



طراحی و ساخت خشک کن خورشیدی همرفت اجباری هوشمند برای توت

فرهاد موسوی^۱، اکبر صناعی^۲، ابراهیم ابراهیمی^۳، احمد سهیلی مهدی زاده^۴

چکیده:

با روبه اتمام بودن منابع اصلی تأمین انرژی امروزه بشر (سوخت‌های فسیلی)، اهمیت استفاده از انرژی‌های تجدید شونده مانده خورشید افزایش می‌یابد. میوه‌ها بخصوص توت با داشتن رطوبت بالا و بافت لطیف نسبت به فرآیند خشک کردن حساس بوده و خشک کردن آنها با دمای بالا در خشک کن‌های صنعتی موجب از دست دادن رنگ و طعم آنها شده و خشک کردن با روش‌های سنتی نیز باعث آلودگی و اتلاف محصول می‌شود. از این رو استفاده از خشک کن‌های خورشیدی برای میوه‌ها بسیار مناسب است.

خشک کن خورشیدی طراحی شده از نوع پخشی همرفت اجباری بوده و دارای ظرفیت ۵ کیلو گرم توت تازه برای خشک کردن در دو روز تابستانی است. در محاسبات خشک کن از مقادیر انرژی تابشی و ارقام هواشناسی کرمانشاه استفاده شد. برای جابجایی هوا در داخل خشک کن از یک فن کوچک که انرژی خود را از برق تولید شده توسط یک سلول خورشیدی می‌گیرد، استفاده شده است. برای گرم کردن هوا از جمع‌کننده صفحه تخت پره دار با مساحت مفید $1/1 \text{ m}^2$ استفاده شد. محفظه خشک کن دارای دو سینی هر یک به ابعاد $1 \times 0/3 \text{ m}^2$ است. از ویژگی‌های این خشک کن تولید برق مورد نیاز خود از طریق یک سلول خورشیدی و همچنین دارا بودن یک جعبه کنترل با خصوصیات بسیار بالا از جمله کنترل دور فن برحسب دمای هوای صفحه جاذب می‌باشد. در ارزیابی خشک کن که در اوایل شهریور ماه ۱۳۸۸ انجام شد، از توت سفید درختی استفاده شده و سرعت خشک کردن با خشک کن حدود سه برابر خشک شدن محصول در هوای آزاد (تحت تابش مستقیم) به دست آمد.

واژه‌های کلیدی:

خشک کن خورشیدی، جمع‌کننده انرژی خورشیدی، فتوولتائیک، صفحه جاذب تخت پره دار، جعبه کنترل

۱- مقدمه

فرآیند خشک کردن به دلیل مصرف انرژی یکی از عملیات پرهزینه پس از برداشت در کشاورزی می‌باشد. واز آنجائیکه انرژی یکی از نیازهای اساسی انسان است، تأمین انرژی مورد نیاز برای ادامه حیات بشر یکی از چالش‌های پیش روی بشر می‌باشد. از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی می‌باشد که منشاء تمام انرژی‌های موجود در زمین است و می‌تواند جایگزین مناسبی برای انرژی‌های فسیلی باشد. در طی سال‌های گذشته تحقیقات و

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید پست الکترونیک: farhadmousavi68@gmail.com

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه

۴- مربی گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه

پیشرفتهای زیادی در برخی کشورهای جهان در راستای به کارگیری انرژی خورشیدی در بخشهای مختلف به ویژه در عملیات خشک کردن صورت گرفته است. در ایران به علت وفور سوختهای فسیلی متأسفانه آنچنانکه باید، به این موضوع اهمیت داده نشده است. اگرچه تحقیقات و پیشرفتهای در استفاده از انرژی خورشیدی برای خشک کردن در مراکز علمی و پژوهشی ایران به چشم می خورد اما در بازار مصرف پیشرفت آنچنانی ایجاد نشده است. خشک کردن خورشیدی زیرآسمان باز برای نگهداری غذا و محصول کشاورزی از زمانهای قدیم مورد استفاده بوده است. به هر حال این روش معایب زیادی دارد، از جمله وجود عوامل فاسد کننده، باد، رطوبت، باران، پرنده ها و حیوانات می باشد. استفاده از خشک کنهای صنعتی نیز با پیشرفت انرژی گران است که نهایتاً باعث افزایش قیمت تمام شده می شود. سبزیجات و میوه ها را می توان در شرایط کاملاً بهداشتی و متناسب با استانداردهای بین المللی و انرژی مورد نیاز صفر با فناوری خشک کن خورشیدی^۵ خشک کرد. پس با توجه به ضرورت صرفه جویی در مصرف سوخت های فسیلی و جایگزینی انرژیهای تجدید شونده با این سوختها و همچنین سهولت دسترسی انرژی خورشیدی برای مصرف در مزارع و محلهای دور دست تولید محصولات کشاورزی به ویژه از نظر اقتصادی، ضرورت کاربرد و تحقیق در زمینه استفاده از این انرژی پاک و ارزان بر ما آشکار می شود.

