مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (28) العدد (1) 2006
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Science Series Vol. (28) No (1) 2006

تحسين أداء المجفف الحراري لتبغ الفرجينيا بالطاقة الشمسية نظرياً وتطبيقياً

الدكتور نبيل غدير *
الدكتور نزيه رقية **
يسرى يوسف الوزة***

(قبل للنشر في 2006/7/31)

□ الملخّص □

تمت دراسة أنموذج المجفف الشمسي الموجود في مركز أبحاث التبغ في جب حسن– مدينة اللاذقية، وذلك في شهر آب من عام 2004، الذي يعتمد في عمله على الهواء الساخن المرسل من الخزان الصخري عبر مجاري هوائية إلى داخل المجفف، بالإضافة إلى مصدر طاقة كهربائية مساعد في التسخين، ومع ذلك لم يعمل بالفعالية المطلوبة لذا تم اختياره لإجراء التعديلات التي يمكن بها تحسين الأداء الحراري للمجفف ورفع مردوده، حيث تم استبدال منظومة المجاري الهوائية المعتمدة بنظام تدوير الهواء الساخن عن طريق الحمل القسري باستخدام المراوح لتوزيع متجانس للهواء الساخن، لتحقيق تجفيف متجانس لمحصول تبغ الفرجينيا الأمريكي، والحصول على مردود حراري جيد وهو 63.6% لعملية التجفيف وتوفير في كمية الوقود بنسبة 40%، وتم استخدام برنامج للحاسوب لحساب متغيرات نظام التجفيف الحرارية.

الكلمات المفتاحية: تجفيف التبغ ، المجففات الشمسية ، الهندسة الحرارية .

* أستاذ مساعد في قسم هندسة القوى الميكانيكية بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين _ اللاذقية _ سوريا.
** أستاذ في قسم المحاصيل الزراعية بكلية الهندسة الزراعية بجامعة تشرين _اللاذقية _ سوريا.
*** طالبة دراسات عليا (لنيل درجة الماجستير) في قسم هندسة القوى الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين _اللاذقية _ سوريا.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (28) العدد (1) 2006
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Science Series Vol. (28) No (1) 2006

Theoretical and Practical Performance of the Solar Dryer of the Virginia Tobacco

Dr. Nabil Gadeer*
Dr. Nzih Rekia**
Yousra Youssef Alwazh ***

(Accepted 31/7/2006)

□ ABSTRACT □

This paper studies of solar dryer design in the research tobacco center in Geb Hasan, Lattakia, Syria, in August 2004. The dryer works with ducts system for sending hot air from the rocky storage tank into the drying chamber with electrical energy source. The performance of this design of dryer was not good enough. So many things had been done to improve the performance, replacing the ducts system with force convection recirculation of hot air system that uses fans. As a result the heat efficiency of drying decreases to 63.6%, and the amount of using a fuel is reduced to 40% less, and a computer program is devised to calculate the parameters.

Key words: *solar dryer, drying of tobacco, green houses.*

* **Associate Professor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen university, Lattakia, Syria.**
** **Professor, Department of Agricultural Crops, of the Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
*** **Postgraduate Student Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen university, Lattakia, Syria.**

مقدمة عن التجفيف الشمسي:

التجفيف الذي يعمل على حفظ وإطالة عمر المنتجات الزراعية، هو الطريقة الوحيدة لتخفيض نسبة الرطوبة في المنتجات الزراعية، والقضاء على العوامل المجهرية المسببة للعفن [1].

وهناك عدة طرق للتجفيف مثل التجفيف الطبيعي الذي يتطلب وقتاً طويلاً، يتعرض فيه المنتج للملوثات البيئية والظروف المناخية غير المتوقعة، وهناك أيضاً الطريقة التقليدية التي تستخدم الوقود الأمر الذي سيؤدي إلى استهلاك كمية كبيرة من الوقود وتلوث البيئة، وهناك الطريقة الأكثر اقتصادية، وهي التدوير القسري للهواء الساخن في المجمع الشمسي الذي يقوم بزيادة معدل التجفيف ودرجة حرارة هواء أعلى ومعدلات تدوير أعلى [1]، والحمل الحراري للتجفيف يعتمد على نوع المنتج المجفف فالفواكه والخضار تتطلب درجة حرارة من [50-70 c°] ونسبة تدفق عالية للهواء حوالى 1[m^3/sec] بينما تجفيف الحنطة والحبوب يتطلب درجة حرارة هواء أقل ومعدل تدفق أقل ، أما تجفيف التبغ فيتطلب درجة حرارة عالية تتراوح من[60-80 c°] ومعدل تدفق الهواء عالٍ بحدود 1[m^3/sec]، علما أن معظم المنتجات الزراعية تحصد وتجفف في فصل الصيف حيث يكون معدل الإشعاع الشمسي عالياً [1] .

وتوجد دراسات نظرية وتجريبية متعددة لتجفيف المنتجات الزراعية أجريت من قبل باحثين نظريين وتجريبيين ويمكن أن تصنف هذه الدراسات بحسب مجال درجات الحرارة المطلوبة للتجفيف ونوعية المنتجات الزراعية المجففة[ ] .2

فالباحثين كليتشييف وازمانزوف والدشيفا(2001) ،عملوا على دراسة معدلات تدفق الهواء بالفترة الأولى من التجفيف [3]،وكيم وخيريدينوف وخولييف (2000) قاموا بدراسة تجريبية لانتقال الحرارة والرطوبة إلى خارج مجفف شمسي للخضار يعمل بالحمل الحراري الحر [4] ، وكوميلوف وكاخروفوراسلوف ونازاروف (1992) درسوا النمذجة الرياضية لوحدات التجفيف بالطاقة الشمسية[5]،ونجح فيليبس(1965) في تجفيف الفواكه بمجمع شمسي هوائي [6]،وأنوروتيوري (2001) عملوا أيضاً على دراسة معاملات انتقال الكتلة والحرارة في نظام تجفيف القمع الشمسي ذي الأربع صواني [7]، وأماماريولس وسارافكوس (1986) فقد درسا المجمعات الشمسية المسطحة واستخدامها في التجفيف[8]، ودرس أرتيكوف وأومورزاكوف (1990) تأثير التجفيف على نوعية التبغ باستخدام نموذج المجفف الشمسي النفقي ذي الأبعاد(1-1.2-2) بالأمتار حيث أثبتت التجربة أن التجفيف في مجفف شمسي يسمح بالحصول على مادة تبغ بمواصفات نوعية أفضل من التجفيف في الهواء العادي حيث تنخفض مدة التجفيف الشمسي بمقدار 220 ساعة وزيادة المادة الجافة بمقدار 2.9% والأوراق صفراء أكثر وتحافظ على لونها وبالتالي جودة تجارية جيدة وتكون نسبة الكربوهيدرات أكثر وبروتينات أقل وتتحسن النوعية بمقدار18.3% وقد تمت هذه الدراسة المهمة في المعهد الزراعي في سمرقند [9].

ولمحصول التبغ بشكل عام هو محصول اقتصادي مهم ويلاقي رواجاً واهتماماً عالمياً واسعاً بدءاً من زراعته والشروط المناخية المناسبة له ومرورا بتحسين نوعيته وحتى القطاف وشروطه ومن ثم إلى العملية الأكثر أهمية ألا وهي التجفيف التي بناء عليها يتم تحديد مدى نجاح هذا المحصول وجودته ومطابقته لشروط مواصفات الأسواق العالمية وبعدها عمليات التصنيع لأوراق التبغ [10,11]، ولتجفيف كل صنف من أصناف التبوغ يوجد متغيرات تصميمية وحرارية مختلفة من درجة حرارة ورطوبة ومواصفات لونية ونوعية للورقة[10]،وتعتبر عملية تجفيف تبغ الفر جينيا دقيقة ومعقدة حيث يعتبر التحكم الدقيق بدرجة الحرارة والرطوبة وتدفق الهواء الساخن وتوزعه على مدى أيام التجفيف عاملاً حاسماً في تحديد نوعية الأوراق ومدى نجاحه كمنتج اقتصادي صناعي صالح للتصدير للأسواق العالمية [10,11].

