

نمذجة رياضية و تجريبية لأداء (مجفف شمسي - بيت بلاستيكي) في تجفيف التبغ السوري

الدكتور المهندس صلاح داوود*
يسرى الوزه**

(تاريخ الإيداع 27 / 3 / 2013. قُبل للنشر في 21 / 10 / 2013)

▽ ملخص ▽

يدرس البحث إمكانية استخدام تقنية (مجفف شمسي-بيت بلاستيكي) في تجفيف المنتجات الزراعية السورية، ضمن ظروف المناخ في القطر العربي السوري. وأجريت تجارب تجفيف نماذج من التبغ السوري (البرلي و البصما) في المجفف الشمسي في منطقة الرملة في اللاذقية خلال أشهر تموز وآب وأيلول في عام 2009، حيث تمت الدراسة التجريبية لأداء هذا المجفف الشمسي، كما تمت الدراسة النمذجية الرياضية لعملية تجفيف المحصول المدروس. تم التركيز على دراسة محتوى الرطوبة النسبية داخل المجفف بالمقارنة مع الرطوبة النسبية للوسط المحيط، وكانت نتائج نمذجة مجموعة العلاقات الرياضية التفاضلية متقاربة مع المعطيات التجريبية بنسب لتبغ البرلي ولتبغ البصما على الترتيب 11.6، 12.5%، ولقد تم التوصل إلى إمكانية استخدام النموذج الرياضي المدروس كقاعدة بيانات لتصميم (المجفف شمسي-بيت بلاستيكي) في أي موقع آخر في القطر العربي السوري.

الكلمات المفتاحية: مجفف شمسي، تبغ البرلي، بيت بلاستيكي، تبغ البصما، لاقط شمس-هوائي.

* أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية -كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.
** قائم بالأعمال - قسم هندسة القوى الميكانيكية-كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.

Modeling and Testing of the Performance of (Solar Dryer-Greenhouse) in Drying Syrian Tobacco

Dr. Slah Daod*
Yousra alwazah**

(Received 27 / 3 / 2013. Accepted 21 / 10 / 2013)

▽ ABSTRACT ▽

This research studies the use of the (solar dryer-greenhouse) in drying the agriculture products in the climate conditions of the Syrian Arab Republic. The solar dryer tested in Ramilah in Lattakia by drying samples of tobacco (Brly, Bassma) during the period of July-September, 2009. The performance of the solar dryer and the mathematical model of the drying system of tobacco have been tested. However, the effects of the relative humidity in the solar dryer compared with the relative humidity of outside air have been studied carefully. The simulated results of solving the equations of the mathematical drying system model showed good agreement with the experimental data with ratio of Brly and Bassama tobacco 11.6, 12.5%, respectively. This model can be used to provide the design data for this type of dryer in other locations in Syrian Arab Republic.

Keywords: solar dryer, Brly tobacco, greenhouse, bassma tobacco, sun-air collector.

* Professor in Power Mechanical Department-Mechanical and Electrical Faculty- Tishreen University- Lattakia-Syria.

** Academic Assistant in the Power Mechanical Department-Mechanical and Electrical Faculty- Tishreen University- Lattakia-Syria.

مقدمة:

يعتبر القطر العربي السوري من البلدان الزراعية المنتجة للمحاصيل الإستراتيجية مثل القطن والزيوت والحبوب والحمضيات والتبغ، ويتصدر التبغ السوري المحاصيل الزراعية الموردة للقطع الأجنبي للاقتصاد الوطني. يحتاج التبغ؛ كغيره من المنتجات الزراعية؛ إلى عملية تجفيف من أجل حفظه وإطالة عمره وتحضيره كمادة خام لتصنيعه فيما بعد. تعتمد عملية تجفيف التبغ بعد موسم القطاف في القطر العربي السوري بشكل أساسي وواسع على المناشر الشمسية البسيطة لأنواع كثيرة من التبغ أما وحدات تجفيف تبغ الفرجينيا تعتمد على المازوت في تشغيلها كما هو موضح في الشكل (1)، مما يؤدي إلى كلفة إضافية تضاف إلى سعر الكيلو غرام الواحد من التبغ و بالتالي ينعكس سلباً على المردودية الاقتصادية للفلاح المنتج للتبغ، بالإضافة إلى تأثير غير مرغوب فيه على مواصفات الجودة للتبغ الذي يتم تجفيفه ضمنها، و كذلك التلوث البيئي.

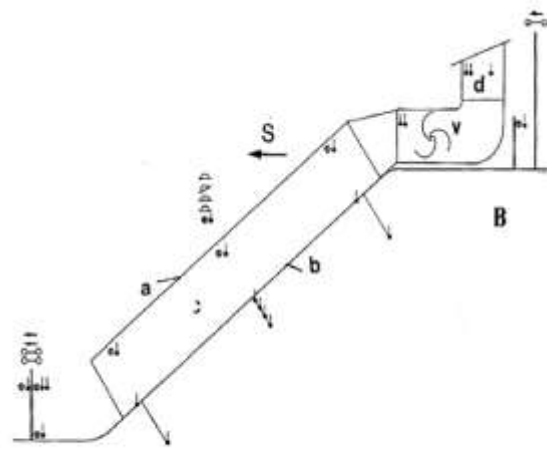
بما أن العالم يمر في مرحلة انتقالية للعبور من مصادر الطاقة الاحفورية إلى مصادر أكثر ديمومة وأقل تلويثاً للبيئة، كان لابد من التفكير في استبدال وحدات التجفيف المستخدمة حالياً والمعتمدة على المازوت بوحدات تجفيف شمسية، وخاصة أن موسم تجفيف المنتجات الزراعية بشكل عام والتبغ بشكل خاص هو فصل الصيف حيث تتوافر الطاقة الشمسية بوفرة، حيث يبلغ المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي الكلي الساقط على المستوى الأفقي في المنطقة العربية حوالي $5 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{day}$ [1]، أي أن البلدان العربية تتلقى طاقة شمسية تعادل الطاقة المولدة من 383.75 مليون برميل نפט منتجة يوم [1]. لقد سبقتنا دول العالم وفي مقدمتها الأوروبية والأمريكية، إلى تطوير واستخدام تقنيات متنوعة للتجفيف الشمسي مثل استخدام البيوت البلاستيكية كوحدات تجفيف شمسية لمنتجات زراعية مختلفة. فقد طورت ألمانيا في تسعينات القرن الماضي بيتا بلاستيكية على شكل نفق طويل بلغ طوله 78 متر من أجل تجفيف الخضار والفواكه، (الشكل 2) [2].