۲- پیشینه

El-Sebaai و همکاران (۲۰۰۲) یک نمونه خشک کن خورشیدی جریان طبیعی نوع غیر مستقیم ساختند. این سیستم شامل یک هوا گرمکن خورشیدی صفحه تخت که به یک کابینت خشک کن متصل شده می باشد. موادی جهت فرآیند خشک کردن داخل اتاقک در زیر صفحه جذب کننده استفاده شده است (El-Sebaai AA. At al). Li Z و همکاران (۲۰۰۶) یک خشک کن خورشیدی پیشرفته شامل یک گرمخانه مشابه اتاقک خشک کن و جمع کننده های خورشیدی ($6m^2$) ساخته و آزمایش کردند. خشک کردن گوجه های نمک زده در این خشک کن بسیار مؤثر بود و نشان داد که دوره خشک کردن از ۴۵ روز در روش خشک کردن خورشیدی سنتی به ۱۵ روز در این خشک کن کاهش یافت (Li Z, Zhong H, Tang R. 2006).

۳- مواد و روشها

۳-۱ طراحی و محاسبات

طراحی یک خشک کن خورشیدی با توجه به نوع محصول، ظرفیت خشک کن و شرایط آب و هوایی منطقه مانند میزان تابش در واحد سطح، دما و رطوبت نسبی هوا، ساعات آفتابی روز، نوع مواد مصرفی در ساختمان جمع کننده انرژی خورشیدی و محفظه خشک کن و... صورت می گیرد. در طول روز شرایط اقلیمی از قبیل دما و رطوبت هوای محیط و همچنین میزان و جهت تابش انرژی خورشیدی برای ساعات مختلف، متفاوت بوده و مدام در حال تغییر است. بنابراین در محاسبات خشک کن ها ناچاریم از مقادیر متوسط استفاده کنیم و از این رو هر قدر این ارقام با دقت بیشتری انتخاب شوند، خشک کن از کارایی بالاتری برخوردار خواهد بود. روش کلی طراحی به این صورت است که با توجه به نوع و مقدار محصول و همچنین با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه جرم و حجم هوای مورد نیاز برای خشک کردن محصول محاسبه می شود و با توجه به مقدار انرژی

برای خشک کردن و میزان تابش منقطه، سطح جمع کننده حرارتی به دست می آید. با توجه به مقدار هوای مورد نیاز برای خشک کردن و زمان لازم برای تأمین این مقدار هوا اندازه و توان فن مشخص می شود. خشک کن ساخته شده باید مورد ارزیابی و کنترل قرار گیرد که در این تحقیق یک جعبه کنترل جهت ارزیابی خشک کن طراحی و ساخته شده. در این فصل ابتدا اصول طراحی و محاسبات خشک کن ذکر می شوند. در ادامه روش ساخت خشک کن و سپس محاسبات حرارتی مانند تلفات حرارتی، بازده جمع کننده و... آورده می شوند.

۳-۱-۱ تعریف مسئله و معلومات

الف- ظرفیت خشک کن را ۵ کیلوگرم توت سفید تازه در نظر می گیریم.

ب- رطوبت توت در حدود ۸۲ درصد با خشک کردن آن در آون بدست آمد. از طرفی مقدار رطوبت قابل قبول توت خشک، به دلیل عدم وجود استاندارد با تعیین رطوبت چندین نمونه توت خشک قابل انبار و نگهداری در بازار حدود ۱۵ درصد بدست آمد. مقدار رطوبتی که باید از محصول تبخیر شود، از رابطه زیر محاسبه می شود (Ayensu A.1997):

$$m_w = m_i \frac{M_i - M_f}{100 - M_f} \quad (1-3)$$

m_w : جرم رطوبت تبخیر شده، kg و m_i : جرم اولیه محصول، kg و M_i, M_f : به ترتیب رطوبت اولیه و نهایی محصول (قبل و بعد از خشک کردن)، % می باشد. با قرار دادن مقادیر فوق در رابطه (۳-۱) مقدار m_w برابر ۴ کیلوگرم به دست می آید. پس جرم محصول خشک به دست آمده برابر ۱ کیلوگرم خواهد بود.

پ- طبق آخرین آمار سالیانه هواشناسی کرمانشاه دمای هوای ورودی به جمع کننده $27/6^{\circ}C$ و رطوبت نسبی آن در حدود ۲۰٪ خواهد بود.

ت- میانگین تابش خورشیدی (تابش کل روزانه) در سطح افقی در کرمانشاه از اداره هواشناسی به دست آمده است. از میان این ماه ها سه ماه ژوئن، ژوئیه و آگوست (ماه های تابستان) را در نظر گرفته و میانگین آنها را که برابر $24380 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ است به عنوان انرژی رسیده به سطح افقی در نظر می گیریم.

۳-۱-۲ جرم و حجم هوای لازم برای خشک کردن

با فرض این که هوا یک گاز ایده آل بوده، می توان حجم آن را از رابطه ذیل محاسبه کنیم (Holman J.P. 1980):

$$V_a = \frac{m_a \cdot R \cdot T_3}{p} \quad (2-3)$$

V_a : حجم هوای لازم برای خشک کردن، m^3 و R : ثابت گاز، برای هوا برابر 290 J/kg.K و T_3 : دمای مطلق هوای خروجی از محفظه، K و P : فشار محیط، برابر $1/01 \times 10^5 \text{ Pa}$

m_a از رابطه موازنه انرژی که از جذب رطوبت توسط هوا در طی فرآیند اشباع آدیاباتیک به دست می آید:

$$m_w \cdot L = m_a \cdot C(T_2 - T_3) \quad (5-3)$$

L : گرمای نهان تبخیر آب در دمای میانگین محفظه برابر با $2421/9 \text{ kJ/kg}$ به دست می آید.