أهمية البحث وأهدافه:

هناك اهتمام عالمي بتقنية التجفيف الشمسي للمنتجات الزراعية، خاصة في بلد زراعي مثل سوريا الذي يعتمد اقتصاده على الزراعة، لما له من المساهمة العظمى في عمليات التصنيع الغذائي، والصناعات المعتمدة في موادها الأولية على المنتجات الزراعية، مثل القطن والحبوب والتبغ وغيرها من المنتجات الزراعية.

و يهدف البحث المقدم إلى دراسة تقنية تجفيف التبغ المعتمد على الطاقة الشمسية كمصدر حراري مجاني ونظيف ودائم وزيادة فعاليته باعتبار أن لهذه العملية المهمة دوراً كبيراً في الصناعة الزراعية، والبحث في إمكانية تطويرها وتوسيع استخدامها على منتجات زراعية أخرى بشكل اقتصادي وبمردودية جيدة، يستعيض فيها الفلاح عن طرق التجفيف البدائية المعتمدة على مصادر الوقود التقليدية.

تمت دراسة تجريبية للنموذج المصمم للمجففات الشمسية لمحصول التبغ الأمريكي المسمى بالفرجينيا، الموجود في اللاذقية في منطقة جب حسن، والذي تم إنشاؤه عام 1979 ، وتم استثماره لمدة سنتين ، ثم توقف عمله لفترة طويلة ، حيث عانى هذا النموذج من مشاكل تقنية كبيرة، ومن مرد ودية قليلة أثناء استثماره.

فتم إجراء بعض التعديلات التصميمية عليه لزيادة فعاليته، والتقليل من مساهمة الوقود كمصدر حراري مساعد، عن طريق زيادة الفعالية الحرارية للواقط الشمسية، وذلك بجعل الحيز بين السطح الشفاف والسطح الأسود الماص هو مجرى الهواء الرئيس للهواء الذي يتم تسخينه بواسطة الإشعاع الشمسي المباشر وتدفعه المروحة إلى داخل المجفف قسرياً، واستخدام مواد بلاستيكية شفافة ذات نفوذية عالية للإشعاع الشمسي، وتحسين شروط التبادل الحراري بين الهواء الساخن وأوراق التبغ عن طريق تدفق وسرعة مدروسة للهواء الساخن بين أوراق التبغ.

طريقة البحث ومواده:

اعتمدت الدراسة على تجريب واختبار أنموذج المجفف الشمسي المصمم والموجود في مركز أبحاث جب حسن، في محافظة اللاذقية، في سوريا، وذلك خلال فترة شهر آب، من عام 2004، الشكل رقم (1-آ) ، عن طريق أخذ قراءات ميدانية للمتغيرات الحرارية لعملية التجفيف مثل درجات الحرارة ، والرطوبة ، وتدفق الهواء ، وزمن التجفيف ، و كميه الهواء الساخن اللازمة لإتمام عملية التجفيف .

و تم استخدام جهاز البسيكرومتر فرنسي الصنع، 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 ، حيث تم أخذ القراءات كل ساعة أثناء مراحل عملية التجفيف،ويبين الجدول المرفق رقم (1) في نهاية البحث قراءات درجات حرارة التجفيف [C°] ، والرطوبة النسبية المئوية[%] ، من أجل سرعات تدفق هواء ساخن تتراوح من (0.3-0.8) [m/sec] حسب مراحل التجفيف ، بينما يتم استخدام برنامج على الحاسوب لتحديد كمية الحرارة اللازمة للتجفيف[kW] ، وزمن التجفيف بالأيام ، ويبين الجدول المرفق رقم (2) في نهاية البحث القيم الشهرية الوسطية لشدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي في مدينة اللاذقية في سوريا [W/m^2] ،[12,13] .

وفيما يلي وصف لهذا النموذج، والتعديلات التي أجريت عليه، ومن ثم آلية العمل والتشغيل، والنتائج.

دراسة المجفف الشمسي في جب حسن:

المواصفات الفنية والحرارية للمجفف:

إن أبعاد المجفف هي:

العـرض:7.45م ، الطـول:11.80م، الارتفـاع الصـغير لغرفـة التخـزين:1.1م، الارتفـاع الوسـطي لغرفـة التخزين:4.5م، الارتفاع الكامل للمجففة:6م، طول غرفة التخزين:5.5م.

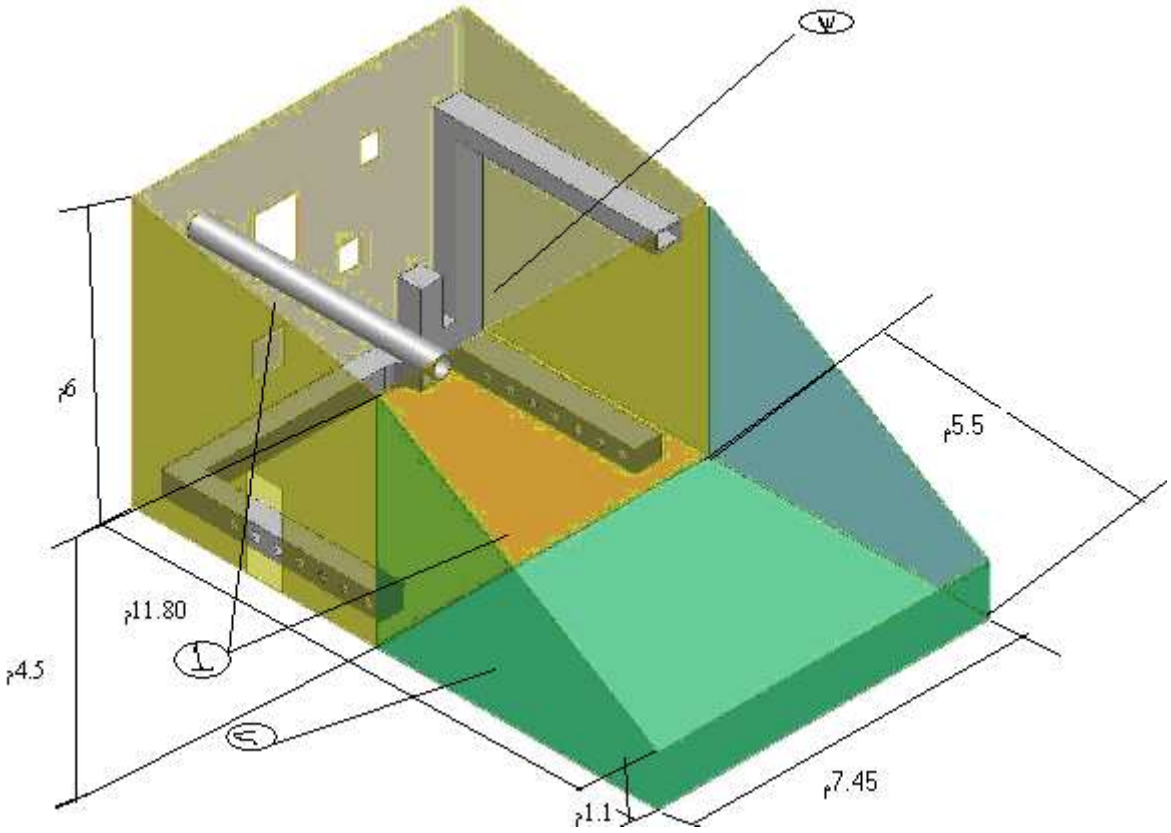
ويتكون المجفف الشمسي المدروس في مركز أبحاث التبغ في جب حسن في اللاذقية قبل وبعد التعديل، كما هو مبين بالشكلين (1-آ)، (1-ب) ، (1-ج)من الأقسام الآتية:

1- اللاقط الشمسي الهوائي: ويتألف من غطاء زجاجي وطبقة من أسلاك الألمنيوم الناعمة وطبقة من الدهان الأسود الذي يمثل السطح الماص للأشعة الشمسية وطبقة عازلة من السليكون بسماكة 2 مم ، وطبقة من الصفيح ويوجد فراغ جانبي لتمرير الهواء الساخن يبعد عن الجدار الخارجي مسافة 10 سم، ويميل بزوايا 15 و30 درجة عن الأفق.