كما تم إجراء العديد من الدراسات على نماذج البيوت البلاستيكية كمجففات لمحاصيل زراعية متنوعة [2,3]. مثلاً قام الباحثان بارنوال و تيوري [4] بدراسة التجفيف الشمسي للعنب ضمن مجفف بيت بلاستيكي مزود بخلايا كهروضمسية، ولقد طورا العديد من العلاقات الخطية لدراسة سلوك تبخير الرطوبة داخل المجفف. من الملاحظ أن تطوير أغلبية المجففات الشمسية على شكل بيوت بلاستيكية، تم من أجل الاستخدامات المنزلية أو التطبيقات الاقتصادية المحدودة والصغيرة، لذا كان لابد من دراسة إمكانية استخدام تقنية /مجفف شمسي- بيت بلاستيكي/ في تجفيف المنتجات الزراعية التي تدخل في التطبيقات الصناعية الكبيرة مثل التبغ السوري وضمن ظروفنا المناخية.

لذلك فقد قمنا بتصميم مجفف شمسي على شكل نصف بيت بلاستيكي من أجل تجفيف نوعين من أنواع التبغ السوري وهما البرلي و البصما في إحدى قرى مدينة جبلة الواقعة على الساحل السوري، ودراسة الأداء التجريبي لهذا المجفف الشمسي والنموذج الرياضي لعملية تجفيف هذين المحصولين.



الشكل (1) المناشر الشمسية ومجففات التبغ المستخدمة في القطر العربي السوري المعتمدة على المازوت.



الشكل (2) مجفف شمسي على شكل نفق بيت بلاستيكي طويل لتجفيف الخضار و الفواكه في ألمانيا.

أهمية البحث وأهدافه:

يقوم البحث على الاستفادة من الطاقة الحرارية للإشعاع الشمسي في تسخين الهواء ضمن مجفف شمسي - بيت بلاستيكي المستخدم من أجل تجفيف محصولي التبغ المدروسين البرلي والبصما. وبالتالي دراسة إمكانية توسيع هذه التقنية التي تعتمد الطاقة البديلة والمتجددة كمصدر للطاقة حتى تشمل باقي المحاصيل الزراعية، مما ينعكس إيجاباً

على جودة ونوعية المنتج المجفف ضمنها، وتحسين المردودية الاقتصادية للمنتج من خلال إنقاص التكاليف، وكذلك التقليل من تلوث البيئة.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث على دراسة تجريبية لتجفيف التبغ ضمن مجفف شمسي - بيت بلاستيكي الشكل (3)، الذي يتكون من لاقط شمسي-هوائي، وغرفة لتجفيف، ووحدة تخزين حراري، تتواجد هذه المكونات ضمن بناء واحد كشكل جديد من نماذج المجففات الشمسية-بيوت بلاستيكية. تتم دورة الهواء الساخن ضمن المجفف وفق نظام الحمل القسري الذي يعتمد على مراوح نابذية ومداخل لدخول وخروج الهواء، وقد تم استخدام أجهزة القياس الصنع المتوفرة في السوق المحلية، وكذلك تمت الاستعانة بجهاز قياس فرنسي الصنع و من نوع Metrix ، حيث يتألف من حساس لقياس الرطوبة النسبية نوع CXH100 بدقة ± 1.5 ، وحساس لقياس درجة حرارة الهواء نوع CXT100 بدقة ± 0.5 ، وحساس لقياس سرعة الهواء نوع CXM100 بدقة ± 0.1 ، وذلك لقياس الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة وسرعة الهواء ضمن المجفف الشمسي المدروس. كما يعتمد البحث على استخدام برنامج تصميمي بلغة الماتلاب (MATLAB) من أجل تصميم المجفف الشمسي ضمن الظروف المناخية للساحل السوري وشروط تجفيف المحصولين المدروسين البرلي والبصما[5].

يتميز بناء (المجفف الشمسي-بيت بلاستيكي) بتوضع كل من اللاقط الشمسي، وحجرة التجفيف، ووحدة التخزين الحراري وكذلك منظومة دفع و تبديل الهواء ضمن بناء واحد، كما هو مبين بالشكل (4)، وله المواصفات التالية:
أ- البناء المعماري بأبعاده $m(3 \times 3 \times 8)$ مصنوع من البلوك، والأرضية إسمنتية، والأعمدة خرسانية حاملة للبناء ذو السطح المائل.