C : گرمای ویژه هوای خشک برابر $1/005 \text{ kJ/kg.K}$

جرم هوای مورد نیاز، $m_{ave} = 855/5 \text{ kg}$ بوده و حجم این مقدار هوا، $V_{ave} = 740 \text{ m}^3$ است.

۳-۱-۳ سطح جمع کننده انرژی خورشیدی و سینی ها

سطح جمع کننده مورد نیاز از موازنه انرژی لازم برای تبخیر رطوبت محصول و انرژی جذب شده در سطح جمع کننده برابر با $1/1m^2$ به دست می آید.

برای تعیین ابعاد سینی محصول با استفاده از حجم و ارتفاع محصول روی سینی، مساحت لازم سینی حساب می شود. حجم محصول برابر $0/048m^3$ بدست می آید. با در نظر گرفتن ارتفاع محصول معادل یک سانتیمتر مساحت سینی یا سینی های لازم از رابطه ۳-۵ برابر $0/48m^2$ به دست می آید (Ayensu A.1997):

$$A_t = \frac{V}{L} \quad (5-3)$$

این مقدار را $0/60m^2$ در نظر می گیریم تا در صورت سبک بودن نمونه های مختلف ارتفاع محصول زیاد نشود. به منظور آسان تر کردن جابجایی سینی، از دو سینی هر کدام به مساحت $0/3m^2$ استفاده می کنیم.

۳-۱-۴ سرعت و دبی هوا در خشک کن

با توجه به ابعاد پروفیلی که در ساخت جمع کننده استفاده می شود، فاصله صفحه پوشش با صفحه جاذب $48mm$ خواهد بود. پس سطح مقطع عرضی جمع کننده برای عبور هوا برابر $0/048m^2$ خواهد بود. بنابراین سرعت هوا در جمع کننده v_c برابر $0/43m/s$ به دست می آید. برای محاسبه سرعت هوا در محفظه خشک کن از قانون پیوستگی جریان استفاده می کنیم (Daugherty R.L. and J.B. Franzini.1977).

$$A_{cv} \cdot v_c = A_t \cdot v_{ch} \quad (6-3)$$

A_t : مساحت مقطع عبور هوا در محفظه که برابر مساحت یک سینی یعنی $0/3m^2$ است. و v_{ch} : سرعت هوا در محفظه خشک کن، m/s

از رابطه ۳-۶، v_{ch} برابر $0/069m/s$ به دست می آید.

۳-۱-۵ انتخاب فن

برای محاسبه قدرت فن مورد نیاز و همچنین انتخاب فن مناسب باید دبی جریان هوا و فشار استاتیکی که در طول مسیر عبور هوا وجود دارد مشخص باشد. فشار استاتیکی^۶ موجود در مسیر حرکت هوا در خشک کن به عواملی از قبیل مسیر جریان هوا، میزان دبی جریان هوا، عمق، نوع، شکل و اندازه محصول و همچنین فشردگی محصول روی سینی ها بستگی دارد [۸]. افت فشار کل سیستم ΔP برابر $0/34 Pa$ به دست می آید که برابر $0/34 mmWC$ (میلی متر ستون آب) است. فشار سرعت^۷ VP برابر $0/13272 mmWC$ به دست می آید. فشار کل سیستم^۸ (TP) از حاصل جمع فشارهای استاتیکی (SP) و سرعت (VP) برابر $0/16672 mmWC$ بدست می آید (Bleier F.P.1998).

قدرت هوای خروجی ahp برابر $0/0011 hp$ ($0/83 W$) خواهد بود. با در نظر گرفتن بازده مکانیکی برابر 50% برای پروانه فن، توان واقعی مورد نیاز پروانه bhp برابر $0/0022 hp$ ($1/65 W$) به دست می آید. حداکثر بازده

6- Static Pressure
7- Velocity Pressure
8- Total Pressure

موتورهای الکتریکی کوچک ۶۵٪ است (Nasar S.A.1995). به منظور داشتن حاشیه اطمینان بالا، بازده موتور الکتریکی را برابر ۵۰٪ در نظر می‌گیریم و توان الکتروموتور مورد نیاز از رابطه زیر برابر $3/3W$ به دست می‌آید.

$$P_e = \frac{bhp}{EE} \quad (7-3)$$

P_e : توان الکتروموتور، hp و EE : بازده الکتریکی الکتروموتور، %

۳-۱-۶ جعبه کنترل

جهت هوشمند سازی خشک کن (کنترل دور فن بر حسب دمای صفحه جاذب، کنترل دما و رطوبت در نقاط مختلف سیستم و ...) یک جعبه کنترل طراحی می‌شود. برای هوشمند سازی یک خشک کن خورشیدی باید نیازهای آن مشخص گردد یعنی یک خشک کن به کنترل چه قسمت هایی و چه داده هایی نیاز دارد که بعد از تحقیق نتایج زیر حاصل شد:

- کنترل دما در جمع کننده، ورودی و خروجی محفظه خشک کن - کنترل رطوبت در ورودی و خروجی محفظه خشک کن - کنترل دور فن بر حسب دمای صفحه جذب کننده - تعیین دور فن.