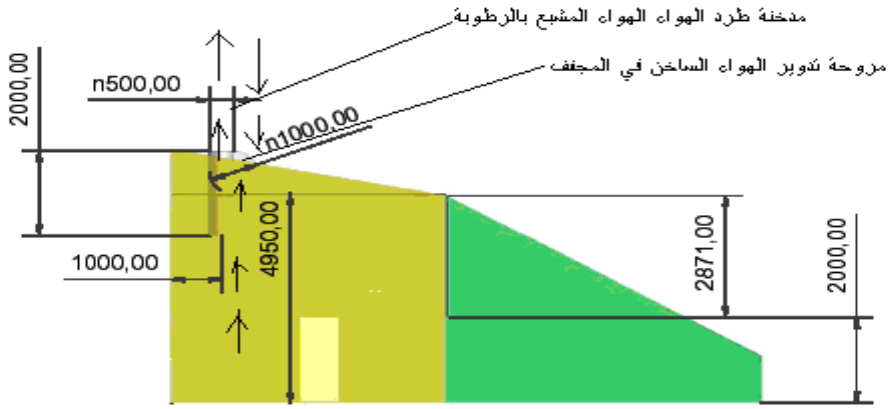
2- غرفة التخزين الحراري: ويوجد فيها الصخر على ارتفاع مترين لتخزين الهواء الساخن وتقع على بعد 5.5م من غرفة التجفيف ويشكل سطحها اللاقط الشمسي الذي يميل على الأفق بزاوية 30 درجة.

3- غرفة التجفيف : يتم فيها تجفيف التبغ أنموذج فرجينيا بأبعاد(6.3 ،7.45، 6 م) ، ويحتوي على منشر لأوراق التبغ مؤلف من أربعة مستويات من المناشير بتباعد 70 سم بين هذه المستويات، ويحتوي على أربعة مجارٍ أرضية فيها فتحات لتمرير الهواء الساخن، يدفع فيها الهواء عن طريق خمس مراوح للسحب والطرد ، وهناك في الأعلى ترموستات لقياس درجة الحرارة وفتحات التهوية ومجرى سقفي رئيس لسحب الهواء الساخن من المخزن الصخري ودفعه إلى المجاري الهوائية الأرضية ، ويميل السطح الذي هو عبارة عن لاقط شمسي عن الأفق بزاوية 15 درجة.

الشكل رقم (1-آ) منظر عام للمجفف الشمسي في جب حسن باللاذقية



الشكل (1–ب) أبعاد المجفف الشمسي وبنيته الإنشائية قبل التعديل في جب حسن في اللاذقية



الشكل رقم (1–ج) المجفف الشمسي بعد التعديل

البنية الإنشائية والتصميمية للمجفف الشمسي:

تتألف طبقات جدران المجفف من :

توريقة إسمنتية بسماكة 2سم، طبقة عازلة من الإسفنج بسماكة3سم، بلوك مفرغ بسماكة 20سم، توريقة إسمنتية بسماكة 2 سم من الداخل إلى الخارج، وسعة المجففة تتراوح بين **(1200-1500kg)** أوراق تبغ خضراء.

يعاني هذا المجفف بهذا التصميم من صعوبات عديدة أثناء التشغيل مما يؤدي إلى الحصول على نوعية سيئة لأوراق تبغ الفرجينيا ومنها:

عدم انتظام توزيع الهواء الساخن داخل المجفف بسبب استخدام المجاري الهوائية وعدم وجود نظام تحكمي دقيق للمتغيرات الحرارية والتصميمية لعملية التجفيف واعتماده في التشغيل على الحمل الحراري الطبيعي بدلاً من اعتماده على الحمل الحراري **القسري عن طريق** استخدام المراوح والحاجة الكبيرة لمصدر طاقة مساعد لرفع درجات الحرارة في بعض مراحل التجفيف بسبب عدم فعالية العزل الحراري [**2**]، ولذلك أجرينا بعض التعديلات التصميمية لزيادة فعالية ومردودية المجفف بإلغاء المجاري الهوائية السقفية والأرضية ، وقمنا بتركيب مروحة لسحب الهواء ضمن مجرى هواء والذي هو عبارة عن لوح أسود متوضع بشكل أفقي تحت السطح السقفي الشفاف وبعدها مدخنة لطرد الهواء المحمل بالرطوبة إلى الخارج وفق نسبة مزج معينة، حيث يتم وفق هذه النسبة تعديل درجات الحرارة والرطوبة للهواء المرسل إلى المجفف بحسب المتغيرات المطلوبة لكل مرحلة من مراحل التجفيف ، وتم تركيب بيسكرومتر ومقياس لتدفق الهواء إلى داخل المجفف واستبدال العازل الاسفنجي المشبع بالرطوبة بالبوليسترين، وكذلك تم توزيع الهواء بالحمل القسري داخل المجفف ، كما هو مبين بالشكل رقم (1-ج).

المتغيرات الحرارية لتجفيف التبغ:

المتغيرات الحرارية لتجفيف التبغ هي :

T_a: درجة حرارة الهواء الساخن المستخدم كوسيط حراري داخل المجفف وواحدته**[Cº]** .

T_d : درجة حرارة التبغ**[Cº]** .

Φ_a : الرطوبة النسبية للهواء الساخن داخل المجفف (وهي نسبة كمية بخار الماء إلى واحدة الكتلة من الهواء الجاف) ، ويؤخذ كنسبة مئوية [%].

Φ_d : الرطوبة النسبية لأوراق التبغ [%] .

$\dot{m}_a$: تدفق الهواء الساخن داخل المجفف وواحدته [m^3/sec] .

T_{out}: درجة حرارة الوسط الخارجي بحسب المنطقة التي يتواجد فيها المجفف [C °] .

Φout : الرطوبة النسبية للوسط الخارجي بحسب المنطقة التي يتواجد فيها المجفف [%]. I_{inclid} : كمية الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطوح اللواقط الشمسية المائلة ، وتتعلق بالموقع الجغرافي للمجفف ، ويؤخذ من جداول خاصة [12,13] ، وواحدته [kW/m^2].

Q_s: كمية الحرارة اللازمة لتجفيف أوراق التبغ،وتتغير بحسب مراحل التجفيف التي يمر فيها التبغ، وواحدتها[kW]

Q_{use} : كمية الحرارة التي يستفاد منها في عملية التجفيف بعد حساب الضياعات الحرارية ،وواحدتها [kW].

ع : المردود الحراري للمجفف وهو نسبة كمية الحرارة المستفاد منها إلى كمية الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على اللواقط الشمسية ، [%] .