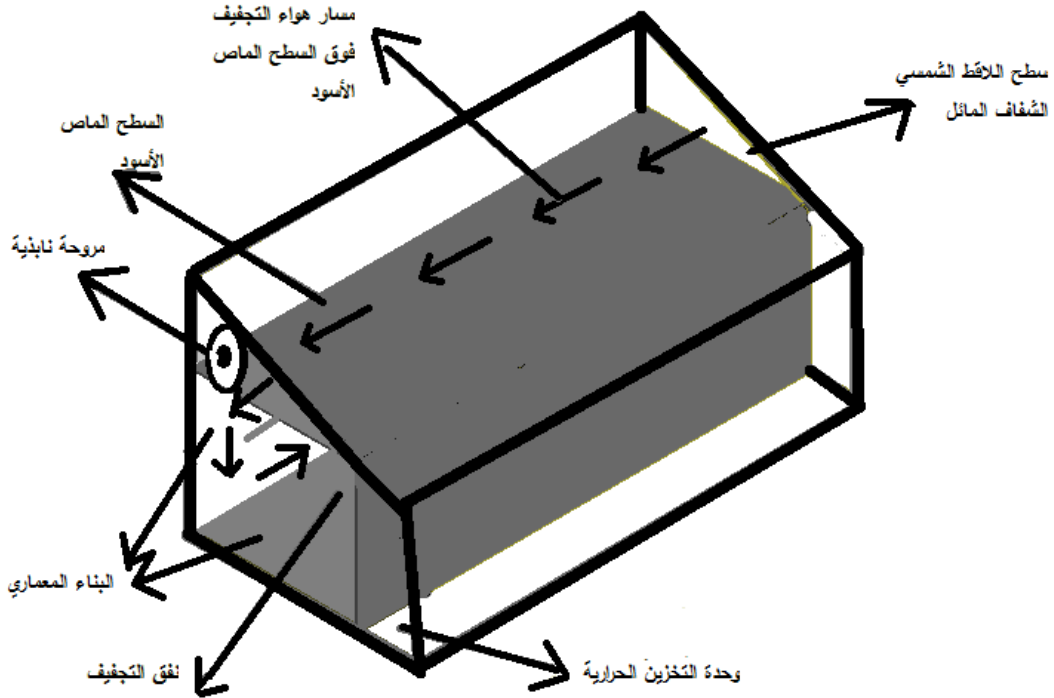
ب- اللاقط الشمسي : ويتألف من:

- 1- السقف المائل للمجففة: ويمثل الغطاء الشفاف وهو مصنوع من ألواح زجاجية عادية، محمول على عوارض معدنية بغرض التثبيت، وميل السقف الزجاجي محدد بزواوية 25° عن خط الأفق باتجاه الجنوب[5].
- 2- السطح الماص الأسود يشكل سقف و نصف الجانب الجنوبي لحجرة التجفيف، وهو على شكل نفق عرضه 2 m وارتفاعه 2 m وطوله 7 m ، مصنوع من الصاج الأسود. يقوم بامتصاص الإشعاع الشمسي وتحويله إلى حرارة وفقاً لقوانين فيزياء الإشعاع، حيث يتم التجفيف عن طريق عنصرين أساسيين هما رفع درجة الحرارة وسحب الرطوبة من المنتج الزراعي (التبغ السوري). يتم تدوير الهواء بواسطة مروحة نابذية مركبة فوق السطح الماص الأسود الأفقي حتى يتلامس تيار الهواء مع الصاج المعدني، فيسحب الحرارة، ويدخل من الجهة المقابلة إلى نفق التجفيف فيقوم بعملية التجفيف للمنتج الزراعي المعلق ضمن النفق.

ج- وحدة التخزين الحراري: وتتكون من عشرة براميل معدنية سوداء مملوءة بالماء بسعة إجمالية 2200 لتر، تقوم بامتصاص الأشعة الشمسية النافذة من السقف الزجاجي المائل وتخزينها في الماء حتى تتم الاستفادة منها من أجل إكمال دورة التجفيف.



الشكل (3) المجفف الشمسي-بيت بلاستيكي في جبلة الواقعة على الساحل السوري لتجفيف التبغ.



الشكل (4) رسم تخطيطي يبين أجزاء المجفف الشمسي-بيت بلاستيكي.

النموذج الرياضي:

التوازن الكتلي والحراري:

اعتمدت الفرضيات في تطوير النموذج الرياضي للمجفف الشمسي- بيت بلاستيكي على أن تدفق الهواء ذو درجة حرارة و محتوى رطوبة نسبية ثابتة خلال عملية التجفيف، ولا يوجد تبخر رطوبة الهواء ضمن المجفف، وأن

حسابات التجفيف تعتمد على نموذج المجفف ذي الفرشة العميقة [6], وأن الحرارة النوعية للهواء وللسطح الشفاف وللمنتجات ثابتة.

1- التوازن الحراري للغطاء الشفاف:

لقد تم التعبير عن معادلة التوازن الحراري للغطاء الشفاف بالصيغة التالية: كمية الحرارة المتجمعة في الغطاء = معدل انتقال الحرارة بين الهواء داخل المجفف و الغطاء بالحمل + معدل انتقال الحرارة بين السماء والغطاء بالإشعاع + معدل انتقال الحرارة بين الغطاء والهواء الخارجي بالحمل + معدل انتقال الحرارة بين المنتج والغطاء بالإشعاع + كمية الإشعاع الشمسي الممتص بواسطة الغطاء.

$$m_c c_{pc} dT_c/dt = A_c h_{c,c-a}(T_a - T_c) + A_c h_{r,c-s}(T_s - T_c) + A_c h_w(T_{am} - T_c) + A_p h_{r,p-c}(T_p - T_c) + A_c \alpha_c I_t \quad (1)$$

حيث؛

m_c : كتلة الغطاء (kg), c_{pc} : السعة الحرارية النوعية لمادة الغطاء (J/kg.K), T_c : درجة حرارة الغطاء (K), t : الزمن (sec), A_c : مساحة الغطاء (m^2), $h_{c,c-a}$: معامل انتقال الحرارة بالحمل بين الغطاء وهواء التجفيف ($W/m^2.K$), T_a : درجة حرارة الهواء داخل المجفف (K), $h_{r,c-s}$: معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الغطاء الشفاف والسماء ($W/m^2.K$), T_s : درجة حرارة السماء (K), h_w : معامل انتقال الحرارة بين الغطاء والوسط المحيط ($W/m^2.K$), T_{am} : درجة حرارة الهواء المحيط (K), A_p : مساحة المنتج (m^2), $h_{r,p-c}$: معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين المنتج والغطاء ($W/m^2.K$), T_p : درجة حرارة المنتج (K), α_c : امتصاصية مادة الغطاء, I_t : الإشعاع الشمسي الساقط على سطح غطاء اللاقط الشمسي (W/m^2).