که برای حاصل شدن موارد بالا به مواد زیر نیازمندیم:

- حسگر دما مدل LM35، ۴ عدد - حسگر رطوبت خازنی مدل HS1101، ۲ عدد - مادون قرمز دو عدد - میکرو کنترل AVR مدل ATMEGA16

۳-۲ ساخت

در طراحی و انتخاب اجزای خشک کن مورد نظر سه اصل سادگی، کارآمدی و اقتصادی بودن مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس جمع کننده انرژی خورشیدی از نوع صفحه تخت پره دار (فین دار) انتخاب شده است. جمع کننده پره دار با وجود سادگی ساختمان به دلیل داشتن پره ها باعث تبادل حرارتی بهتر میان صفحه جاذب و هوا شده و بازده جمع کننده افزایش می‌یابد.

محفظه خشک کن دارای دو عدد سینی با کف توری است که به صورت کشویی داخل محفظه قرار می‌گیرند. از ویژگی های محفظه می‌توان به سبک بودن و همچنین استفاده از مواد زنگ نزن نظیر آلومینیوم و ورق گالوانیزه اشاره کرد. اتصال محفظه خشک کن به جمع کننده از طریق یک کانال از جنس پارچه برزنتی می‌باشد که به طور ثابت روی محفظه نصب شده است و به سادگی به جمع کننده متصل و از آن جدا می‌شود. صفحه جاذب انرژی بوسیله رنگ تیره مخصوص پوشیده می‌شود. این رنگ از مخلوط کردن پودر مس، پودر قلع و رنگ روغنی با نسبت (به ترتیب) ۵، ۱ و ۸ آماده استفاده شده و پس از استفاده پوشش زبر تیره ای در سطح قطعه به وجود می‌آورد. سطح صفحه جاذب دو مرتبه با این رنگ پوشش داده شد.

یکی از اجزاء خشک کن طراحی شده بخش کنترل آن می‌باشد. نیازهای خشک کن برای ارزیابی و کنترل مشخص شده. با توجه به وجود سه عدد میکروکنترل سه مدار جدا با نامهای مدار شماره ۱، ۲ و ۳ بر روی یک برد مشترک نیاز است. مدار شماره ۱ شامل حسگرهای دمای داخل جمع کننده (T3 و T4)، حسگر دمای ورودی محفظه خشک کن (T1)، حسگر رطوبت ورودی محفظه خشک کن (RH1)، یک میکرو کنترل ATMEGA16 و یک LCD و مدار شماره ۲ شامل حسگر دمای خروجی محفظه (T2)، حسگر رطوبت خروجی

محفظه (RH2)، یک میکروکنترلر ATMEGA16 و یک LCD و مدار شماره ۳ شامل دو عدد شمارشگر یا چشمی مادون قرمز، یک میکروکنترلر ATMEGA8 و یک LCD می باشد.

یکی از قابلیت های جعبه کنترل، کنترل دور فن با کم و زیاد شدن دمای صفحه جاذب T می باشد. با افزایش T دور فن افزایش و با کاهش T دور فن کاهش می یابد. خاموش شدن فن با توجه به رطوبت خروجی از محفظه (RH2) نیز از کارهای این سیستم کنترل می باشد.

یکی از مزیت های این خشک کن استفاده از یک سلول خورشیدی فتوولتائیک با توان ۴۰ وات و ولتاژ ۱۸ ولت جهت تأمین برق مورد نیاز خشک کن (جعبه کنترل و فن) و خورشیدی کردن کامل خشک کن (بدون نیاز به منابع دیگر انرژی) است.



شکل ۳-۱ خشک کن خورشیدی

۳-۳ ارزیابی خشک کن

به منظور بررسی عملکرد خشک کن و به دست آوردن بازده آن، باید خشک کن مورد ارزیابی قرار می گرفت. آزمایش خشک کن خورشیدی امکان مقایسه آن با سایر خشک کن ها و همچنین امکان مقایسه خشک شدن محصول در حالت استفاده از خشک کن و بدون خشک کن (خشک کردن خورشیدی مستقیم) را میسر می سازد. آزمایش در روزهای ۷ و ۹ شهریور ماه (۲۹ و ۳۱ آگوست ۲۰۰۹) انجام شد. محصول مورد آزمایش توت سفید درختی (Mulberry) بوده که صبح روز آزمایش از یخچال بیرون آورده شد و به محل آزمایش انتقال یافت. مدت زمان آزمایش ها ۱۰ ساعت بوده که از ساعت ۸:۳۰ دقیقه شروع شده و تا ساعت ۳:۰۰:۱۸ دقیقه ادامه داشت. به منظور مشاهده روند خشک شدن محصول باید از آن نمونه برداری کرده و رطوبت آن را تعیین کرد. بدین منظور از محصول در حال خشک شدن به فاصله زمانی هر یک ساعت نمونه برداری شد. برای نمونه برداری هر سینی به نه قسمت فرضی تقسیم شد. برای مقایسه خشک شدن محصول در داخل خشک کن و در هوای آزاد، مقداری از محصول در هوای آزاد مقابل نور خورشید پهن شده و در پایان آزمایش از آن نمونه برداری شد.