آلية عمل المجفف الشمسي:

تقوم مروحة السحب ضمن المجرى بدفع الهواء بتدفق قدره ($1850[m^3/h]$) فبمروره ضمن المجرى يتلامس بشكل مباشر مع السطح الماص الساخن الخاص باللواقط الشمسية ، ويقوم بسحب الحرارة منها، أي يقوم بدور الوسيط الحراري لامتصاص الحرارة الشمسية وهو الوسيط الحراري نفسه للتجفيف حيث يمرر من خلال المادة المجففة بشكل منتظم ومتساوي في المقطع العرضي والطولي لأوراق التبغ المعلقة بشكل عمودي على المناشير ويمرر هنا الهواء بالقسم العلوي من المجفف (حيث المراوح) ، ثم حول المادة المجففة في القسم السفلي للتجفيف ليقوم بعملية التجفيف المطلوبة، وهكذا حتى يصبح الهواء مشبعاً بالرطوبة فيتم سحبه من الجهة الأخرى للمروحة ، ويتم طرد قسم منه إلى الخارج بواسطة مدخنة طرد (المجهزة بمعير هوائي لضبط الكمية، مما يؤدي إلى خفض الضغط في المجففة)، وبالتالي سيدخل هواء جديد بديل من مدخنة السحب للهواء المستخدم والمجهزة أيضا بمعير لضبط الهواء الجديد ليتم دفعه من جديد ليتلامس مباشرة مع السطح الماص مرة أخرى وهكذا حتى يتم تجفيف التبغ بالكامل ، أي إن المروحة تقوم بعملية تدوير الهواء الساخن ضمن المجفف.

ولكن هنا وفي حالة تجفيف الفر جينيا التي تتم وفق مراحل معينة متطلبة لرفع تدريجي لدرجات الحرارة وخفض تدريجي للرطوبة ضمن أوراق التبغ للحفاظ على مواصفات مطلوبة لأوراق التبغ، لهذا فانه يتم التحكم بتدفق الهواء وسرعته بواسطة المعيرات للمدخنتين والمروحة ، وأما درجات الحرارة والرطوبة داخل المجففة فيتم التحكم بها بواسطة نظام التحكم بسكر ومتري (حيث البسكرومتر هو جهاز يتألف من مقياسين لدرجات الحرارة، أحدهما لدرجة الحرارة الجافة والآخر لدرجة الحرارة الرطبة،و يتم أخذ القراءتين ومن ثم تظهر هاتين القراءتين كقيمة لدرجة الحرارة الجافة والرطوبة النسبية داخل المجفف على المخطط البسكرومتري في مختلف مراحل عملية التجفيف للتبغ)، وأما أثناء فترات الليل فيقوم الخزان الصخري بتزويد المجفف بالهواء الساخن ، حيث إنه يغطي 40% من حمل التجفيف المطلوب ،والباقي يتم تغطيته من مصدر حراري مساعد وهو الطاقة الكهربائية (وشيعة تسخين كهربائية للهواء أما مروحة تدوير الهواء الساخن ضمن مجرى الهواء) ، ومراحل تجفيف التبغ الفرجيني هي :

1. المرحلة الأولى:التصفير حيث يتم تحويل لون أوراق التبغ من الأخضر إلى الأصفر وتصل درجة الحرارة إلى(32 – 40) درجة مئوية، ورطوبة نسبية 75%.
2. المرحلة الثانية: يتم في هذه المرحلة تثبيت اللون حيث من أهم المواصفات لنوعية جيدة هي أن يكون لون الأوراق أصفراً ذهبياً وتصل درجة الحرارة فيها إلى60 درجة مئوية، ورطوبة نسبية 28%.
3. المرحلة الثالثة: تجفيف الضلع الرئيس (الوسطي) لأوراق التبغ حيث تتميز أوراق الفرجينيا بكبر حجمها وثخانة ضلعها الوسطي لهذا لابد من مرحلة أخرى لتجفيفه **مع الحفاظ على حيوية الورقة ، وتصل درجة الحرارة فيها إلى80 درجة مئوية ، ورطوبة نسبية 14%** ، [**10**, 11] .

الدراسة التحليلية والبرمجية للمجفف الشمسي:

تم إعداد برنامج للحاسوب بلغة الماتلاب، ويبين الشكل رقم (2) المخطط الصندوقي للبرنامج المذكور، الذي يقوم بحساب كمية الحرارة المفيدة في نموذج المجففة المدروسة، ونماذج أخرى تستخدم للطاقة الشمسية مقترحة، بحسب الموقع الجغرافي المتواجدة فيها، والمحصول الزراعي المراد تجفيفه، حيث إنه يمكن استثمار هذا البرنامج في تحديد فترة التجفيف **(N)** ، وكمية الحرارة المفيدة($\mathbf{Q_{use}}$) التي يمكن استخدامها من الطاقة الشمسية في عملية التجفيف، ولأي محصول زراعي مراد تجفيفه غير محصول التبغ، وباعتماد علاقات الموازنة الحرارية من المعادلة**(2)**، والكتلية من

المعادلة (1) الآتيتين، فيحدد كمية الهواء الساخن اللازمة للتجفيف وعدد أيام التجفيف، وذلك بحسب بنية المجفف المطلوبة (يمكن التحكم بالبنية الإنشائية للمجفف باختيار عدة أنواع من العوازل، والأسطح الشفافة، وسماكة الجدران الجانبية للمجفف)، علماً أن الشروط الابتدائية للدراسة الحرارية التي انطلقت منها الحسابات هي أحادية البعد **[1,2,14]** .

$$\dot{m}_a (W_{1a}-W_{2a}) = \dot{m}_s (W_{1s}-W_{2s}) \quad (1)$$

$$Q_{use}=I_{inclid}-Q_{glass}-Q_{loss}. \quad (2)$$

$$Q_{loss} = A_{loss} * U_{loss}* \Delta T. \quad (3)$$

$$Q_{glass}= A_{glass}* U_{glass}*\Delta T. \quad (4)$$

$$Q_{airchange}=0.3*n*V*\Delta T. \quad (5)$$

$$Q_s= G*h_{fg} \quad (6)$$

$$\mathbf{N}= Q_s/Q_{use} \quad (7)$$

حيث إن :

$\dot{m}_a$**:** تدفق الهواء الساخن اللازم لعملية التجفيف،داخل المجفف وواحدته[$\mathbf{m^3/sec}$] .

$\dot{m}_s$: كمية أوراق التبغ الخضراء الداخلة للمجففة ، وواحدتها **[kg]**.

W_{1a} : الرطوبة النسبية للهواء الداخل للمجففة من الوسط الخارجي ، **[%]** .

W_{2a} : الرطوبة النسبية للهواء الخارج من المجففة ،ويكون مشبع بالرطوبة ،**[%]** .

W_{1s}:الرطوبة النسبية للمادة الداخلة المراد تجفيفها ، وتختلف بحسب نوع المحصول الزراعي المراد تجفيفه **[%]** .

W_{2s}:الرطوبة النسبية النهائية للمادة المجففة ، وهي هنا أيضاً تختلف بحسب المحصول الزراعي المراد تجفيفه والمواصفات المطلوبة للمنتج المجفف النهائي ، **[%]**.

Q_{glass} : الضياعات الحرارية عبر السطح الشفاف للواقط الشمسية ، وهو بالنسبة للمجفف المدروس الزجاج العادي، ويمكن أن يكون مصنوعاً من مواد شفافة أخرى ، وواحدتها **[kW]**.

Q_{loss} : الضياعات الحرارية عبر الجدران الخارجية ، وواحدتها **[kW]** .

A_{loss} : مساحة الجدران الخارجية ، $\mathbf{[m^2]}$.

U_{loss} : معامل ضياع الحرارة للجدران الخارجية ، ويختلف بحسب بنية الجدران الخارجية ، وواحدته $\mathbf{[W/m^2C°]}$.

ΔT : الفرق في درجات الحرارة بين الوسط الخارجي ودرجة الحرارة داخل المجفف ،**[C°]** .

A_{glass} : مساحة السطح الشفاف المصنوع من الزجاج في هذا المجفف ، $\mathbf{[m^2]}$.

