرض للشمس مع التقليب الى ان تجف وهي طريقة غير مرغوبة بسبب احتياجها الى زمن ومساحة كبيرين للتجفيف وكذلك تعرض الاغذية الى التلوث بالغبار والاصابة بالحشرات وتعرضها الى الامطار مما ينتج عنه نوعية غير جيدة للمنتوج المجفف . وهنالك نوع اخر من المجففات وهي المجففات الميكانيكية التي تعتمد في عملها على الطاقة الكهربائية وتمتاز بالسرعة العالية في تجفيف الاغذية الا انها تعطي منتوج غير متجانس وذو نوعية غير جيدة

ماعدا طريقتي التجفيف بالتجفيد والتجفيف تحت التفريغ وهاتان الطريقتان مكلفتان جدا كما انها تحتاج الى طاقة كهربائية عالية . (١٩).

ان المجففات الشمسية تحتاج الى مناطق تتوفر فيها درجات حرارة مرتفعة ورطوبة نسبية منخفظة ، واحد البلدان المعروفة في هذا الميدان هو العراق ، اذ ان عدد الساعات المشمسة سنويا فيه تصل الى ٣٦٠٠ ساعة(١) ومعدل طاقة الاشعاع الشمسي تصل الى ٧٦٠ واط/م^{٢} (٢) .

توجد انواع عدة من المجففات الشمسية مثل المجففات الشمسية ذات الجريان الطبيعي اوذات الجريان القسري وهي اما من النوع المباشر وفيها يتعرض الغذاء الى الاشعاع الشمسي المباشر او من النوع غير المباشر وفيه الغذاء لايتعرض الى الاشعاع الشمسي ، وهنالك نوع اخر هو المجففات الشمسية المختلطة وفيها يتعرض الغذاء الى الاشعاع الشمسي والهواء الساخن بالوقت نفسه ، والنوع الاخير هو المجففات الشمسية الهجينة التي تحتوي على سخانات كهربائية ومراوح تستخدم كمساعد في الصباح او في الليل او في الظروف غير الطبيعية (٨).وجد Sabbah(١٦) ان الكفاءة الحرارية الكلية لمجفف شمسي ذو جريان قسري وصلت الى ٤٣% عند معدل تدفق للهواء مقداره ٢١٥ م^{٣}/ساعة. يعد معدل التجفيف احد الصفات الاساسية المستخدمة لتحديد اداء أي منظومة تجفيف تعمل بالطاقة الشمسية (٩)

ذكر(5) Ayensu & Asiedu-Bondezie ان زيادة ثابت التجفيف تؤدي الى تقليل الزمن اللازم للتجفيف .ان النشاط المائي مهم في تحليل استقرار المخزون من الغذاء الجاف اذ انه يزداد مع زيادة المحتوى الرطوبي للاغذية (17). يستعمل قانون Ficks الثاني للانتشار الرطوبي بشكل واسع لانتشار الرطوبة في الفواكه والخضروات (6) ، كما ان الرطوبة المزالة في مرحلة معدل التبخر المتنازل تكون عن طريق الانتشار الرطوبي (12). وجد الحلفي (2) ان نسبة استرجاع الماء للاغذية المجففة بالمجفف الشمسي هي اعلى من تلك المجففة بالطرائق التقليدية .

تهدف الدراسة الحالية الى حساب كمية الطاقة الحرارية المفقودة من جميع اجزاء المجفف الشمسي وتأثيرها في الكفاءة الحرارية الكلية للمجفف الشمسي وحساب معدلات التجفيف لاهميتها في معرفة الزمن اللازم للتجفيف وسلوكية انخفاض الرطوبة في الاغذية المجففة وقابليتها على استرجاع رطوبتها مقارنة بالتجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الكهربائي كون هذه الصفات مهمة في تقييم اداء المجفف الشمسي .

مواد وطرائق العمل

اولاً: المجفف الشمسي:

استخدم المجفف الشمسي من النوع غير المباشر ويعمل بالحمل الطبيعي المصنع محليا من قبل الحلفي (2) شكل(١) ، اذ يتكون من مجمع شمسي مساحته ٢,٤ م^{٢} وصفيحة امتصاص مضلعة ذات ستة قنوات يجري فيها الهواء ، ومعزول من الاسفل بمادة الرغوة بسمك ٥ سم ومن الجوانب بنفس

المادة وبسمك ٢,٥ سم .طاقته الاستيعابية القصوى هي ٥٠ كغم وجه المجمع الشمسي بأتجاه الجنوب وبزاوية ميل مقدارها ٢٠ درجة صيفا و ٤٠ درجة شتاءاً .اما الجزء الاخر منه فهو غرفة التجفيف المصنوعة من الخشب والمعزولة بمادة الرغوة بسمك ٢,٥ سم وتحتوي على اطباق عددها ٩ ، ابعاد الطبق الواحد ٠,٥ م * ٠,٩ م ومزودة بفتحة من الاعلى لخروج الهواء المحمل بالرطوبة يوجد انبوبان بلاستيكيان لنقل الهواء الساخن من المجمع الشمسي الى غرفة التجفيف التي طاقتها الاستيعابية ٥٠ كغم ومعدل درجة الحرارة فيه صيفا ٦٧ م° وشتاءً ٤٤ م°

ثانياً: التجفيف الشمسي الطبيعي:

يوضع الغذاء في اطباق معدنية مصنوعة من الحديد المقاوم للصدأ ابعاد الواحد منها ٠,٥*٠,٩ م ويعرض الغذاء الى الشمس مع التقليب المستمر لحين الجفاف .

ثالثاً: المجفف الكهربائي:

استخدم مجفف كهربائي صنع شركة Gallenkam الانكليزية ويحتوي على سخان كهربائي ومروحة قدرته ٢٠٧٠ واط ، مزود بستة اطباق معدنية مصنوعة من الحديد المقاوم للصدأ وكانت درجة حرارة التجفيف ٦٧ م°

رابعاً: الحسابات:

١- حساب الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي :

تحدث عملية فقدان الحرارة من جميع جوانب المجفف الشمسي واكبر فقدان حراري يحدث من صفيحة الامتصاص وبأتجاه الاعلى وتحسب كمية الطاقة المفقودة من المعادلة الاتية والمذكورة في (14)

$$Q_L = U_L A_c (T_P - T_a) \quad \text{.....(1)}$$

حيث:

Q_L: كمية الطاقة المفقودة من المجمع الشمسي (واط)

U_L: معامل انتقال الحرارة الكلي (واط/م^2 م°)

A_c: مساحة المجمع الشمسي (م^2)

T_P: درجة حرارة صفيحة الامتصاص (م°)

T_a: درجة حرارة الجو (م°)

ويحسب معامل انتقال الحرارة الكلي من المعادلة الاتية :

$$U_L = U_t + U_e + U_b \quad \text{.....(2)}$$

$$q_{L-t} = \left[h_{p-t}(T_p - T_g) + \frac{\sigma(T_p^{\,4} - T_g^{\,4})}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} \right] A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)_c$$

حيث:

U_t: معامل انتقال الحرارة من السطح العلوي (واط/م^2 م$^\circ$)

U_e: معامل انتقال الحرارة من الجوانب (واط/م^2 م$^\circ$)

U_b: معامل انتقال الحرارة من الاسفل (واط/م^2 م$^\circ$)