۳-۳-۱ محاسبه کاهش رطوبت محصول

میزان رطوبت محصول بر مبنای وزن تر و از رابطه زیر بدست می آید:

$$M_{wb} = \frac{W_{bo} - W_{ao}}{W_{bo} - C} \quad (۸-۳)$$

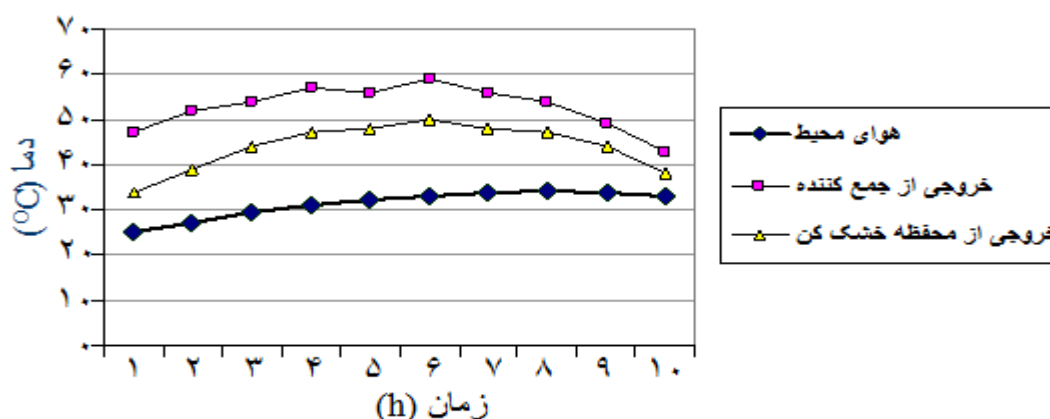
M_{wb} : رطوبت محصول بر مبنای وزن تر^۹ و W_{bo} : وزن نمونه قبل از قرار دادن در داخل آون، g

W_{a0} : وزن نمونه پس از بیرون آوردن از آون، g و C : وزن ظرف نمونه گیری، g

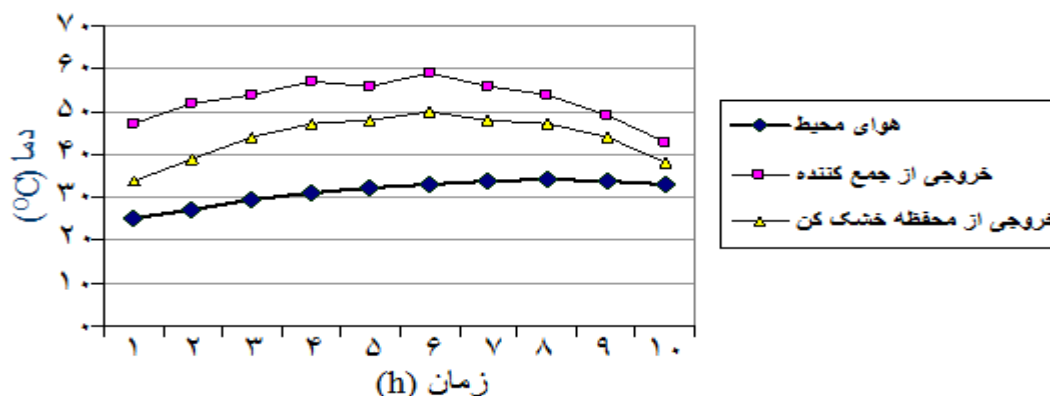
۴- نتایج و بحث

۴-۱ تغییرات دما و رطوبت هوا

دمای هوای محیط وقتی پس از ورود به جمع کننده افزایش یافته و رطوبت نسبی آن کاهش می یابد ولی رطوبت مطلق (نسبت رطوبت) آن تغییری نمی کند. هوای گرم شده دارای قابلیت انتقال رطوبت بالاتری بوده و در اثر عبور از میان توده محصول، رطوبت محصول را جذب کرده و باعث پایین آمدن میزان رطوبت محصول می شود. در اثر جذب رطوبت محصول، دمای حباب خشک هوا پایین می آید. نتایج مربوط به آزمایشها در شکلهای ۴-۱ و ۴-۲ مشاهده می شود.



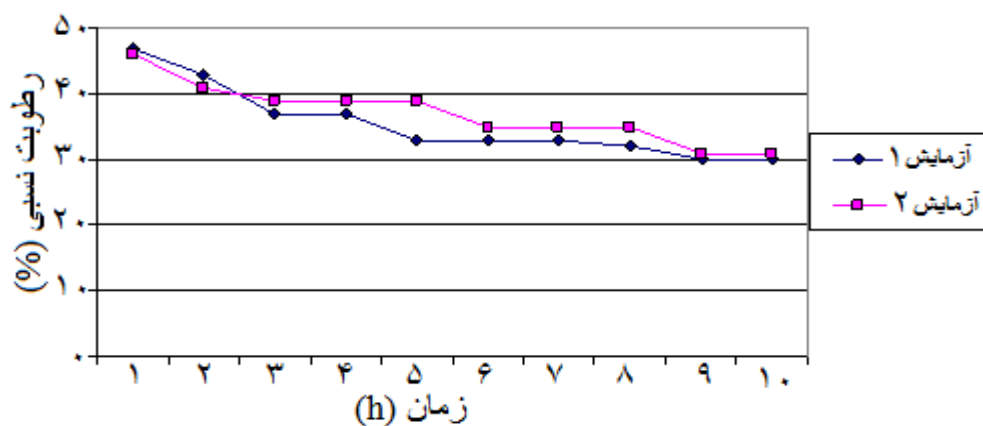
شکل ۴-۱ تغییر دمای هوای محیط، دمای هوای خروجی از جمع کننده و دمای هوای خروجی از محفظه خشک کن بر حسب زمان در تاریخ ۱۳۸۸/۶/۹