2- التوازن الحراري للهواء داخل المجفف:

تعبّر معادلة التوازن الحراري داخل المجفف عن: معدل الطاقة الحرارية المخزنة ضمن الهواء داخل المجفف = معدل انتقال الحرارة بالحمل بين المنتج وهواء التجفيف + معدل انتقال الحرارة بالحمل بين الأرضية و الهواء داخل المجفف + معدل كسب الحرارة المحسوسة بين المنتج والهواء داخل المجفف + معدل الضياعات الحرارية من هواء التجفيف إلى الهواء المحيط + معدل الكسب الحراري من التدفق الداخل والخارج من المجفف + معدل الطاقة الشمسية الممتصة من قبل هواء التجفيف من الإشعاع الشمسي. فتكون معادلة التوازن الحراري:

$$m_a c_{pa} dT_a/dt = A_p h_{c,p-a}(T_p - T_a) + A_f h_{c,f-a}(T_f - T_a) + D_p A_p C_{pv} \rho_p (T_p - T_a) + (\rho_a V_{out} C_{pa} T_{out} - \rho_a V_{in} C_{pa} T_{in}) + U_c A_c (T_{am} - T_a) + [(1 - F_p)(1 - \alpha_f) + (1 - \alpha_p) F_p] A_c \tau_c I_t \quad (2)$$

حيث؛

m_a : كتلة الهواء ضمن المجفف (kg), c_{pa} : السعة الحرارية النوعية للهواء (J/kg.K), $h_{c,p-a}$: معامل انتقال الحرارة بالحمل بين المنتج و الهواء ($W/m^2.K$), A_f : مساحة الأرضية الإسمنتية (m^2), $h_{c,f-a}$: معامل انتقال الحرارة بالحمل بين الجدار الاسمطي و الهواء ($W/m^2.K$), T_f : درجة حرارة الأرضية الإسمنتية (K), D_p : سماكة الورقة (m), C_{pv} : السعة الحرارية النوعية لبخار الماء (J/kg.K), ρ_p : كثافة المنتج (kg/m^3), M_p : محتوى الرطوبة للمنتج المجفف (منسوب للكتلة الجافة), ρ_a : كثافة الهواء (kg/m^3), V_{out} : معدل تدفق الهواء الخارج من المجفف (m^3/sec), T_{out} : درجة حرارة الهواء الخارج من المجفف (K), V_{in} : معدل تدفق الهواء الداخل إلى المجفف

T_{in} , (m^3/sec): درجة حرارة الهواء الداخل إلى المجفف (K), U_c : معامل الضياع الحراري الكلي من الغطاء إلى هواء الوسط المحيط ($W/m^2 K$), F_p : معامل انكسار الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المنتج (decimal), α_f : امتصاصية الأرضية الاسمنتية, α_p : امتصاصية المنتج, τ_c : شفافية مادة الغطاء الشفاف.

3- التوازن الحراري للمنتج المجفف:

إن معدل الحرارة المتجمعة في المنتج = معدل الحرارة المنتقلة من هواء التجفيف إلى المنتج بالحمل + معدل الطاقة الحرارية المتبادلة بين المنتج والسطح الشفاف بالإشعاع + معدل الضياع الحراري من المنتج كحرارة كامنة + معدل الطاقة الحرارية الممتصة من قبل المنتج.

فتكون المعادلة كالتالي:

$$m_p(C_{pp}+C_{pl}M_p)dT_p/dt=A_p h_{c,p-a}(T_a-T_p)+A_p h_{r,p-c}(T_c-T_p)+D_p \times A_p \rho_p L_p \times x dM_p/dt+F_p \alpha_p I_t \times A_c \tau_c \quad (3)$$

حيث؛

m_p : كتلة المنتج (kg), C_{pp} : السعة الحرارية النوعية للمنتج ($J/kg K$), C_{pl} : السعة الحرارية النوعية للسائل
 L_p : الحرارة الكامنة لتبخير رطوبة المنتج (J/kg).

4- التوازن الحراري للجدار الإسمنتي:

تساوي كمية الحرارة المتجمعة في الجدار إلى معدل انتقال الحرارة بالحمل بين هواء التجفيف والجدار + معدل انتقال الحرارة بالتوصيل بين الجدار والأرض الطبيعية + معدل امتصاص الطاقة الشمسية التي يمتصها الجدار. فتكون المعادلة التالية:

$$m_f c_{pf} dT_f/dt = A_f h_{c,f-a}(T_a - T_f) + A_f h_{D,f-g}(T_g - T_f) + (1 - F_p) A_f \alpha_f I_t \tau_c \quad (4)$$

m_f : كتلة الجدار الإسمنتي (kg), c_{pf} : السعة الحرارية النوعية للجدار الإسمنتي ($J/kg K$), T_f : درجة حرارة الجدار (K), A_f : مساحة الجدار (m^2), $h_{D,f-g}$: الايصالية الحرارية بين الأرضية الإسمنتية والأرض الطبيعية ($W/m^2 K$), T_g : درجة حرارة الأرض الطبيعية (K).

5- معادلة التوازن الكتلي:

يمكن التعبير عن معدل الرطوبة المتجمعة في هواء التجفيف داخل المجفف من خلال معدل الرطوبة الداخلة إلى المجفف مع الهواء المحيط الداخل - معدل الرطوبة المزالة من المجفف مع الهواء الخارج من المجفف + معدل الرطوبة المزالة من المنتج داخل المجفف. وبالتالي نحصل على:

$$\rho_a V dH/dt = A_{in} \rho_a H_{in} v_{in} - A_{out} \rho_a H_{out} v_{out} + D_p A_p \rho_p dM_p/dt \quad (5)$$

V : حجم حجرة التجفيف (m^3), H : الرطوبة النسبية للهواء داخل المجفف (kg/kg), A_{in} : مساحة المقطع العرضي للهواء الداخل إلى المجفف (m^2), H_{in} : الرطوبة النسبية للهواء الداخل إلى المجفف (kg/kg), v_{in} : سرعة الهواء الداخل (m/sec), A_{out} : مساحة المقطع العرضي للهواء الخارج من المجفف (m^2), H_{out} : الرطوبة النسبية للهواء الخارج من المجفف (kg/kg), v_{out} : سرعة الهواء الخارج من المجفف (m/sec).