U_{glass} : معامل انتقال الحرارة لمادة السطح الشفاف ، وفي هذا البرنامج تم الأخذ بعين الاعتبار أن يكون السطح الشفاف مصنوعاً من عدة أنواع من المواد الزجاجية أو البلاستكية الشفافة ، وذلك حسب التصميم المقترح للمجفف، وواحدته $\mathbf{[W/m^2.C°]}$.

$Q_{airchange}$: الضياع الحراري الناتج عن تسرب الهواء ضمن المجفف ، ويؤخذ بعين الاعتبار لبعض التصاميم للمجففات ، وواحدته **[kW]** .

n : عدد مرات تغيير الهواء داخل المجفف ،ويؤخذ من جداول محددة **[14]**، وواحدته [مرة في الساعة] .

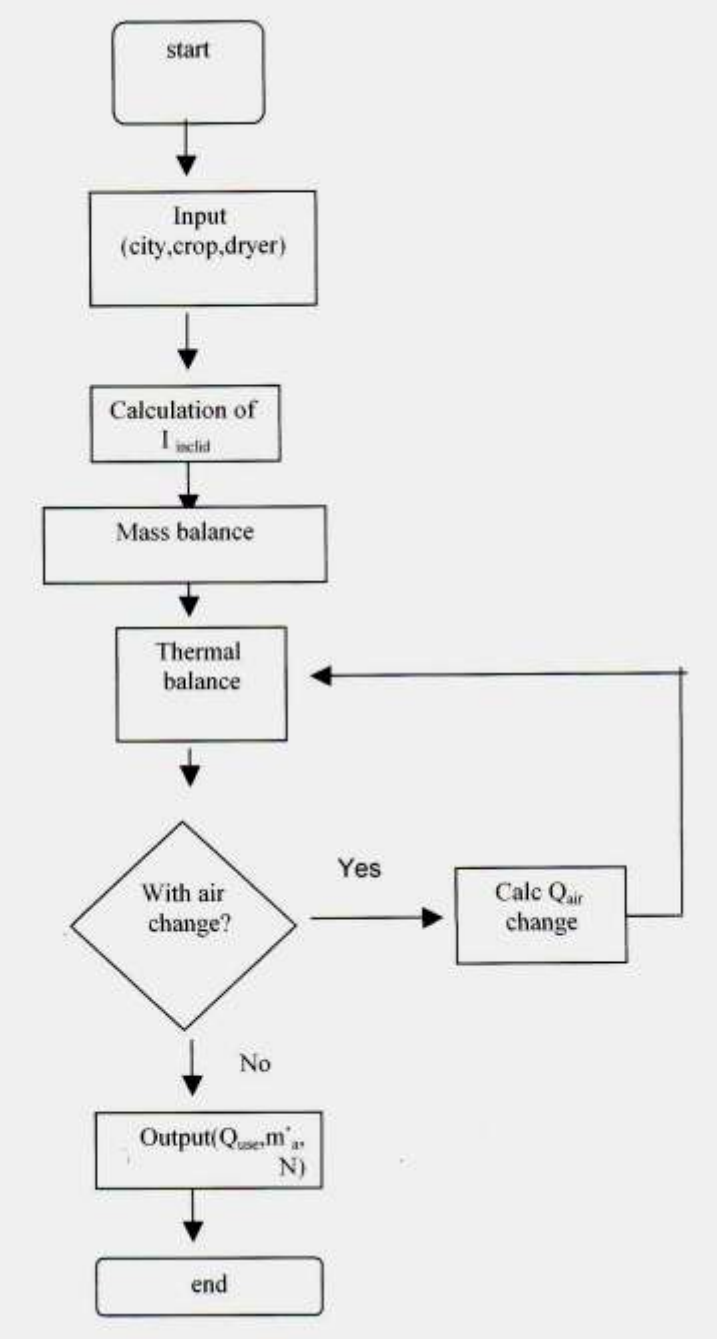
V : الحجم الكامل لحجرة التجفيف ، $\mathbf{[m^3]}$.

G :كمية الرطوبة اللازم تبخيرها من أوراق التبغ الخضراء الداخلة للمجفف، وواحدتها **[kg]** .

h_{fg} :كمية الحرارة اللازمة لتبخير كيلو غرام واحد من بخار ماء وتساوي 708.82 **[kJ/sec]** .

Q_s : كمية الحرارة اللازمة لتبخير اوراق التبغ الخضراء الداخلة للمجفف ، وواحدتها **[kW]** .

N : عدد الأيام اللازمة لتجفيف أوراق التبغ الخضراء الداخلة للمجفف، **[**يوم **]**.



الشكل رقم (2) المخطط الصندوقي للبرنامج

القياسات التجريبية والمناقشة:

تم قياس درجات الحرارة والرطوبة للهواء خلال عملية التجفيف لأوراق تبغ الفرجينيا وذلك عند كل ساعة، وذلك خلال شهر آب من عام 2004 ولمدة عشرين يوماً، وأثناء مراحل التجفيف(التصفير وتثبيت اللون وتجفيف الضلع) ونلاحظ مايلي:

في مرحلة التصفير ترفع درجة الحرارة بشكل تدريجي ومنتظم حتى تصل إلى الدرجة المطلوبة في نهاية هذه المرحلة وهي الدرجة 40 درجة مئوية، حيث يصبح لون الأوراق أصفر وفي مدة 35 ساعة (حيث أثناء فترة غياب الشمس يتم رفع درجات الحرارة بواسطة الهواء الساخن القادم من الخزان الصخري الحراري، بالإضافة إلى مصدر حراري مساعد)، لاحظ المخطط البياني رقم (1).

بينما تنخفض الرطوبة النسبية في أوراق التبغ بشكل تدريجي ومنتظم أيضا، الموضح في المخطط البياني رقم (2) ونلاحظ وجود عتبات تبقى فيه الرطوبة النسبية محافظة على قيمتها لفترة زمنية لابأس بها، وتنتهي فترة التصفير برطوبة نسبية مقاسة لأوراق التبغ تقريبا 75%، وهي القيمة المطلوبة وفقا لمواصفات ورقة التبغ التي يجب الحصول عليها في نهاية هذه المرحلة.

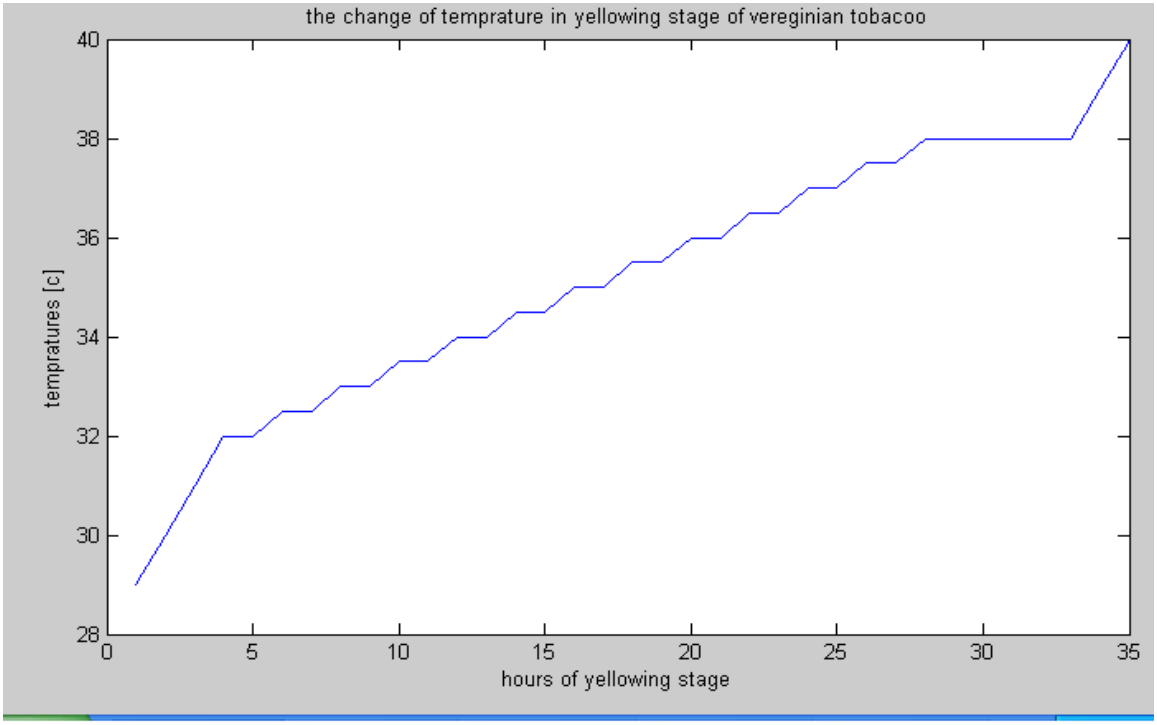
مما يجعلنا نستنتج أن ارتفاع درجة الحرارة منتظم وتدريجي، وكذلك الرطوبة النسبية لأوراق التبغ ، وذلك في مرحلة التصفير حيث نحصل على توزع منتظم للهواء الساخن في هذه المرحلة.