يحدث فقدان الحرارة الى الجو من صفيحة الامتصاص بسبب ارتفاع درجة حرارتها بطريقتي الحمل والاشعاع . ولحساب كمية الحرارة المنتقلة من صفيحة الامتصاص عند درجة حرارة T_p الى الغطاء الزجاجي عند درجة حرارة T_g

q_{L-t}: كمية الحرارة المفقودة من صفيحة الامتصاص الى الغطاء الزجاجي (واط)

h_{p-t}: معامل انتقال الحرارة بالحمل بين صفيحة الامتصاص والغطاء الزجاجي (واط/م^2 م$^\circ$)

σ: ثابت Stefan-Boltzmann وقيمته ٥,٦٦٩٧ *١٠$^{-٨}$ (واط/م^2 كلفن^4)

ε_p: انبعاثية طلاء صفيحة الامتصاص

ε_g: انبعاثية الغطاء الزجاجي

يحسب h_{p-g} من المعادلة الاتية :

$$h_{p-g} = \frac{N_u k}{L} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

N_u: رقم Nusslt

k: الموصلية الحرارية للهواء (واط/م م$^\circ$)

L: سمك الحيز الهوائي (م)

يحسب رقم نسلت من المعادلة الاتية(٧) :

$$N_u = 1 + 1.44\left[1 - \frac{1708}{R_a \cos\beta}\right]^{+}\left[1 - \frac{(\sin 1.8\beta)^{1.6} 1708}{R_a \cos\beta} + \left(\frac{R_a \cos\beta}{5830}\right)^{1/3} - 1\right]^{+} \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

ويحسب رقم Raliegh من المعادلة الاتية (١٣):

$$R_a = \frac{g\beta' \Delta T L^3}{\vartheta_a \alpha_a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

حيث ان معامل التمدد الحجمي هو:

$$\beta' = \frac{1}{T_{ag}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

حيث:

g : التعجيل الارضي (م/ثا^2)

β' : معامل التمدد الحجمي للهواء بضغط ثابت (١/كلفن)

ϑ_a : اللزوجة الكاينماتيكية (م^2/ثا)

α_a : معامل الانتشارية الحرارية (م^2/ثا)

ΔT : الفرق بين درجتي حرارة صفيحة الامتصاص والغطاء الزجاجي (م°)

T_{ag} : درجة حرارة الطبقة الهوائية (كلفن)

يحسب مقدار فقدان الحرارة من السطح الخارجي للغطاء الزجاجي الى الجو بالحمل والاشعاع من المعادلة الاتية :

$$q_{c-g} = (h_{r,g-a} + h_w)(T_g - T_a)A_c \quad \text{.....(8)}$$

$h_{r,g-a}$: معامل انتقال الحرارة بالاشعاع من السطح الخارجي للغطاء الشفاف عند درجة حرارة T_g الى الجو عند درجة حرارة T_{sky} ويعطى من المعادلة الاتية :

$$h_{r,g-a} = \varepsilon_g \sigma (T_g^2 - T_{sky}^2)(T_g + T_{sky})A_c \quad \text{.....(9)}$$

تحسب درجة حرارة السماء T_{sky} من العلاقة الاتية:

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5} \quad \text{.....(10)}$$

h_w : معامل انتقال الحرارة بسبب الريح (واط/م م°)ويحسب من المعادلة الاتية :

$$h_w = 5.7 + 3.8v \quad \text{.....(11)}$$

v : سرعة الريح (م/ثا)

يحسب $h_{r,p-g}$ من المعادلة الاتية(٧):

$$h_{r,p-g} = \frac{(T_p - T_g)(T_p^2 + T_g^2)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_p}\right) + \left(\frac{1}{\varepsilon_g}\right) - 1} \quad \text{.....(12)}$$

لذلك فأن معامل انتقال الحرارة من السطح العلوي يعطى من المعادلة الاتية:

$$U_t = \left[\frac{1}{h_{p-g} + h_{r,p-g}} + \frac{1}{h_w + h_{r,g-a}}\right]^{-1} \quad \text{.....(13)}$$

تتسرب الحرارة من اسفل المجمع الشمسي حيث يحسب مقدارها بأستخدام معامل انتقال الحرارة من السطح السفلي بموجب المعادلةالاتية:

$$U_b = 1/\left[\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_b}{k_{ib}} + \frac{1}{h_w}\right] \quad \text{.....(14)}$$

x_1 : سمك الاطار الخشبي (م)

x_b : سمك طبقة العازل السفلية (م)

k_1 : الموصلية الحرارية للاطار الخشبي (واط/م م°)

k_{ib} : الموصلية الحرارية للطبقة العازلة (واط/م م°)

يحدث فقدان الحرارة من جوانب المجمع الشمسي بواسطة عمليتي الحمل والاشعاع بالفقدان الحراري الجانبي ، ويحسب بأفتراض سريان الحرارة ببعد واحد ويمكن تمثيله بالمعادلة الاتية (٧):

$$q_{L-e} = H_c P_c \frac{k_{i.e}}{x_{i.e}} (T_p - T_a) \quad \text{.....(15)}$$

H_c : الارتفاع الخارجي للمجمع (م)

P_c : محيط المجمع (م)

$k_{i.e}$: الموصلية الحرارية لطبقة العازل الجانبية (واط/م م°)

$x_{i.e}$: سمك طبقة العازل الجانبية (م)

يحسب معامل الفقدان الحراري من الجوانب من المعادلة الاتية:

$$U_e = \frac{(UA)_e}{A} \quad \text{.....(16)}$$

A : مساحة صفيحة الامتصاص م٢

$(UA)_e$: حاصل ضرب معامل انتقال الحرارة من السطح الجانبي في مساحة جوانب المجمع وبالتعويض في معادلة ١٦ ينتج:

$$U_e = \frac{(k_{i.e} / x_{i.e}) H_c P_c}{A} \quad \text{.....(17)}$$

٢- حساب الطاقة الحرارية المفقودة من الانابيب البلاستيكية:

من معادلةFourier يمكن حساب الطاقة الحرارية المفقودة وكالاتي(11):

$$Q = -kA_r \left(\frac{dT}{d_r} \right) \quad \text{.....(18)}$$

عند الشروط الحدية $r = r_i, T = T_i, r = r_o, T = T_o$

تستخدم هذه المعادلة في حساب الطاقة الحرارية المفقودة من الانبوب وكالاتي:

$$Q_1 = \frac{2\pi kL(T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad \text{.....(19)}$$

$$Q_2 = \frac{2\pi k L(T_2 - T_3)}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} \quad \text{.....(20)}$$

$$Q_i = h_i 2\pi r_1 L(T_i - T_o) \quad \text{.....(21)}$$

$$Q_o = h_o 2\pi r_3 L(T_3 - T_o) \quad \text{.....(22)}$$

$$Q_i = Q_o = Q_1 = Q_2 = Q_p$$

بعد جمع المعادلات اعلاه ينتج:

$$Q_p = 2(T_i - T_o)\left[\frac{1}{h_i 2\pi r_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_B L} + \frac{1}{h_o 2\pi r_3 L}\right] \quad \text{.....(23)}$$

٣- حساب الطاقة الحرارية المفقودة من غرفة التجفيف:

تحسب من قانون فورير لكل مادة وكالاتي:

$$Q_A = k_A A\frac{(T_1 - T_2)}{X_A} \quad \text{.....(24)}$$

$$Q_B = k_B A\frac{(T_2 - T_3)}{X_B} \quad \text{.....(25)}$$

$$Q_C = k_C A\frac{(T_3 - T_4)}{X_C} \quad \text{.....(26)}$$

$$Q_i = h_i A(T_i - T_1) \quad \text{.....(27)}$$

$$Q_o = h_o A(T_4 - T_o) \quad \text{.....(28)}$$

$$Q_A = Q_B = Q_C = Q_i = Q_o = Q_1$$

بعد جمع المعادلات اعلاه ينتج:

$$Q_1 = \frac{2(T_i - T_o)}{\frac{1}{h_i A} + \frac{x_A}{k_A A} + \frac{x_B}{k_B A} + \frac{x_C}{k_C A} + \frac{1}{h_o A}} \quad \text{.....(29)}$$

$$Q_2 = \frac{2(T_i - T_o)}{\frac{1}{h_i A_1} + \frac{x_A}{k_A A_2} + \frac{x_B}{k_B A_2} + \frac{x_C}{k_C A_2} + \frac{1}{h_o A_2}} \quad \text{.....(30)}$$

$$Q_3 = \frac{2(T_i - T_o)}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_A}{k_A A_1} + \frac{x_B}{k_B A_1} + \frac{x_C}{k_C A_1} + \frac{1}{h_o A_1}} \quad \text{.....(31)}$$

$$Q_4 = \frac{2(T_i - T_o)}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_A}{k_A A_2} + \frac{x_B}{k_B A_2} + \frac{x_C}{k_C A_2} + \frac{1}{h_o A_2}} \quad \text{.....(32)}$$

$$Q_5 = \frac{2(T_i - T_o)}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_A}{k_A A_3} + \frac{x_B}{k_B A_3} + \frac{x_C}{k_C A_3} + \frac{1}{h_o A_3}} \quad \text{.....(33)}$$

اذاً الطاقة الحرارية الكلية المفقودة من المجفف الشمسي Q_t هي:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_P + Q_L \quad \text{.....(34)}$$

حيث:

Q_1: الطاقة الحرارية المفقودة من جدارين متماثلين

Q_2: الطاقة الحرارية المفقودة من الجانب الخلفي

Q_3: الطاقة الحرارية المفقودة من الباب

Q_4: الطاقة الحرارية المفقودة من الاسفل

Q_5: الطاقة الحرارية المفقودة من الاعلى وانه ذو جانبين

٤- الاغذية المستعملة:

تم استعمال اربعة انواع من الاغذية هي المشمش والتين والعنب والباميا . وضع في كل طريقة تجفيف ٥٠ كغم من الغذاء الطازج بعد سلقه لمدة ٢-٣ دقيقة بالماء الحار بدرجة ٩٥ م$^{\circ}$ ثم وضع في ماء بارد وبشكل دفعات(15).

٥- حساب الكفاءة الكلية للمجمع الشمسي :

تحسب من خلال معرفة الطاقة المنتزعة q التي تحسب من المعادلة الاتية (١٤):

$$q = mc_p(T_o - T_i) \quad \text{.....(35)}$$

وقسمتها على طاقة الاشعاع الشمسي I مضروبا في حاصل قسمة درجة حرارة الهواء الداخل الى غرفة التجفيف T_{in} على درجة حرارة الهواء الخارج من المجمع الشمسي T_o (١٦) وكالاتي:

$$\eta_T = \frac{q}{I} \times \frac{T_{in}}{T_o} \quad \text{.....(36)}$$

حيث:

m: التدفق الكتلي للهواء (كغم/م^2.ثا)

c_p: الحرارة النوعية للهواء (كج/كغم.م$^{\circ}$)

T_i: درجة حرارة الهواء الداخل الى المجمع الشمسي (م$^{\circ}$)

٦- حساب ثابت ومعدل التجفيف:

يحسب من المعادلة الاتية (٢٠):

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = A\exp(-kt) \quad \text{.....(37)}$$

حيث:

MR : نسبة الرطوبة

M : المحتوى الرطوبي على اساس الوزن الجاف (غم ماء/غم مادة جافة)

M_e : المحتوى الرطوبي المتوازن (غم ماء/غم مادة جافة)

M_o : المحتوى الرطوبي الاولي (غم ماء/غم مادة جافة)

A : ثابت

k : ثابت التجفيف (ساعة $^{-1}$)

t : زمن التجفيف (ساعة)

بعد رسم العلاقة بين المحتوى الرطوبي والزمن وكان معامل الارتباط يتراوح بين ٠,٧٩ و ٠,٩٥ ومنها تستخرج قيمة k .

يحسب معدل التجفيف من المعادلة الاتية (١٠):

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad \text{.....(38)}$$

حيث:

$\frac{dM}{dt}$: معدل التجفيف (غم ماء/غم.مادة جافة. ساعة)

٧- حساب النشاط المائي:

ويمثل الرطوبة النسبية المتوازنة مقسوما على ١٠٠(١٧).

٨- معامل انتشار الرطوبة:

يحسب من المعادلتين الاتيتين(١٠):

$$D = \frac{R^2 k}{\pi^2} \quad \text{.....(39)}$$

$$D = \frac{R^2 k}{5.7331} \quad \text{.....(40)}$$

تستخدم المعادلة (٣٩) للاغذية الدائرية الشكل بينما المعادلة (٤٠) تستخدم للاغذية الاسطوانية الشكل.

حيث:

D : معامل انتشار الرطوبة (سم^2/ثا)

R : نصف قطر الغذاء (سم)

٩- معامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع :

تم حسابهما من المعادلتين الاتيتين (١٨):

$$R_f = c(100 - m)/(w_d - m_r) \times 100 \quad \text{.....(41)}$$

$$R_H = \frac{(c - w_s)}{c} \times 100 \quad \text{.....(42)}$$

MR : نسبة الرطوبة

M : المحتوى الرطوبي على اساس الوزن الجاف (غم ماء/غم مادة جافة)

M_e : المحتوى الرطوبي المتوازن (غم ماء/غم مادة جافة)

M_o : المحتوى الرطوبي الاولي (غم ماء/غم مادة جافة)

A : ثابت

k : ثابت التجفيف (ساعة $^{-1}$)

t : زمن التجفيف (ساعة)

بعد رسم العلاقة بين المحتوى الرطوبي والزمن وكان معامل الارتباط يتراوح بين ٠,٧٩ و ٠,٩٥ ومنها تستخرج قيمة k .

يحسب معدل التجفيف من المعادلة الاتية (١٠):

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad \text{.....(38)}$$

حيث:

$\frac{dM}{dt}$: معدل التجفيف (غم ماء/غم.مادة جافة. ساعة)

٧- حساب النشاط المائي:

ويمثل الرطوبة النسبية المتوازنة مقسوما على ١٠٠(١٧).

٨- معامل انتشار الرطوبة:

يحسب من المعادلتين الاتيتين(١٠):

$$D = \frac{R^2 k}{\pi^2} \quad \text{.....(39)}$$

$$D = \frac{R^2 k}{5.7331} \quad \text{.....(40)}$$

تستخدم المعادلة (٣٩) للاغذية الدائرية الشكل بينما المعادلة (٤٠) تستخدم للاغذية الاسطوانية الشكل.