شکل ۴-۲ تغییر دمای هوای محیط، دمای هوای خروجی از جمع کننده و دمای هوای خروجی از محفظه خشک کن بر حسب زمان در تاریخ ۱۳۸۸/۶/۹

میانگین دمای هوای محیط در ساعات آزمایش در دو روز به ترتیب $32/14^{\circ}C$ و $31/35^{\circ}C$ بوده و در همین مدت دمای هوای خروجی از جمع کننده به ترتیب $50/7^{\circ}C$ و $52/7^{\circ}C$ بود پس میانگین افزایش دمای هوا توسط جمع کننده در دو آزمایش $18/56^{\circ}C$ و $21/35^{\circ}C$ است. افزایش دمای هوا در هر دو آزمایش در جمع کننده به دلیل استفاده از سیستم کنترل دور فن بر حسب دمای صفحه جاذب در اکثر ساعات با اختلاف کمی تغییر می کند.

رطوبت در شروع فرآیند خشک شدن از لایه های بیرونی بافت محصول تبخیر می شود و چون در این زمان رطوبت محصول زیاد است رطوبت به راحتی به هوا منتقل شده و خشک شدن با سهولت انجام می گیرد. ولی با گذشت زمان رطوبت محصول کاهش یافته و با خشک شدن سطح محصول در واقع آب محصول سخت تر تبخیر می شود. شکل ۴-۳ مؤید این مطلب است.