أما في مرحلة تثبيت اللون الأصفر الذهبي لأوراق التبغ: أيضاً نلاحظ الارتفاع التدريجي لدرجات الحرارة ولكنها تمر بعتبة ثبات لدرجات الحرارة قبل أن تصل في النهاية لدرجة الحرارة 60 درجة مئوية، وذلك بسبب صرف كمية من الحرارة على خفض الرطوبة النسبية مما يسبب ثبات درجة الحرارة، لاحظ المخطط البياني رقم(3) وعلى فترة عشر ساعات.

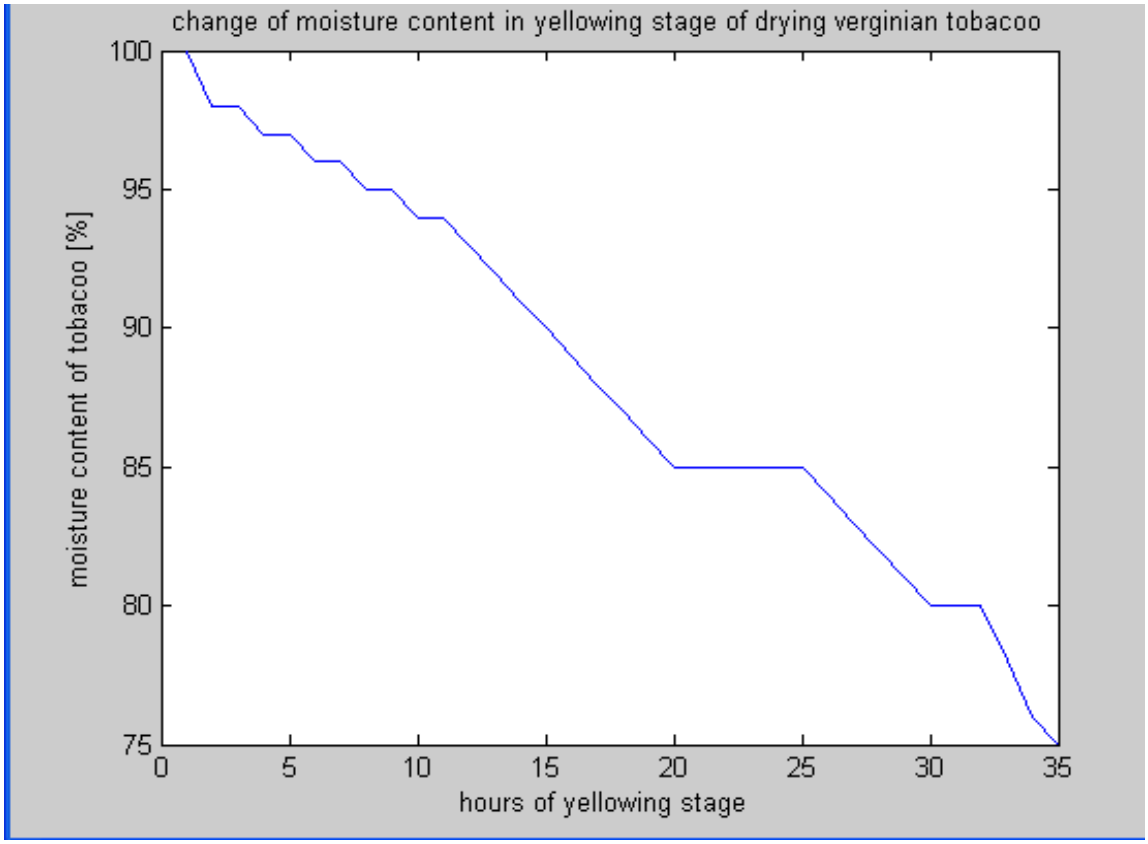
وانخفاض الرطوبة النسبية المقاسة بواسطة البسكرومتر على شكل منحني بدون وجود عتبات زمنية لانخفاضها لتصل في نهاية مرحلة تثبيت اللون إلى 30%، كما يبدو في المخطط البياني رقم(4).

وفي المرحلة النهائية لتجفيف تبغ الفرجينيا (تجفيف الضلع الرئيس) ، نلاحظ ارتفاع درجات الحرارة إلى قيمة 80 درجة مئوية في نهاية مرحلة تجفيف الضلع الرئيس في أوراق التبغ الفرجيني الأمريكي، والمخطط البياني رقم (5) يوضح ذلك.

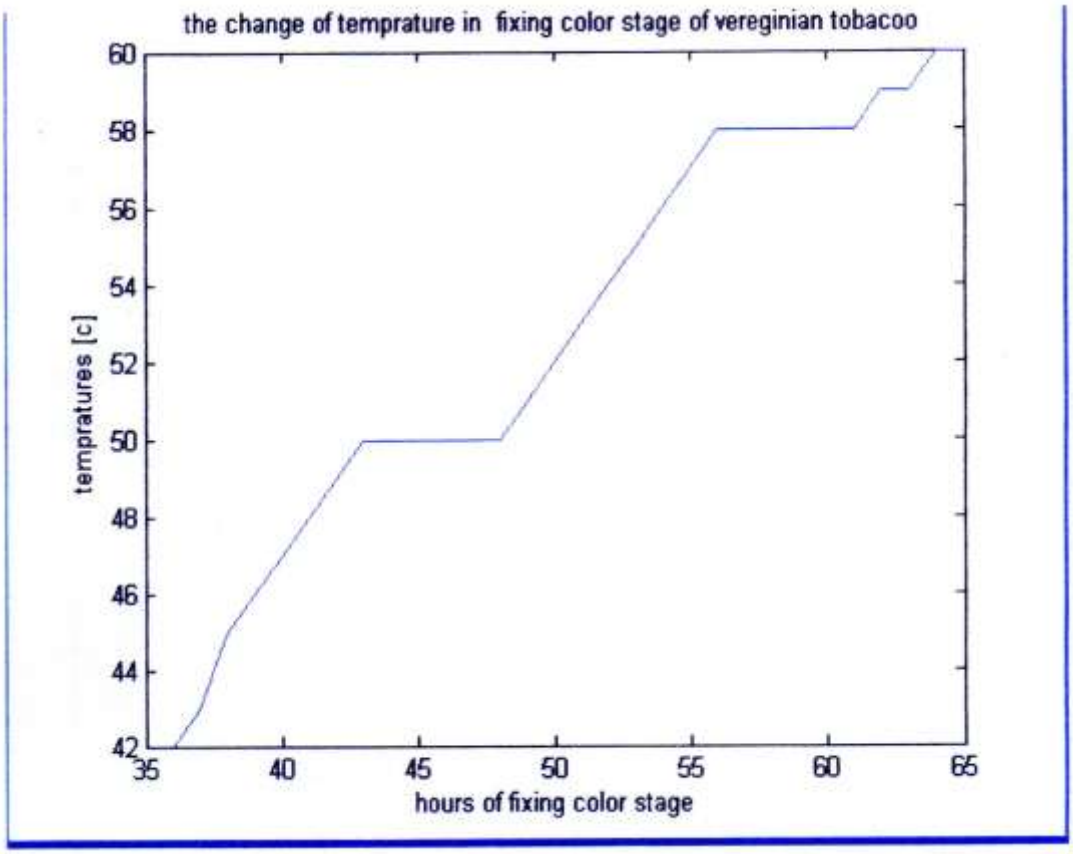
وتنخفض الرطوبة النسبية للضلع الرئيسي لأوراق تبغ الفرجينيا لأدنى المستويات مما قد يضر بالمواصفات المطلوبة لمضمون الرطوبة للمنتج النهائي المجفف، لاحظ المخطط البياني رقم(6)، فالانخفاض الحاد بالرطوبة النسبية لأوراق التبغ الذي يؤثر بنوعية أوراق التبغ المجففة، حيث إن الرطوبة النسبية المطلوبة لأوراق التبغ 14% [10,11] ، مما يتطلب ذلك التحكم بسرعة دوران الهواء الساخن ضمن المجفف، والتحكم بكمية الهواء الساخن المتدفقة من خلال الأوراق ، وكذلك الحاجة لنظام تحكم دقيق بدرجة الحرارة والرطوبة ضمن المجفف.