حيث:

D : معامل انتشار الرطوبة (سم^2/ثا)

R : نصف قطر الغذاء (سم)

٩- معامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع :

تم حسابهما من المعادلتين الاتيتين (١٨):

$$R_f = c(100 - m)/(w_d - m_r) \times 100 \quad \text{.....(41)}$$

$$R_H = \frac{(c - w_s)}{c} \times 100 \quad \text{.....(42)}$$

R_f : معامل استرجاع الماء

c : وزن النموذج بعد الاسترجاع (غم)

m : نسبة الرطوبة في النموذج قبل التجفيف (%)

w_d : وزن النموذج المجفف (غم)

m_r : نسبة الرطوبة في النموذج المجفف (%)

w_s : وزن المادة الجافة في النموذج (غم)

R_H : نسبة الرطوبة بعد الاسترجاع(%)

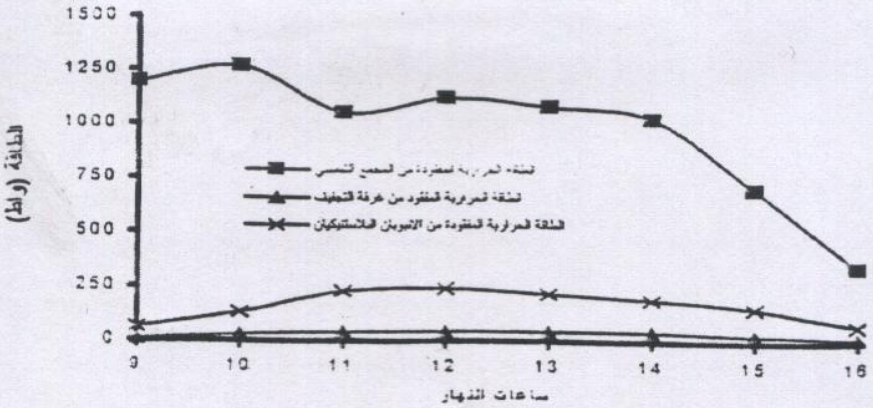
استعملت تجربة عاملية بالتصميم العشوائي الكامل (٤*٣) (اربعة انواع من الاغذية هي المشمش والتين والعنب والباميا * ثلاثة طرائق تجفيف هي التجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الشمسي والمجفف الكهربائي)واستخدم اختبار اقل فرق معنوي المعدل للمقارنة بين متوسطات المعاملات على مستوى احتمالي ٠,٠٥.(٣)

النتائج والمناقشة

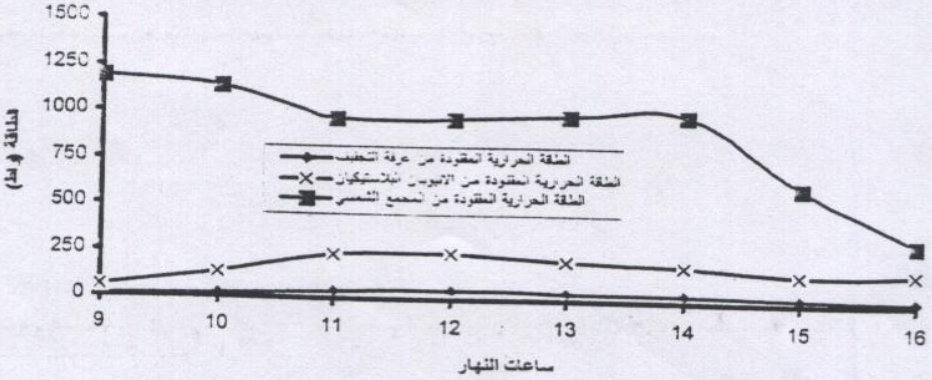
١-الطاقة الحرارية المفقودة:

يلاحظ من الشكلين(١و٢) ان الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي هي اكبر من تلك المفقودة في الانبوبان البلاستيكيان والاخيران اكبر من تلك المفقودة في غرفة التجفيف في فصلي الصيف والشتاء . كما نلاحظ ان الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي تكون اعلى عند الساعتين التاسعة والعاشرة صباحا في فصلي الصيف والشتاء وهذا بسبب زيادة الفرق في درجة حرارة الجو والمجمع الشمسي مما يؤدي الى زيادة معامل الفقدان الحراري الكلي بشكل كبير . بينما لم تحدث هذه الحالة في الانبوبان البلاستيكيان وغرفة التجفيف بسبب وجود المادة العازلة (الرغوة) وهي ذات عزل حراري كفوء.

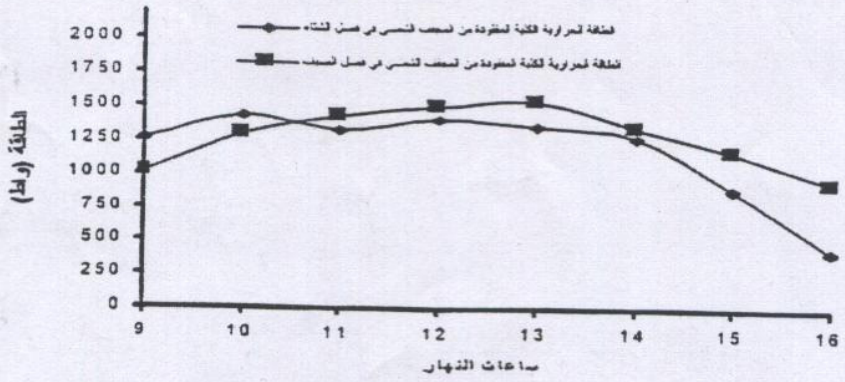
يلاحظ من الشكل (٣) ان الطاقة الحرارية المفقودة من المجفف الشمسي في فصل الصيف هي اعلى من تلك المفقودة في فصل الشتاء ماعدا ساعات النهار الاولى وهي الساعتين التاسعة والعاشرة صباحا. وهذا يعود الى ان زيادة معامل الفقدان الحراري الكلي في فصل الصيف بسبب ارتفاع درجات حرارة صفيحة الامتصاص فتكون هنالك طاقة حرارية فائضة تفقد عن طريق السطح العلوي من المجمع الشمسي الى الجو وخصوصا عند ساعات الحمل الاقصى وهي من الساعة العاشرة صباحا ولغاية الساعة الثانية بعد الظهر .



شكل(١):الطاقة الحرارية المفقودة من اجزاء المجفف الشمسي في فصل الصيف.



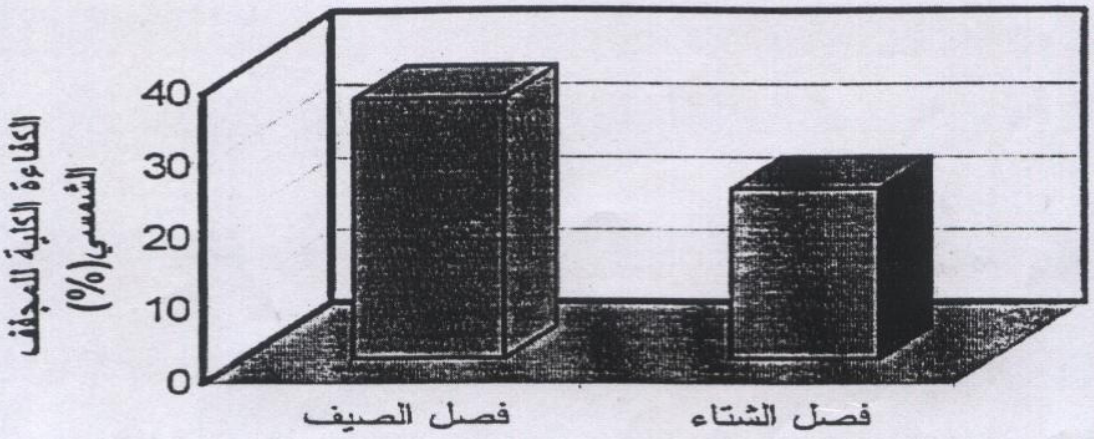
شكل(٢):الطاقة الحرارية المفقودة من اجزاء المجفف الشمسي في فصل الشتاء.