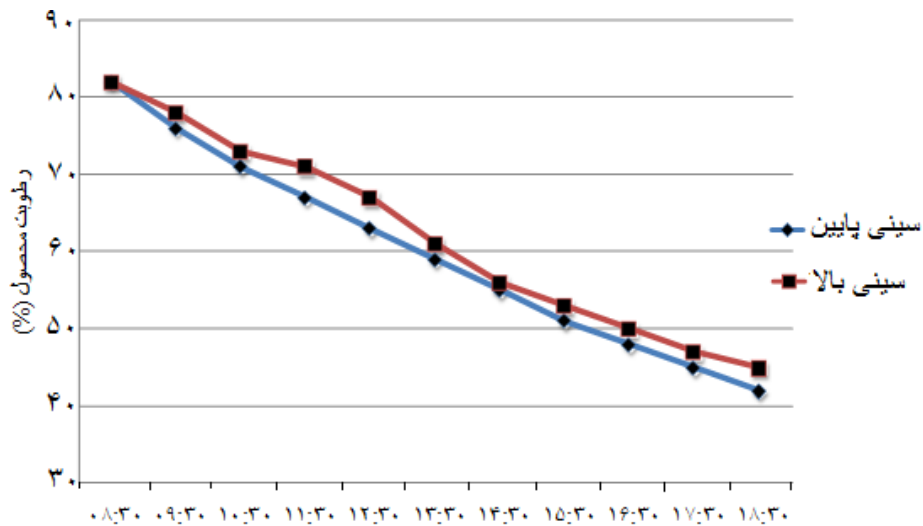


شکل ۴-۳ تغییر رطوبت نسبی هوای خروجی از محفظه خشک کن بر حسب زمان در طول آزمایش ها

۴-۲ خشک شدن محصول

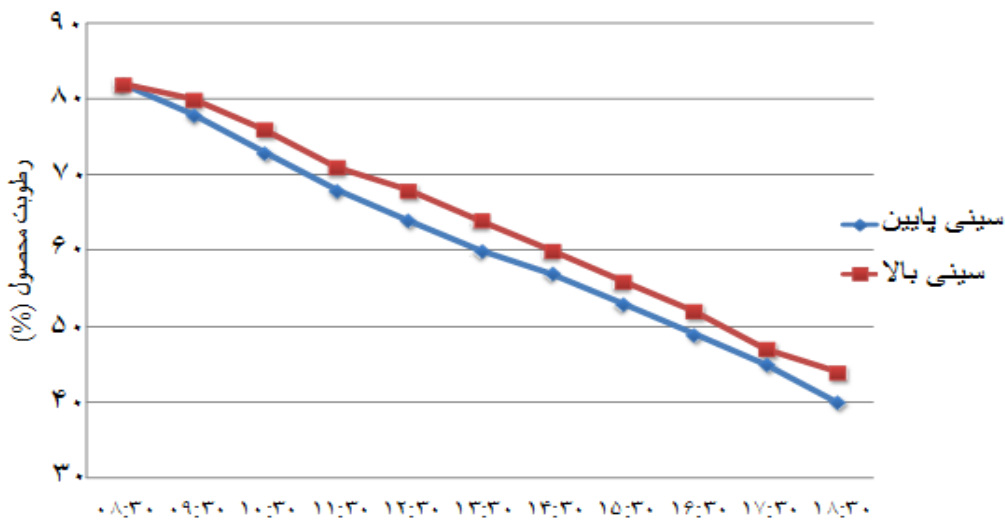
برای ارزیابی آهنگ خشک شدن محصول از آن نمونه برداری شده و مقدار رطوبت آن در ساعات مختلف تعیین شد. روند کاهش رطوبت محصول در سینی های بالا و پایین در دو نمودار جداگانه در شکل های ۴-۴ و ۴-۵ آورده شده اند. با گذشت زمان میزان رطوبت محصول در سینی پایین مقداری کمتر از میزان رطوبت محصول در سینی بالا می باشد. در توضیح این امر باید گفت که هوای وارد شده به محفظه خشک کن ابتدا از میان محصول سینی پایین عبور کرده و سپس به سینی بالا می رسد. پس، رطوبت هوا بعد از عبور از سینی پایین افزایش یافته در نتیجه قابلیت حمل رطوبت آن در سینی بالایی تا حدی کمتر از قابلیت حمل رطوبت آن در سینی پایینی خواهد بود و به این دلیل اختلاف رطوبت محصول بین دو سینی به وجود می آید.

همانطور که در نمودارهای شکل ۴-۴ و ۴-۵ مشخص است میزان رطوبت محصول در پایان آزمایش اول برای سینی های بالا و پایین به ترتیب ۴۲ و ۴۵ درصد، و در پایان آزمایش دوم ۴۰ و ۴۴ درصد رسیده است. با توجه به رطوبت اولیه توت (۸۲٪ برای هر دو آزمایش) متوسط میزان کاهش رطوبت برای هر دو سینی در آزمایش اول برابر با ۳۸/۵٪ و در آزمایش دوم برابر با ۴۰٪ می باشد. رطوبت نهایی قابل قبول برای توت همانطور که گفته شد برابر با ۱۵٪ بدست آمد. با توجه به اینکه زمان آزمایش ها از نظر میزان انرژی تابشی و دمای هوای محیط و سایر عوامل آب و هوایی تفاوت زیادی با زمان برداشت توت دارد، قطعاً در زمان برداشت توت (اوایل تیر ماه) خشک کن عملکرد بهتری خواهد داشت. ولی با این شرایط نیز خشک کن نمی تواند، خشک کردن را در طول ۱۰ ساعت به پایان برد، دلیل آن نیز رطوبت بالای میوه توت و حجم زیاد آن نسبت به سبزیجات و حبوبات دانه ریز می باشد.



شکل ۴-۴ نمودار روند خشک شدن محصول در سینی ها در تاریخ ۱۳۸۸/۶/۷

شکل ۴-۴ نمودار روند خشک شدن محصول در سینی ها در تاریخ ۱۳۸۸/۶/۷



شکل ۵-۴ نمودار روند خشک شدن محصول در سینی ها در تاریخ ۱۳۸۸/۶/۹

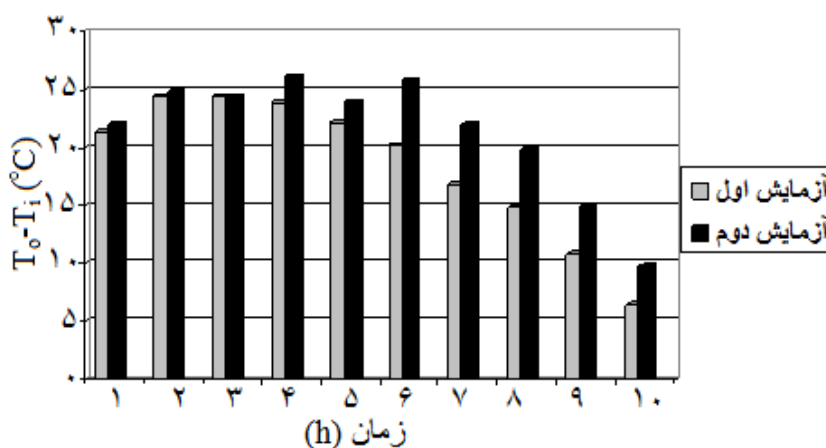
شکل ۵-۴ نمودار روند خشک شدن محصول در سینی ها در تاریخ ۱۳۸۸/۶/۹

برای رساندن رطوبت اولیه توت با این سطح جمع کننده به رطوبت نهایی قابل قبول باید ساعات خشک کردن تقریباً به دو برابر افزایش یابد و با توجه به اینکه ساعات آفتابی مطلوب برای خشک کردن در یک روز تابستانی ۱۰ ساعت می باشد، بنابراین باید خشک کردن در دو روز انجام شود. یکی از دلایل استفاده از خشک کن خورشیدی، جایگزین کردن آن بجای خشک کردن جلوی آفتاب باز از نظر اقتصادی و زیست محیطی می باشد. برای محاسبه سرعت خشک شدن در دو حالت با خشک کن و بدون خشک کن، رطوبت نمونه های قرار گرفته در جلوی آفتاب در طول ۱۰ ساعت برای آزمایش اول برابر ۷۰٪ و آزمایش دوم برابر ۶۸٪ به دست آمد. بدین ترتیب سرعت خشک شدن محصول در خشک کن برای آزمایش اول ۲/۹ و برای آزمایش دوم ۳/۱ نسبت به خشک شدن در هوای آزاد بوده و متوسط این دو ۳ می باشد. به عبارت دیگر خشک کن

در حدود سه برابر سریع تر از هوای آزاد (در شرایط آب و هوایی اوایل شهریور ماه) محصول را خشک می کند. سرعت خشک کرد خشک کن در اوایل تیر ماه به مراتب بیشتر از این مقدار خواهد بود.