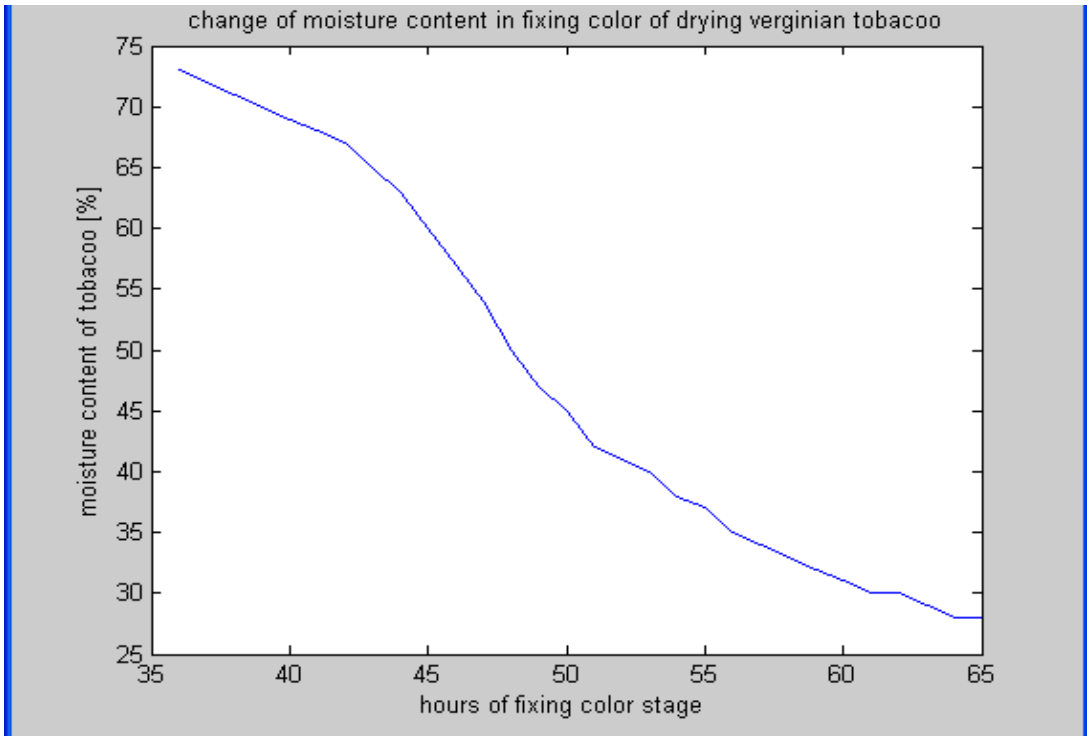
المخطط البياني رقم(1) تغير درجات الحرارة المقاسة خلال مرحلة التصفير من تجفيف تبغ الفرجينيا.



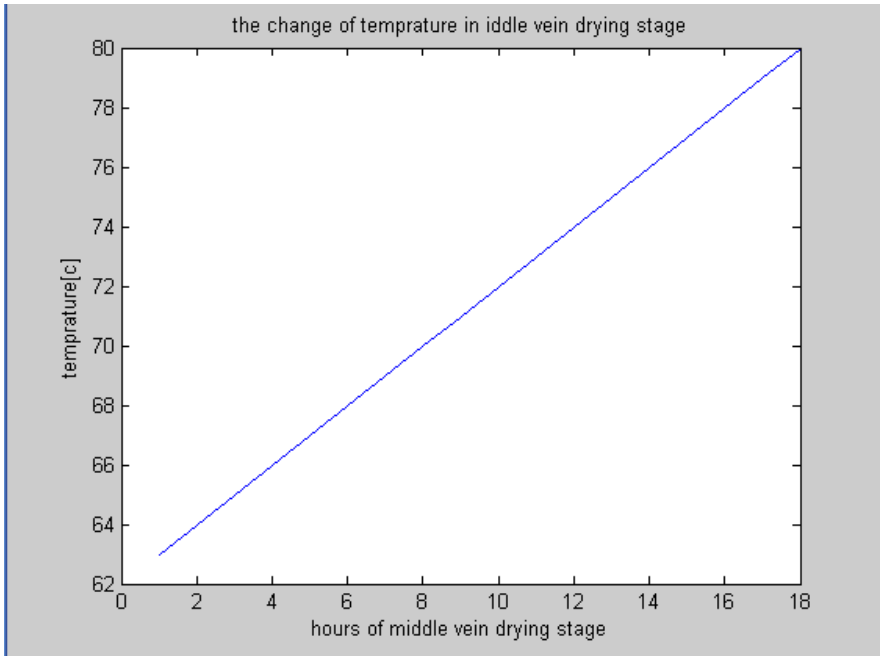
المخطط البياني رقم (2) تغير الرطوبة النسبية في أوراق التبغ خلال مرحلة التصفير.



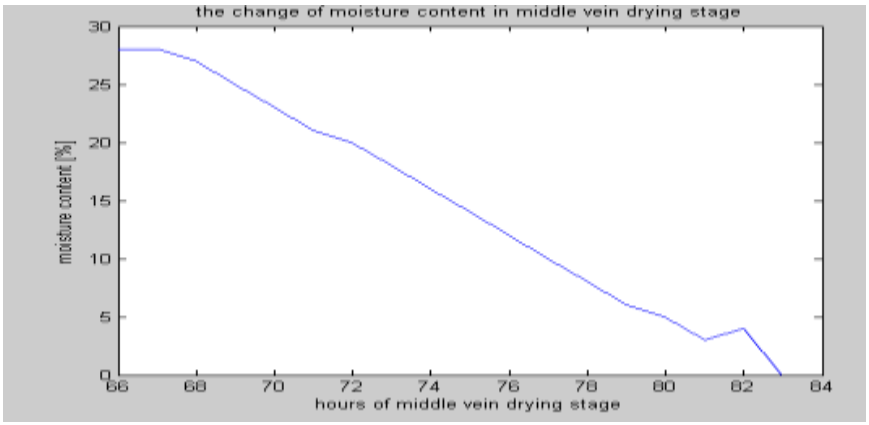
المخطط البياني رقم(3) تغير درجات الحرارة خلال مرحلة تثبيت اللون لأوراق التبغ.