شكل(٣):الطاقة الحرارية المفقودة من المجفف الشمسي في فصلي الصيف والشتاء.

٢-الكفاءة الحرارية الكلية:

يلاحظ من الشكل (٤) ان الكفاءة الحرارية الكلية للمجفف الشمسي في فصل الصيف اعلى منها في فصل الشتاء وهذا بسبب ارتفاع درجة حرارة صفيحة الامتصاص خلال ساعات الحمل الاقصى مما يؤدي الى زيادة درجة حرارة الهواء فتزداد حركته الداينميكية وهذا بدوره يزيد من الطاقة المنتزعة وبالتالي زيادة كل من كفاءة المجمع الشمسي وكفاءة غرفة التجفيف والذي بدوره سينعكس ايجابا على الكفاءة الحرارية الكلية مؤديا الى زيادتها ، اذ ان مقدار الزيادة بالطاقة المنتزعة سيكون اكبر بكثير من الزيادة بمعامل الفقدان الحراري الكلي. وهذه الكفاءة مقاربة الى ماوجده Sabbah(١٦) اذ ان الكفاءة الحرارية الكلية لمجفف شمسي ذو جريان قسري وصلت الى ٤٣% عند معدل تدفق للهواء مقداره ٢١٥ م^{٣}/ساعة.



شكل(٤):الكفاءة الحرارية الكلية للمجفف الشمسى فى فصلى الصيف والشتاء.

٣-معدل التجفيف

يلاحظ من الشكل(٥) ان هنالك مرحلتين للتجفيف هما التجفيف بمعدل ثابت اذ ان معدل التجفيف لايتغير مادام هنالك ماء حر بالقرب من سطح الغذاء ويبقى معدل التجفيف ثابت الى ان يصل الى المحتوى الرطوبي الحرج الذي بعده ينخفض معدل التجفيف وتسمى هذه المرحلة بمعدل التجفيف المتناقص وان عملية خروج الرطوبة تكون اصعب مما في الحالة الاولى كون الماء يكون مرتبط. كما اظهرت النتائج ان لطريقة التجفيف تأثير على المحتوى الرطوبي الحرج ، ففي حالة التجفيف الشمسي الطبيعي نلاحظ ان المحتوى الرطوبي الحرج يحصل عند ازالة محتويات رطوبية اقل مما في حالة استعمال المجفف الشمسي والمجفف الكهربائي ، كما ان الاخير يحصل فيه عند ازالة

محتويات رطوبية اعلى من المجفف الشمسي ، وهذا بسبب ارتفاع درجة الحرارة الذي يؤدي الى تبخر كم كبير من الرطوبة الموجودة في الغذاء ويتبخر جميع الماء الحر بسرعة، وهذا مايحدث في المجفف الكهربائي ويليه المجفف الشمسي.

يلاحظ من الشكل(٦)ان الزمن اللازم لمعدل التجفيف الثابت هو اقل من الزمن اللازم لمعدل التجفيف المتناقص لانه في حالة الاخير يجب التغلب على القوى الرابطة للماء داخل الخلية وانه يجب ان يصعد الى السطح عن طريق الخاصية الشعرية وهذه العملية تحتاج الى زمن كبير فمثلا الزمن اللازم لمعدل التجفيف الثابت للمشمش المجفف بالمجفف الشمسي هو ٣ ساعة بينما يتطلب ٣٣ ساعة لمعدل التجفيف المتناقص .كما نلاحظ من الشكل نفسه ان زيادة زمن التجفيف ادت الى انخفاض في معدل التجفيف للاغذية المجففة بطرائق تجفيف مختلفة جميعيا وكان الانخفاض بمعدل التجفيف بطريقة التجفيف الشمسي الطبيعي اقل مما في حالة المجفف الشمسي والاخير اقل من المجفف الكهربائي.

٤-ثابت التجفيف:

يلاحظ من جدول (١) ان ثابت التجفيف للاغذية المجففة بالمجفف الشمسي اعلى من التجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الكهربائي وذلك لان التجفيف الشمسي الطبيعي يتطلب زمنا اكبربكثير من طريقتي التجفيف الاخرتين ، بينما في حالة المجفف الكهربائي فأن سبب انخفاض ثابت التجفيف له هو نتيجة بقاء الرطوبة محجوزة داخل الغذاء بسبب الانكماش والتصلب السطحي ولذلك يطول زمن التجفيف بشكل نسبي مقارنة مع المجفف الشمسي الا ان الاختلافات بينهما طفيفة وكذلك اختلاف الظروف من ضغط ودرجة حرارة ورطوبة اذ ان المجفف الكهربائي يمكن التحكم بظروفه بسهولة بينما يصعب ذلك في المجفف الشمسي اذ ان درجة الحرارة والرطوبة متغيرة مع الزمن. وكما ذكر(5) Ayensu & Asiedu-Bondezie ان زيادة ثابت التجفيف تؤدي الى تقليل الزمن اللازم للتجفيف .

٥- معامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع:

يشير الجدول (١)الى ان معامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع هي اعلى عند استعمال المجفف الشمسي في تجفيف الاغذية منه عند استعمال المجفف الكهربائي والتجفيف الشمسي الطبيعي وللاغذية جميعها وهذا قد يؤدي الى تجانس عملية التجفيف في الاغذية المجففة بالمجفف الشمسي بشكل اكبر من الطريقتين الاخرتين مما جعل التجفيف ينتقل الى داخل الغذاء وتخرج الرطوبة منه اضافة الى ذلك يكون الانكماش قليل مما يجعل المسامية اعلى في الغذاء المجفف فيه وهذا يؤدي الى سهولة استرجاع المنتوج بعد اضافة الماء اليه كما انه يمتص اكبر كمية من الماء مقارنة مع