6-معاملات انتقال الحرارة:

يتم حساب معامل انتقال الحرارة بالإشعاع من السطح الشفاف إلى السماء ($h_{r,c-s}$) بالاعتماد على طريقة بيكمان

و ودوفي [7]:

$$h_{r,c-s} = \epsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2) + (T_c + T_s) \quad (6)$$

ϵ_c : اصدارية مادة الغطاء, σ : ثابت ستيفان بولتزمان (W/m^2K^4).

و حساب معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين المنتج والسطح الشفاف ($h_{r,p-c}$) [7]:

$$h_{r,p-c} = \epsilon_p \sigma (T_p^2 + T_c^2) (T_p + T_c) \quad (7)$$

ϵ_p : اصدارية المنتج.

وحساب درجة حرارة السماء (T_s) من خلال درجة حرارة الهواء المحيط (T_{am}) [7]:

$$T_s = 0.552 \cdot (T_{am})^{1.5} \quad (8)$$

حساب معامل انتقال الحرارة بالحمل (h_w) من السطح الشفاف إلى الهواء المحيط بحسب سرعة الرياح (V_w)

[8]:

$$h_w = 2.8 + 3.0V_w \quad (9)$$

V_w : سرعة الرياح (m/sec).

حساب معامل انتقال الحرارة داخل مجفف شمسي - بيت بلاستيكي لكل من السطح الشفاف ($h_{c,c-a}$) أو المنتج

المجفف ($h_{c,p-a}$) أو الجدار الاسمنتي ($h_{c,f-a}$) بالعلاقة التالية:

$$h_{c,f-a} = h_{c,p-a} = h_{c,c-a} = \frac{Nu \cdot k_a}{D_h} \quad (10)$$

حيث: Nu رقم نوسل, و K_a الايصالية الحرارية للهواء, و D_h البعد الهيدروليكي المميز.

$$D_h = 4WD/2(W+D) \quad (11)$$

W - عرض المجفف و D المسافة الوسطية بين الأرضية و السطح الشفاف.

يتم حساب عدد نوسل Nu من علاقة التشابه التالية [9]:

$$Nu = 0.0158 Re^{0.8} \quad (12)$$

حيث يمكن حساب عدد رينولدز Re كما يلي:

$$Re = \frac{D_h \cdot V_a \cdot \rho_a}{\nu} \quad (13)$$

V_a - سرعة الهواء ضمن المجفف (m/sec).

ρ_a - كثافة الهواء (kg/m^3).

ν - اللزوجة الديناميكية للهواء (m^2/sec).

حساب معامل الايصالية الحرارية بين الأرضية و الأرض الطبيعية ($h_{D,f-g}$):

$$h_{D,f-g} = K_f / \delta_f \quad (14)$$

حيث K_f معامل الايصالية الحرارية للأرضية الاسمنتية ($W/m.K$), و δ_f سماكة الأرضية الاسمنتية (m). يمكن حساب معامل الضياع الحراري الكلي من السطح الشفاف (U_c) بالعلاقة التالية:

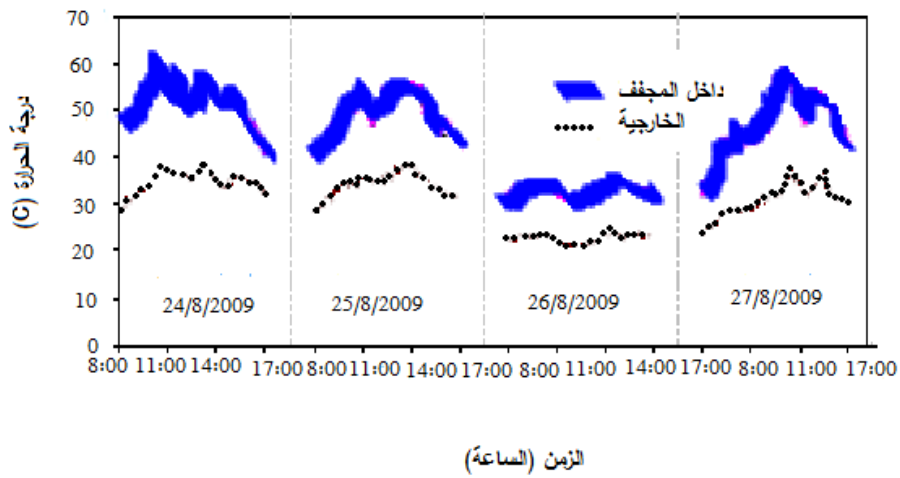
$$U_c = K_c / \delta_c \quad (15)$$

حيث إن: K_c - الايصالية الحرارية للغطاء الشفاف, δ_c سماكة السطح الشفاف.