المخطط البيان رقم(4) تغير الرطوبة النسبية في مرحلة تثبيت اللون لأوراق التبغ.



المخطط البياني رقم (5) تغير درجات الحرارة خلال مرحلة تجفيف الضلع الرئيس للأوراق.



المخطط البياني رقم (6) تغير الرطوبة النسبية خلال مرحلة تجفيف الضلع الرئيس للأوراق .

الاستنتاجات والتوصيات:

1- إن رفع كفاءة المجفف عن طريق زيادة الفعالية الحرارية للوا قط الشمسية، أدى إلى رفع درجات الحرارة للهواء الذي تدفعه المروحة إلى داخل المجفف قسريا، كما أدى إلى رفع المردود الحراري لهذه المجففة إلى 63.6% ، وهو مردود جيد مما يشجع على استخدام هذا النموذج من المجففات الشمسية على نطاق واسع.

2- إن إلغاء المجاري الأرضية للهواء الساخن وإتباع طريقة الحمل الحراري القسري ساعد على رفع كفاءة المجفف.

3- زيادة الطاقة الحرارية المخزنة في الخزان الصخري من خلال تزويد جداره الجانبي بسطح ماص أسود، وذلك لرفع درجات الحرارة اللازمة عند غياب الشمس، يؤدي إلى تقليل تكاليف المصدر الحراري المساعد (المستخدم للطاقة الكهربائية).

4- باستخدام النموذج الرياضي يمكن التحكم بفتحات التهوية، وتدفق الهواء وسرعة الهواء وحجمه من أجل التوصل إلى درجات الحرارة المطلوبة للتجفيف لكل مرحلة من مراحله.

5- نوصي بتزويد هذا النوع من المجففات بنظام تحكم يتحكم درجات الحرارة، والرطوبة النسبية، وسرعة، وتدفق الهواء داخل هذه المجففات، وبالتالي يمكن الحصول على دقة أكبر للقياسات وضمان الجودة والنوعية المطلوبة لأوراق التبغ المجففة.

الجدول رقم (1) قياسات درجة الحرارة [C°] ، والرطوبة النسبية [%] داخل المجفف كل ساعة أثناء مراحل التجفيف

عملية التصفير			عملية تثبيت اللون			عملية تجفيف الضلع		
الساعات العملية	درجة الحرارة	الرطوبة	الساعات العملية	درجة الحرارة	الرطوبة	الساعات العملية	درجة الحرارة	الرطوبة
1	29	100	36	42	73	66	61	28
2	30	98	37	43	72	67	62	28
3	31	98	38	45	71	68	63	27
4	32	97	39	46	70	69	64	25
5	32	97	40	47	69	70	65	23
6	32.5	96	41	48	68	71	66	21
7	32.5	96	42	49	67	72	67	20
8	33	95	43	50	65	73	68	18
9	33	95	44	50	63	74	69	16
10	33.5	94	45	50	60	75	70	14
11	33.5	94	46	50	57	76	71	12
12	34	93	47	50	54	77	72	10
13	34	92	48	50	50	78	73	8
14	34.5	91	49	51	47	79	74	6
15	34.5	90	50	52	45	80	75	5
16	35	89	51	53	42	81	76	3
17	35	88	52	54	41	82	78	4
18	35.5	87	53	55	40	83	80	2
19	35.5	86	54	56	38			
20	36	85	55	57	37			
21	36	85	56	58	35			
22	36.5	85	57	58	34			
23	36.5	85	58	58	33			
24	37	85	59	58	32			
25	37	85	60	58	31			
26	37.5	84	61	58	30			
27	37.5	83	62	59	30			
28	38	82	63	59	29			
29	38	81	64	60	28			
30	38	80	65	60	28			
31	38	80						
32	38	80						
33	38	78						
34	39	76						
35	40	75						

الجدول رقم (2) قيم شدة الإشعاع الشمسي الشهرية الوسطية الساقط على سطح أفقي في اللاذقية في سوريا [W/m^2] .

المدينة	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول
اللاذقية	67000	81100	122300	160000	197800	220000	208000	194900	161900

تشرين أول	تشرين ثاني	كانون أول
127000	86300	60100

المراجع:

1- د. السيد، مصطفى محمد. د. فتحي، قدري أحمد. د. مجاهد، ابراهيم السيد، ***النماذج الحسابية للنظم الحرارية الشمسية***، مركز النشر العلمي في جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية 2000، 757ص.

2-KREIDER, Jan F. KREITH, Frank.- ***Solar Heating and Cooling***, McGraw- Hill Book Company, Second Edition, New york, 1982,479 p.

3- KLYCHEV, She.ISMANZHANOV,A.ALDASHEVA, Gt. **Ratesof The First Period of Air-Solar Drying** .Applied Solar Energy .U.S.A.Vol.36 Eenergy, No.1, 2001, pp.51-55.

4- KHAIRIDDINOV,Be.KIM,Vd.ERGASHEV,Dp.-***The Experimental Study of External heat and Moisture Transfer in Free Convective Solar Drying of Vegetables***. Applied Solar Energy.U.S.A.Vol.36,No.1,2000,pp44-50.

5- KOMILOV,O.KAKHAROV,S.RASULOV, I.NAZAROV, M**. *Optimization of Temperature Conditions in Solar Drying Units By Mathematical Modeling*.** Solar Energy**. U.S.A.Vol.28,No.5,1992,pp.73-75.**

6- Fillips,J.-***TheAir - Solar Drying of Fruits.*** International Journal of Energy Research.U.K.Vol.25,No.8,1965,pp.715-725.

7- ANWAR,Si. TIWARI,Gn. **–*Heat and Mass Transfer Coefficients in Four-Tray Solar Crop Drying System* .**International Journal of Ambient Energy .U.K.Vol.22,No.1,Jan.2001,pp.48-56.

8- MARYOLES,H. SARAFKOS,K.-***The Flat Solar Collectors of The Drying Units*** .Energy Conversion nd Management .Vol.43,No.13,1986,pp.55-58.

9- ARTYKOV,S.UMURZAKOV,E.-***Effect Of Drying In Solar Dryers On Tobacco Quality*** .Applied Solar Energy .U.S.A.Vol.26,No.1,1990,pp.83-84.

10–د.رقية، نزيه، ***التبوغ وتكنولوجيتها*** ،مطبوعات جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا، /2002–2003/،332 صفحة.

11– م.بنشي، محمد. م. شطيحي،باسل، ***راسات ونشرات حول أصناف التبغ الموجودة في الساحل السوري وكيفية تجفيفها***، مركز دراسات جب حسن للبحوث الزراعية،اللاذقية،سوريا، /2001/، 80 صفحة .

12– د. قرضاب، محمد. د. سليمان، سليمان. د. حمصي، موفق. د.البني، محمد. د.عيد، إبراهيم. م. درويش، مجد.، ***أطلس الإشعاع الشمسي في الجمهورية العربية السورية***، المديرية العامة للأرصاد الجوية،مكتب الطاقات المتجددة،المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا ،دمشق، (1994)، 165 صفحة.

13 – ***الكود العربي السوري لنظم التسخين الشمسي للمياه في الأبنية السكنية*** ،نقابة المهندسين في الجمهورية العربية السورية، دمشق ،1993، 180 صفحة .

14-SHERRATT, A.F.C. -***Air Conditioning and Energy Conservation***, The Architectural Press, London, 1980, 465 p.