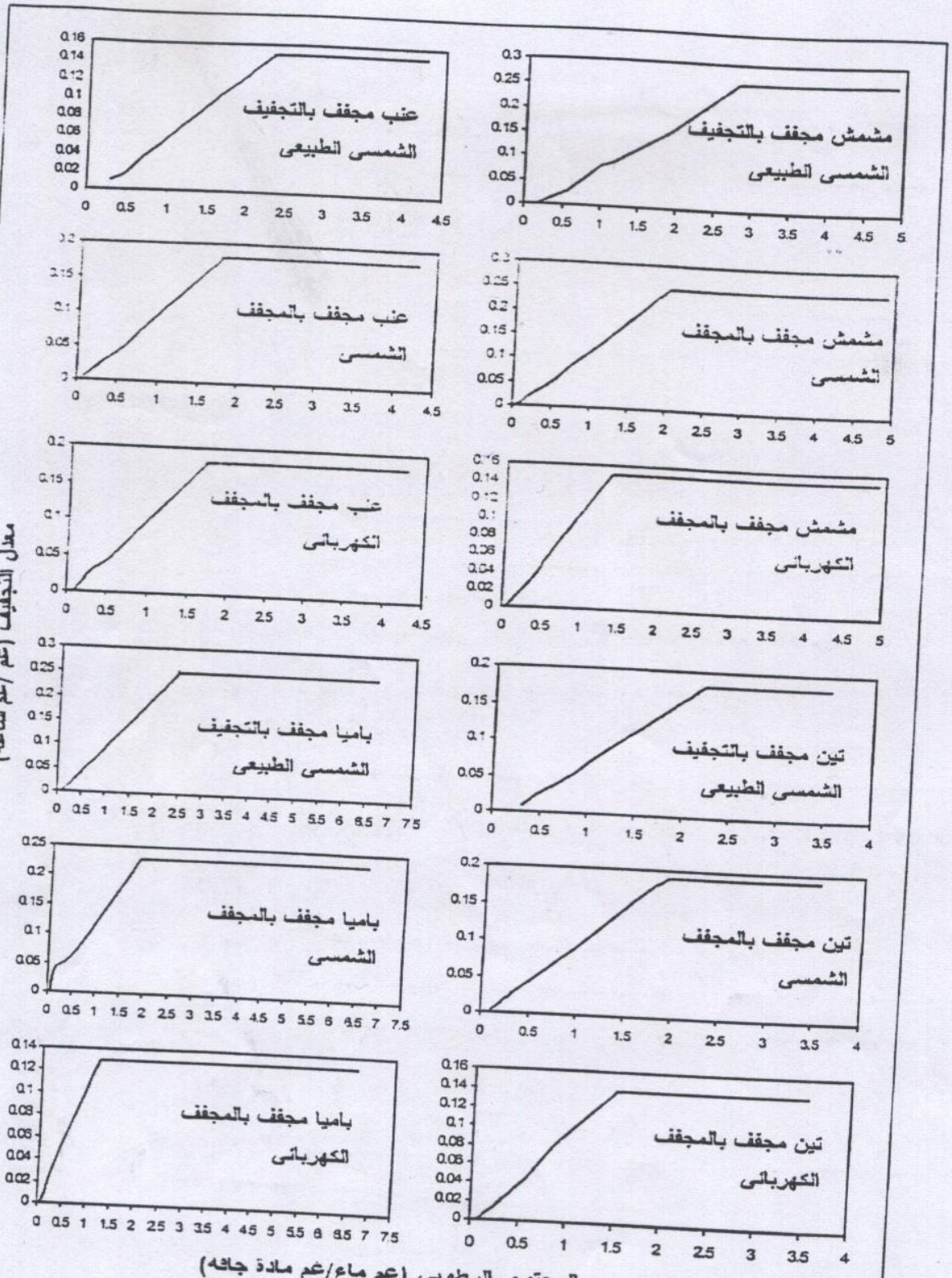
الطريقتين الاخرتين اضافة الى ذلك فأن المجفف الكهربائي يسبب التصلب السطحي وهذا يجعل الغذاء يمتص كمية اقل من الماء مما يؤدي الى انخفاض معامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع ،.و وجد الحلفي (٣) ان نسبة استرجاع الماء للاغذية المجففة بالمجفف الشمسي هي اعلى من تلك المجففة بالطرائق التقليدية .

٦- النشاط المائي:

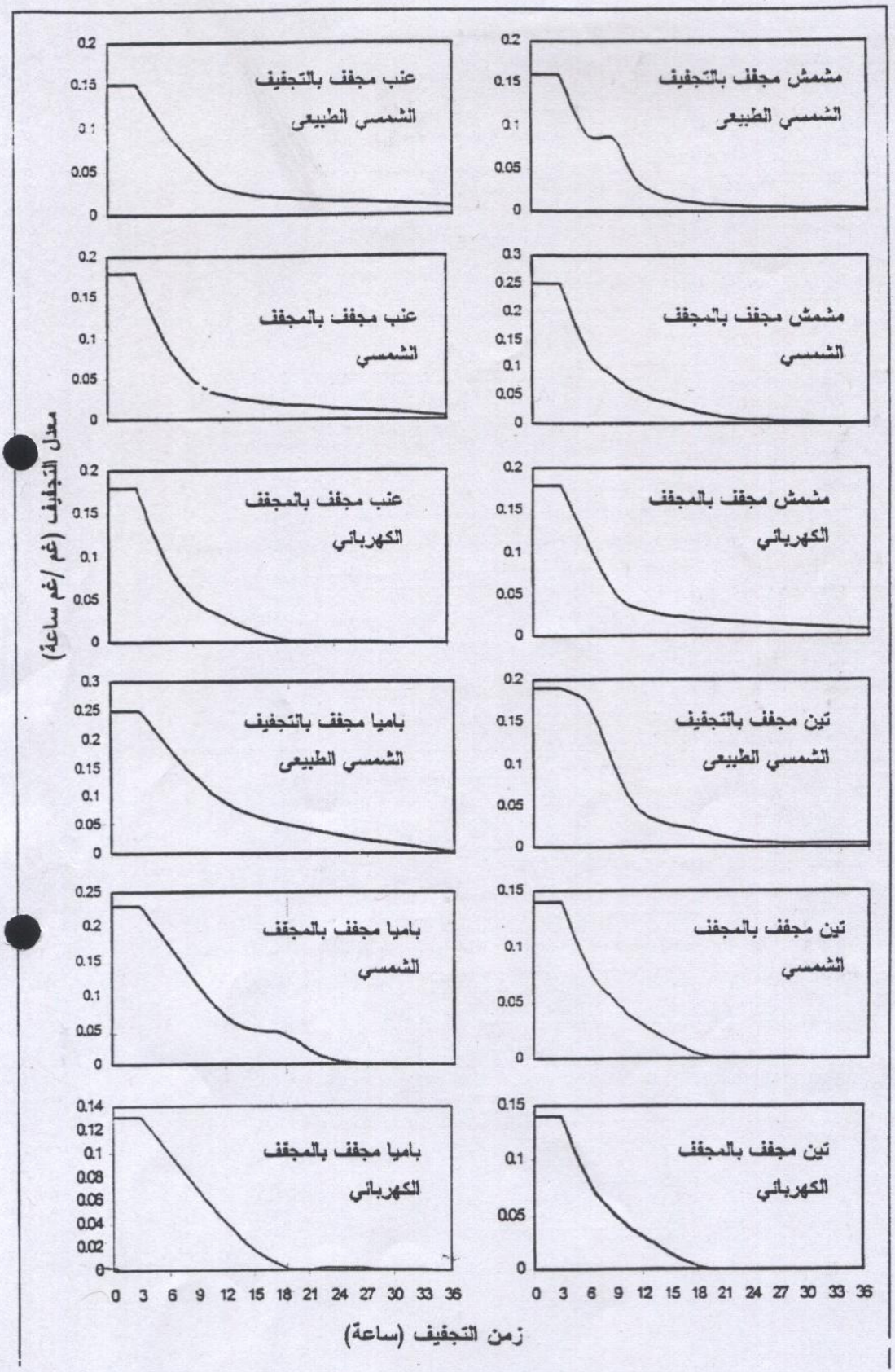
نلاحظ من الشكل(٧) ان النشاط المائي للاغذية المجففة بالتجفيف الشمسي الطبيعي اعلى من المجفف الكهربائي والاخير اعلى من المجفف الشمسي وهذ يعود الى انه في حالة التجفيف الشمسي الطبيعي فأن الغذاء معرض للتغيرات في الظروف الجوية كتغير الرطوبة ودرجة الحرارة اذ انه عندما ترتفع رطوبة الجو فأن الغذاء يمتص رطوبة منه وهذا دائما يحدث اثناء الليل . اما في حالة المجفف الكهربائي فيسبب حصول حالة التصلب السطحي للاغذية المجففة به ، بسبب ان سرعة التجفيف تؤدي الى سرعة خروج الرطوبة من الغذاء وبالتالي يحصل ترسب للسكريات في الانابيب الشعرية في الغذاء وتتصلب وتنسد المسامات وبالتالي تحجز الرطوبة في داخل الغذاء وتمنع خروجها الى الخارج اضافة الى وجود طبقة سطحية صلبة تمنع خروج الرطوبة من الغذاء.