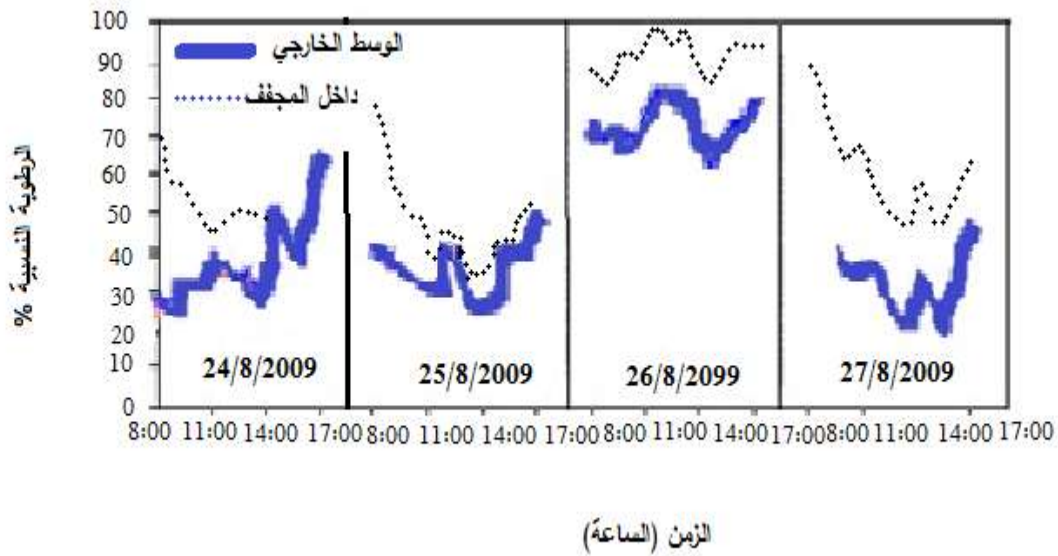
تم حل المعادلات الممثلة للنموذج الرياضي المدروس لنظام التجفيف ضمن المجفف الشمسي- بيت بلاستيكي والمعطاة بالعلاقات (1),(2),(3),(4),(5) بطريقة العناصر المنتهية, بالأخذ بعين الاعتبار أنه تم حساب بارامترات التجفيف (درجة حرارة هواء التجفيف والرطوبة النسبية للهواء داخل المجفف الشمسي المدروس) حيث تمت كتابة العلاقات (1),(2),(3),(4) على شكل مصفوفة وذلك من أجل الفترة الزمنية Δt . وتتألف المصفوفة من صف العلاقات المتضمنة للرطوبة النسبية من أجل الفترة الزمنية Δt . وتم حل هذه العلاقة بواسطة طريقة غوص-جوردان العددية باستخدام قيم درجة الحرارة والرطوبة النسبية لهواء التجفيف التي تم تسجيلها. وأعيد تكرار هذه العملية حتى نهاية زمن التجفيف, ولقد تمت برمجة الحل الرقمي بواسطة برنامج الفيوجل الفورتران (visual fortran).

النتائج والمناقشة:

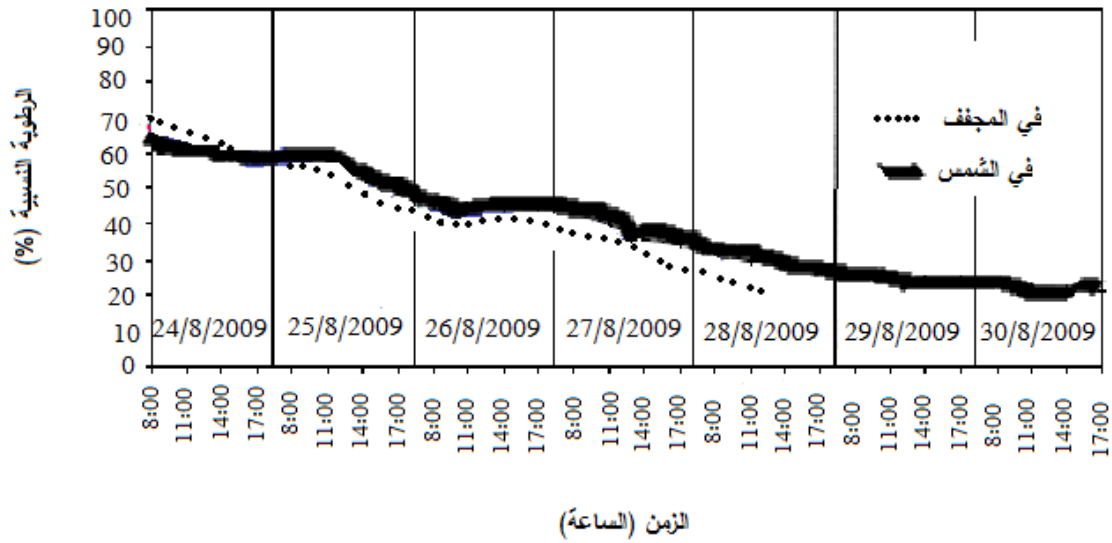
لقد تم إجراء تجارب تجفيف عينات تبغ البرلي والبصما في المجفف الشمسي-بيت بلاستيكي في مركز أبحاث تبغ الرميطة في سوريا في أشهر تموز وآب و أيلول في عام 2009. يبين الشكل (5) تغيرات درجة حرارة الوسط المحيط ودرجة حرارة داخل المجفف -بيت بلاستيكي خلال تجفيف تبغ البرلي, حيث نلاحظ ارتفاع درجة الحرارة داخل المجفف بالمقارنة مع درجة الحرارة خارج المجفف, كما تم الحصول على نفس النتائج عند تجفيف تبغ البصما, كما يبين الشكل (6) تغييرات الرطوبة النسبية الخارجية والرطوبة النسبية الداخلية للمجفف الشمسي-بيت بلاستيكي خلال تجفيف تبغ البرلي, حيث يلاحظ أن الرطوبة النسبية داخل المجفف الشمسي-بيت بلاستيكي أقل من الرطوبة النسبية للوسط المحيط بالمجفف, وأيضا حصلنا على نفس النتائج بالنسبة لتبغ البصما. بينما يبين الشكلين (7-a) و (7-b) تغيرات الرطوبة النسبية لكل من تبغ البرلي والبصما داخل المجفف الشمسي-بيت بلاستيكي بالمقارنة مع تجفيفهما بواسطة أشعة الشمس مباشرة, حيث نلاحظ انخفاض الرطوبة بسرعة أكبر داخل المجفف وبفترة تجفيف أقل عنها عند التجفيف في الشمس المباشرة, حيث تجفف عينات تبغ البرلي في أشعة الشمس المباشرة خلال سبعة أيام و في المجفف الشمسي تجفف خلال خمسة أيام, أما عينات تبغ البصما فيتم تجفيفها في أشعة الشمس المباشرة خلال خمسة أيام و في المجفف الشمسي تحتاج إلى أقل من ثلاثة أيام ليتم تجفيفه, أي تتخفف المدة اللازمة لتجفيف تبغ البرلي والبصما في المجفف الشمسي بنسبة 25% عن المدة اللازمة لتجفيفهما في أشعة الشمس المباشرة. كما لوحظ أن لعينات تبغ البرلي والبصما مواصفات تجارية جيدة من لون بني للبرلي وأصفر ذهبي للبصما نظرا لكونهما ضمن المجفف الشمسي-بيت بلاستيكي محميان من العوامل الجوية الخارجية, والغبار, والبكتريا, وغيرها من العوامل التي يمكن أن تؤثر على نوعية التبغ. وبالإضافة إلى تحقق الشروط اللازمة للتجفيف من درجة حرارة ورطوبة داخل المجفف و الوصول الى الرطوبة النسبية النهائية المثلى لتبغ البرلي والبصما وهي 14% [10].