۴-۳ کنترل دور فن

همانطور که ذکر شد یکی از قابلیت های جعبه کنترل طراحی شده برای این خشک کن، کنترل دور فن بر حسب دمای صفحه جاذب است. این سیستم با بالا و پایین رفتن دمای صفحه جاذب دور فن را کم و زیاد می کند. طبق برنامه ی نوشته شده برای این قسمت، در دماهای 60°C به بالا تغییرات دور فن بسیار کم (یا بدون تغییر) خواهد بود. به این دلیل که در دمای 60°C به بالا، دمای هوای خروجی از جمع کننده در حد قابل قبول و تقریباً ثابت می باشد. اما در دمای زیر 60°C دور فن با هر 5°C تغییر دمای صفحه جاذب تغییر خواهد کرد. نمودار شکل ۴-۶ تغییرات دور فن را برای هر دو آزمایش نشان می دهد.



شکل ۴-۶ تغییرات دور فن در طول ساعات آزمایش

۵- نتیجه گیری

با توجه به رطوبت بالای محصول و زمان آزمایش (اوایل شهریور ماه)، نتایج به دست آمده بسیار رضایت بخش می باشند. این نتایج به شرح زیر خلاصه می شوند:

الف- میانگین افزایش دما در جمع کننده برای آزمایش اول $18/56^{\circ}\text{C}$ و برای آزمایش دوم $21/35^{\circ}\text{C}$ بود.

ب- خشک شدن محصول روی هر سینی یکنواخت بود.

ت- خشک کن توانست در مدت ۱۰ ساعت رطوبت توت را در روزهای آزمایش از ۸۲٪ به ترتیب به حدود ۴۳/۵٪ و ۴۲٪ برساند.

ث- سرعت خشک کردن محصول در خشک کن سه برابر خشک شدن محصول در هوای آزاد به دست آمد.

ج- تغییرات دور فن نسبت به دمای صفحه جاذب دقیق و قابل قبول بود.

منابع

1. Ayensu A.1997.Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. Solar Energy, 59: 121-126.

2. Bleier F.P.1998.FAN Handbook: Selection, Application and design. Mc Graw-Hill. New York
3. Daugherty R.L. and J.B. Franzini.1977.Fluid Mechanics with Engineering Applications.7th edition. Mc Graw-Hill. New York.
4. El-Sebaili AA, Aboul-Enein S, Ramadan MRI, El-Gohary HG. 2002. Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer. Energy Convers Manage. 43:2251–66.
5. Holman J.P. 1980. Thermodynamics.3rd edition. McGraw-Hill. New York.
6. Koyuncu T. 2006. An investigation on the performance improvement of greenhouse type agricultural dryers. Renew Energy. 31:1055–71.
7. Li Z, Zhong H, Tang R. 2006. Experimental investigation on solar drying of salted greengages. Renew Energy. 31:837–47.
8. Mohsenin N.N.1986.Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach. Amsterdam.
9. Mwithiga G, Kigo SN. 2006. Performance of a solar dryer with limited sun tracking capability. J Food Eng. 74:247–52.
10. Nasar S.A.1995 Electrical Machines and Power Systems, Volume 1.International edition. Mc Graw-Hill.

Abstract

In many countries of the world, the use of solar thermal systems in the agricultural area to conserve vegetables, fruits, coffee and other crops has shown to be practical, economical and the responsible approach environmentally. Because of high moisture content and delicate tissues, fruits, specially mulberry are very sensitive to drying process. Drying of mulberry with high temperature by conventional dryers causes variation of natural color and flavor. Drying by traditional methods causes contamination and waste of crops. Hence, solar energy dryers are very suitable for vegetable drying.

The designed solar dryer in this study was a forced convection- distributed type and its drying capacity was 5 kg of fresh mulberry in two Kermanshah summer day. The solar radiation and meteorological data of Kermanshah (latitude 34°21') was used. Forced convection of drying air was produced by a small fan with produced electricity by a photovoltaic solar cell. Drying air temperature was raised up by a flat plate-finned type solar energy collector with aperture area of 1.1 m². Drying chamber had two sliding trays with total area of 0.60 m² (each 1×0.5 m²). The important feature in this new dryer was the use of photovoltaic solar cell and too a control box with high many features among fan around control at absorber plate temperature. Mulberry was used for dryer evaluation. Dryer tests were conducted in August 2009. The rate of mint drying in the dryer was about 3 times faster than of open-to- sun drying.

Keywords:

Solar dryer, Collector useful energy, photovoltaic solar cell, Finned type absorber plate, control box, mulberry drying.