٧-معامل انتشار الرطوبة:

نلاحظ من الشكل (٨) ان معامل انتشار الرطوبة للاغذية المجففة بالمجفف الشمسي هي اعلى من طريقتي التجفيف الاخرتين للاغذية جميعها ماعدا التين والعنب فقد كانت متقاربة جدا ، وهذا يشير الى ان خروج الرطوبة من الاغذية بواسطة المجفف الشمسي هي افضل من طريقتي التجفيف الاخرتين ، اما في حالة العنب والتين فأن تقاربهما قد يعود الى وجود الطبقة الشمعية التي تعيق خروج الرطوبة منها الا ان المجفف الكهربائي يسبب انكماش كبير للاغذية المجففة وهذا بدوره ايضا يعيق انتشار الرطوبة وخروجها من الغذاء. كما ان الرطوبة المزالة في مرحلة معدل التبخر المتنازل تكون عن طريق الانتشار الرطوبي (12).



شكل(٥):العلاقة بين معدل التجفيف والمحتوى الرطوبي للاغذية المختلفة والمجففة بطرائق تجفيف مختلفة.

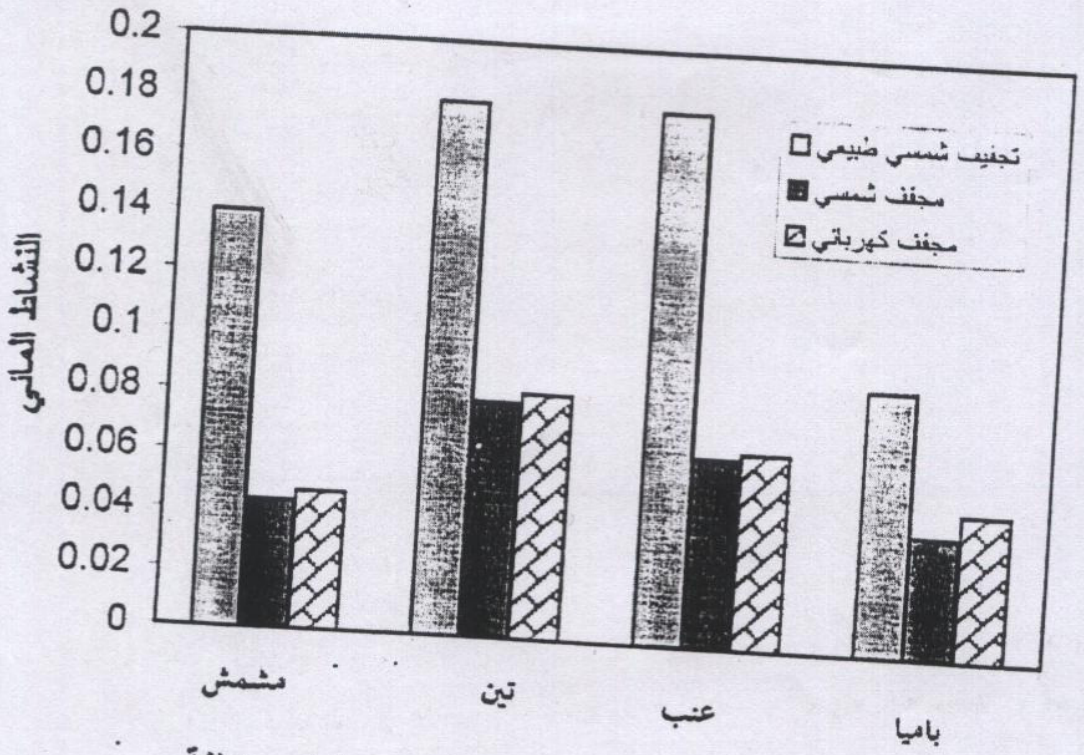


شكل(٦):العلاقة بين معدل التجفيف والمحتوى الرطوبي للاغذية المختلفة والمجففة بطرائق تجفيف مختلفة.

جدول(١): تأثير طرائق التجفيف على ثابت التجفيف ومعامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع لعدة اغذية.

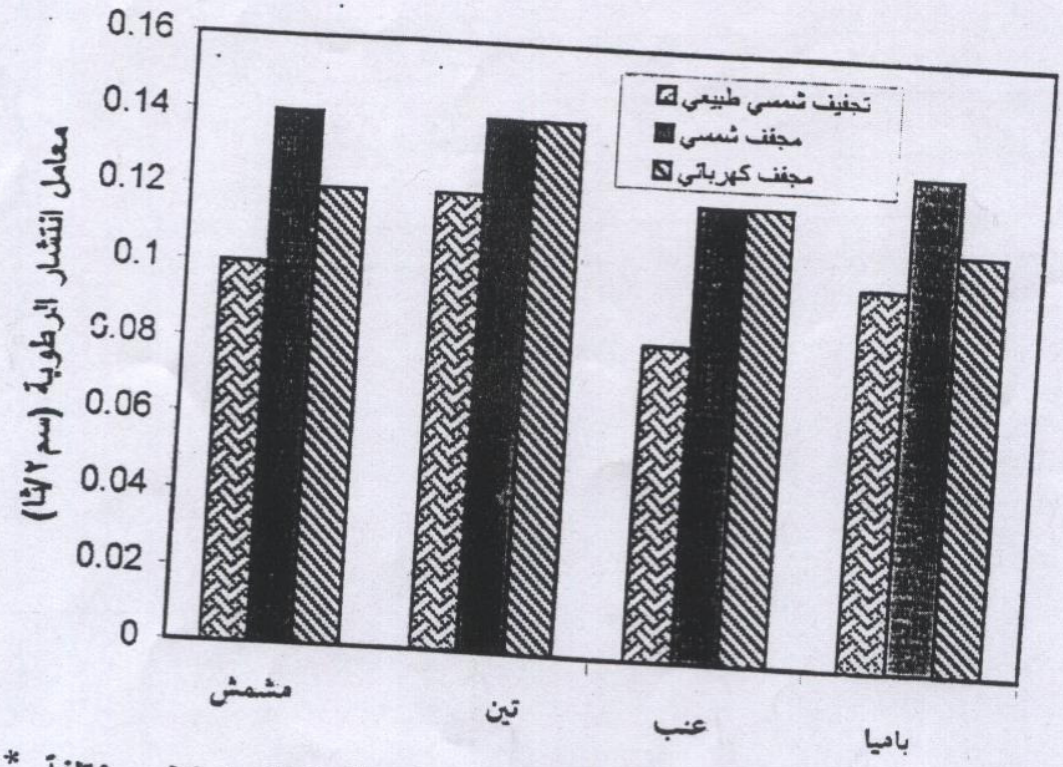
الاغذية	طرائق التجفيف	ثابت التجفيف (ساعة $^{-1}$)	معامل استرجاع الماء	نسبة الرطوبة بعدالاسترجاع(%)
مشمش	تجفيف شمسي طبيعي	ج ٠,٠٩٤	ب ٠,٣٧٨	ب ٦٠,٠١
	مجفف شمسي	أ ٠,١٢٩	أ ٠,٤٠٦	أ ٦٢,١٠
	مجفف كهربائي	ب ٠,١١٣	ج ٠,٣٠٦	ج ٥١,٠٣
	المعدل	b ٠,١١٢	b ٠,٣٦٣	b ٥٧,٧١
تين	تجفيف شمسي طبيعي	ج ٠,٠٩٢	ب ٠,٣٢١	ب ٤٠,٦٩
	مجفف شمسي	أ ٠,١٠٦	أ ٠,٤٦٥	أ ٥٨,٢٨
	مجفف كهربائي	ب ٠,١٠٣	ج ب ٠,٣١١	ج ٣٨,٦٠
	المعدل	c ٠,١٠٠	b ٠,٣٦٥	c ٤٥,٨٥
عنب	تجفيف شمسي طبيعي	ج ٠,٠٧٣	ب ٠,٢٤٣	ب ٣١,٧٠
	مجفف شمسي	أ ٠,١٠٦	أ ٠,٦٢٧	أ ٦٨,٤٥
	مجفف كهربائي	ب ٠,١٠٥	ج ب ٠,٢٣٨	ج ٢٥,٩٠
	المعدل	c ٠,١٠٧	b ٠,٣٦٩	d ٤٢,٠١
باميا	تجفيف شمسي طبيعي	ج ٠,١٠٧	ب ٠,٦١٨	ب ٧٩,٦٨
	مجفف شمسي	أ ٠,١٣٠	أ ٠,٦٣٤	أ ٨٠,٧١
	مجفف كهربائي	ب ٠,١١٠	ج ٠,٥٤٨	ج ٧٧,٩٤
	المعدل	a ٠,٦٠٠	a ٠,٦٠٠	a ٧٩,٩٤