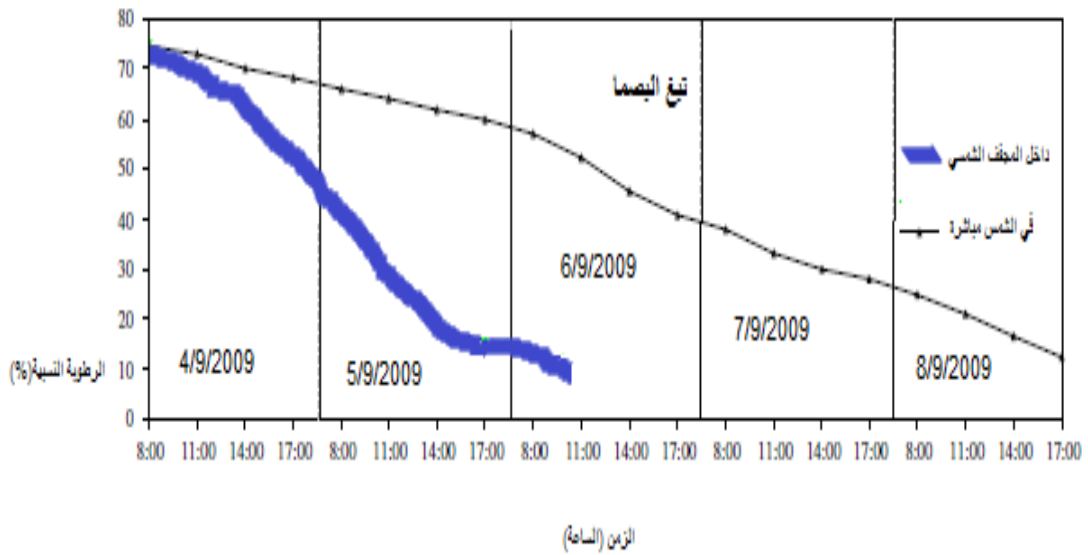
الشكل (5) تغير درجة الحرارة للوسط المحيط ودرجة الحرارة داخل المجفف الشمسي خلال تجفيف تبغ البرلي.



الشكل (6) تغيرات الرطوبة النسبية الخارجية والرطوبة الداخلية للمجفف الشمسي-بيت بلاستيكي خلال يوم تجفيف تبغ البرلي.



الشكل(7-ا)مقارنة تغير الرطوبة النسبية لعينات تبغ البرلي داخل المجفف الشمسي مع التجفيف في الشمس مباشرة.

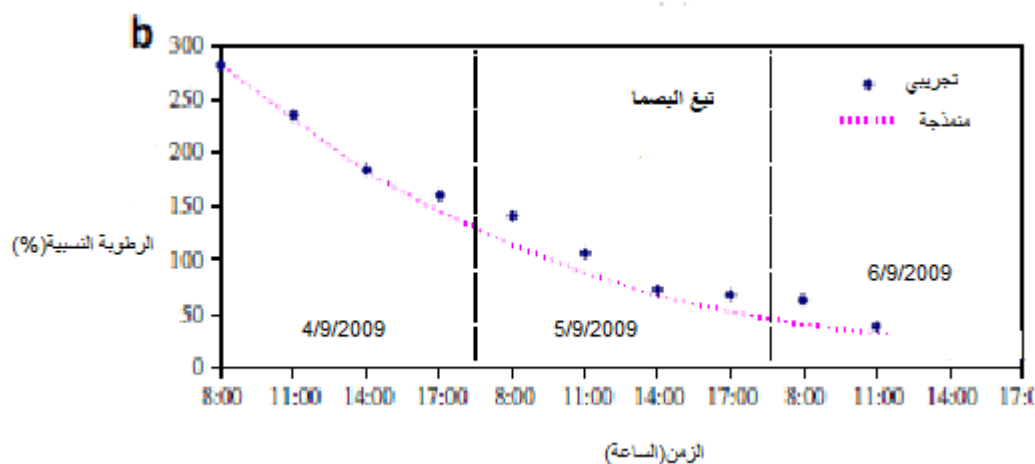
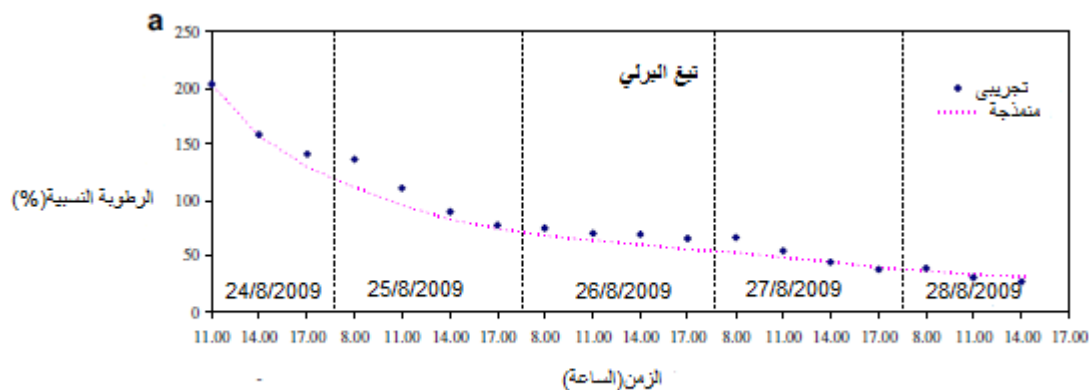


الشكل(7-ب)مقارنة تغير الرطوبة النسبية لعينات تبغ البصما داخل المجفف الشمسي مع التجفيف في الشمس مباشرة.