- الاحرف المتشابهة تشير الى عدم وجود فروق معنوية بين المعاملات
- الاحرف المختلفة تشير الى وجود فروق معنوية بين المعاملات



النشاط المائي لأغذية مجففة بطرائق تجفيف مختلفة .

شكل(٧):



معامل انتشار الرطوبة لأغذية مجففة بطرائق تجفيف مختلفة $*10^{-}$

الاستنتاجات

نستنتج من الدراسة الحالية بان المجفف الشمسي يمتاز بميزات ايجابية مقارنة بطريقة التجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الكهربائي وهي:

١-لايحتاج الى طاقة كهربائية لتشغيله وانما يعتمد على الطاقة الشمسية فقط.

٢-ان ثابت التجفيف ومعامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع كانت للمجفف الشمسي اعلى من طريقتي التجفيف المستخدمتين.

٣-لايسبب حرق للاغذية المجففة بوساطته.

٤-النشاط المائي للاغذية المجففة بوساطته اقل من طريقتي التجفيف المستخدمتين.

٥-معامل انتشار الرطوبة للاغذية المجففة بوساطته اعلى من طريقتي التجفيف المستخدمتين.

المصادر

١-العاشور، عبد المجيد محمد رعد (١٩٧٩) . بناء وتصميم سخان شمسي اسطواني مكافيء المقطع متعدد المراحل مع منظومة السيطرة والتعقيب الذاتية . رسالة ماجستير ، الجامعة التكنولوجية ، العراق .

٢-الحلفي ، اسعد رحمن (٢٠٠٦). تطوير مجفف شمسي ودراسة كفاءته في تجفيف بعض الفواكه والخضر .اطروحة دكتوراه ، كلية الزراعة ، جامعة البصرة.

٣-الراوي ، خاشع محمود وعبد العزيز ،محمد خلف الله (٢٠٠٠) . تصميم وتحليل التجارب الزراعية . دار الكتب للطباعة والنشر ، جامعة الموصل ، العراق .

٤-حسن ، عبد علي مهدي و الحكيم ، صادق حسن (١٩٨٥) . تصنيع الاغذية . الجزء الاول ، مطبعة جامعة بغداد .

5-Ayensu , A.& Asiedu-Bondzie , V. (1986) . Solar drying with convective self-flow and energy storage . Solar & Wind Technology . 3 (4): 273-279 .

6-Chrife,J.(1983) Fundamentals of the drying mechanisim during air dehydration of foods. In Advances in food drying . ed A.S. Majumdar, 73-102 New York, NY: Hemisphere publishing Corporation.

7-Duffie , J.A. & Beckman , W.A. (1980) . Solar Engineering of thermal processes , Willey – Interscience , New York .

8-Ekedukuwa , O. V. & Norton , B. (1999) . Review of solar energy drying system II .An over view of solar drying technology – energy conservation and management . 3 : 615-655 .

9-El-Sebaii , A.A. , Abaul-Enein , S. , Ramadan , M.R. & El – Gohary , H. (2002) . Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer . Energy convection and management. 43: 2251-2266 .

10-Henderson,S.M. & Perry,R.L.(1976) Agricultural process engineering, 302-309. Westport, CT: AVI Publishing Co.Inc.
11-Holman , J.P. (1976) . Heat transfer. 4th ed. Mc Graw-Hill Kogakusha , LTD .
12-Ismail, N.& Wooton., M. (1992) Fish salting and drying :a review . ASEAN food Journal 7(4):175-183.
13-Lunde , P. J. (1980) .Solar thermal engineering . Willey , New York
14-Marzouq, K.K. (1985) Combined collection-storage solar heating by gravel bed. Ph.D thesis. Mech. Eng., Basrah Univ.
15-NESCO . (2004) . Food dehydrator and Jerky Maker . American Harvest .1-800-288-4545 . U.S.A. (www.nesco.)
16-Sabbah , M.A. (1986) .Design and performance of a solar drying system in Riyadh area .Journal coll. Agric.King Saud Unv. 8 (1) : 49-76 .
17-Singh,R.P.& Heldman,D.R. (1993).Introduction to food engineering . Acadimic press ,Inc., California.
18-Stanislaw , P. Digvir , S.J. , Stefan , C. (1998) . Grain drying. John Willey & sons , Inc. pp. 303 .
19-Tiris , C. , Ozbalta , N. , Tiris , M. & Dincer , I. (1994) . Experimental testing of a new solar dryer . International Journal of energy research. 18: 483 – 491 .
20-Vaxman , M.& Sokolov , M. (1985) . Analysis of afree flow solar collector. Solar Energy 35 (3) : 287-290.

THE HEAT PERFORMANCE FOR SOLAR DRYER AND ITS EFFECT IN SOME ENGINEERING CHARACTERS FOR DRYING

G.H.Majeed *Asaad R.AL-Hilphy**
Food Sciences & Biotechnology – Agri. College – Basrah Univ. –Iraq
ghmajeed@yahoo.com, *asaadrehman@yahoo.com

SUMMARY

Heat performance of indirect solar dryer with natural flow drying and its effect on some drying engineering properties, were studied and compared with natural sun drying and electrical drying using apricot, figs, grape and okra as a tested food stuff.

The studied properties were :
lost heat energy (Watt) from all parts of solar dryer, total heat efficiency(%) during summer and winter, drying rate (gm water/gm db h), water activity, moisture diffusion coefficient (m^2/s) drying constant (h^{-1}) ,water retention coefficient and moisture percentage after retention (%).

Results showed that the lost heat energy from solar collector was higher than other parts of the solar dryer, allso it was higher during summer than in winter. Total heat efficiency of solar dryer reached during summer 34% , while it reached 21% during winter .

Results also revealed that the moisture diffusion coefficient , drying constant, water retention coefficient, and moisture percentage after retention was higher than using solar dryer in comparison with other tow methods. It also gave lower values of water activity of all dried food .
Key words: solar dryer, dried food, heat.