من أجل تقييم أداء المجفف الشمسي بيت بلاستيكي قمنا بمقارنة قيم محتوى الرطوبة لعينات التبغ التي تم الحصول عليها من نمذجة عملية التجفيف مع القيم التجريبية. يبين الشكل (8) المقارنة بين نتائج النمذجة و القيم المقاسة لمحتوى الرطوبة لعينات تبغ البرلي والبصما في وسط المجفف الشمسي.

من الملاحظ أن عينات تبغ البصما تجف بشكل أسرع من عينات تبغ البرلي وذلك بسبب الاختلاف في شكل وحجم ومحتوى رطوبة أوراق تبغ البصما عن البرلي. وإن قيم الجذر التربيعي لوسطي الاختلافات بين القيم المقاسة والنمذجة لتبغ البرلي، وتبغ البصما هي على الترتيب 11.6، 12.5%. لقد تم استخدام نموذج الفرشة العميقة [6] مع

الأخذ بعين الاعتبار الاختلاف بين تبغ البرلي والبصما, كما أن الأخطاء عند إجراء تجارب التجفيف على عينات تبغ البرلي والبصما جاءت ضمن الحدود المسموح بها وهي $0.1 \pm [11]$.



الشكل (8) مقارنة بين نتائج النمذجة والنتائج التجريبية لمحتوى الرطوبة خلال تجفيف (a) تبغ البرلي, (b) تبغ البصما.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- يلاحظ من الشكلين (a-7) و (b-7) أن المدة الزمنية اللازمة من أجل تجفيف محصولي تبغ (البرلي, البصما) داخل نموذج (مجفف شمسي-بيت بلاستيكي) تكون منخفضة مقارنة بتجفيفهما بواسطة المناشر الشمسية بنسبة 25%.
- 2- لوحظ أن المنتجات المجففة ضمن نموذج (مجفف شمسي-بيت بلاستيكي) ذات مواصفات نوعية تجارية جيدة من شكل ولون ورائحة, والتالي مردودية اقتصادية جيدة على الفلاح والاقتصاد الوطني.
- 3- تم تطوير نموذج رياضي لمجفف شمسي وذلك اعتمادا على المعادلات التفاضلية الجزئية الرياضية لانتقال الحرارة والرطوبة خلال تجفيف تبغ البرلي والبصما وذلك بغية دراسة أداء المجفف الشمسي خلال تجفيف هذين المحصولين.

- 4- يوجد تقارب مقبول بين القيم التجريبية المقاسة والقيم الناتجة عن النمذجة خلال تجفيف تبغ البرلي والبصما بنسب على الترتيب (11.6, 12.5%)، حيث من الممكن استخدام هذا النموذج كقاعدة بيانات لتصميم مجفف شمسي- بيت بلاستيكي في أي موقع آخر من بلادنا.
- 5- لابد من تطوير نموذج رياضي لأنظمة التجفيف ضمن المجففات الشمسية-بيوت بلاستيكية لأنواع مختلفة من المنتجات الزراعية في بلادنا.
- 6- لابد من التوسع في دراسة هذه النماذج التجريبية للمجففات الشمسية والعمل على انتشارها بشكل واسع بين الفلاحين لما لها من مردودية اقتصادية جيدة من خلال خفض كلفة الاستثمار لتصبح تقريبا معدومة في ظروف بلادنا المناخية خلال فصل الصيف والنوعية الجيدة للمنتجات المجففة ضمنها، وكذلك تخفيف تلوث البيئة

المراجع :

- [1]. العياش، سعود. *تكنولوجيا الطاقات البديلة*. سلسلة عالم المعرفة، الكويت، 1981، 24.
- [2]. CONDORI, M; ECHAZ, R; SARAVIA, L. *Solar Drying of Sweet Pepper and Garlic Using The Tunnel Greenhouse Drier*. Renewable Energy, 2001, 22:447e60.
- [3]. SETHI, VP; ARORA, S. *Improvement In Greenhouse Solar Drying Using Inclined North Wall Reflection*. Solar Energy, 2009,83:1472e84.
- [4]. BARNWAL, P; TIWARI, GN. *Grape Drying Using Hybrid Photovoltaic-Thermal Greenhouse Dryer: An Experimental Study*. Solar Energy, 2008, 82:1131e44.
- [5]- د.غدير، نبيل. د. رقية، نزيه.م. الوزنة، يسرى تحسين أداء التجفيف الشمسي للمنتجات الزراعية (التبغ السوري)، أطروحة ماجستير، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا، 2006.
- [6]- د . السيد ، مصطفى محمد . د .فتحي، قدرى أحمد . د . مجاهد ، ابراهيم السيد. *النماذج الحسابية للنظم الحرارية الشمسية*. مركز النشر العلمي في جامعة الملك عبد العزيز، جدة ، المملكة العربية السعودية، 2000 ، 757.
- [7]. DIFFI, JA; BECKMAN, WA. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York, John Wiley & Sons, 1991.
- [8]. WATMUFF, JH; CHARRTERS, WWS; PROCTOR, D. *Solar And Wind Induced External Coefficients For Solar Collectors*. Complex, New York, 1977, 2:56.
- [9]. KAYS, WM; CRAWFORD, ME. *Convective Heat And Mass Transfer*. New York, McGraw Hill, 1980.
- [10]- م.بنشي، محمد. م. شطيحي، باسل، *دراسات و نشرات حول أصناف التبغ الموجودة في الساحل السوري وكيفية تجفيفها*، مركز دراسات جب حسن للبحوث الزراعية، اللاذقية، سوريا 2001، صفحة 80.
- [11]. SMITABHINDU, R; JANJAI, S; CHANKONG, V. *Solar-Assisted Drying Optimization of A System For Drying Bananas*. Renewable Energy, 2008, 33:1523e31.