



تأثیر جنس صفحات جاذب نور بر عملکرد خشک کنهای خورشیدی تابش مستقیم

حمیدرضا گازر^۱، کریم گرامی^۲، کیهان شرافتی^۳

^۱ استادیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی hgazor@yahoo.com

^۲ پژوهشگر موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

^۳ مربی پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

چکیده

در این مقاله پس از ساخت یک دستگاه خشک کن آفتابی پابلوت تابش مستقیم، تأثیر صفحات جاذب ورق آهنی ساده با رنگ مشکی، صفحه چوبی با رنگ مشکی، بدون پوشش کف، سنگ تیره‌در دبی‌های همرفت طبیعی جریان هوا، $0/5$ و $1 \text{ m}^3/\text{min}$ بر عملکرد دستگاه از نظر راندمان از نظر میزان جذب انرژی و ایجاد گرما در خشک کن تحقیق شد. همچنین تأثیر میزان جذب نور خورشید در خشک کردن هر کدام از محصولات زردآلو و هلو توسط صفحات جاذب و دبی‌های ذکر شده در خشک کن بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که کاربرد خشک کن آفتابی تا حدود $35 - 30$ درصد زمان خشک شدن محصول را نسبت به شرایط محیط کاهش می‌دهد. کاربرد صفحات جاذب مناسب چوبی و فلزینیز می‌تواند تا حدود 10 درصد بر راندمان خشک کن آفتابی اضافه کند. همچنین نحوه کاربرد فن در خشک کن آفتابی به هنگام خشک کردن محصولات مختلف متفاوت می‌باشد. هنگام خشک کردن برگه‌های زردآلو و هلو بهترین عملکرد دستگاه در دبی‌های $0/5 \text{ m}^3/\text{min}$ اتفاق افتاد. از نظر کیفیت محصول خشک شده، کاربرد صفحات جاذب چوب و آهن بیشترین تأثیر را روی ارجحیت مصرف محصولات مورد آزمون داشتند. این تأثیرها در مورد کاربرد خشک کن آفتابی با تهویه مناسب تا حد قابل قبولی می‌تواند در کاهش بار میکروبی محصولات خشک شده مفید باشد. همچنین در هنگام خشک کردن محصولات حساس به تابش مستقیم نور خورشید مثل برگه هلو بهتر است که از خشک کنهای غیر مستقیم استفاده شده و در صورت لزوم آنزیم بری انجام گردد.

واژه‌های کلیدی: خشک کن آفتابی، صفحات جاذب، هلو، زردآلو

مقدمه:

در خشک کنهای خورشیدی جذب و حفظ گرما به همراه تهویه مناسب هوادر طول پروسه خشک کردن بسیار حائز اهمیت بوده و اگر با تمهیداتی در خشک کن موارد فوق تامین گردد شانس موفقیت فرایند بسیار بالا رفته و محصول بصورت مطلوبی خشک خواهد شد. کشور ایران بدلیل شرایط مناسب اقلیمی در اغلب نقاط آن به ترتیب امکان دریافت بیش از 1000 و 800 ساعت آفتاب در فصول تابستان و پائیز برای بسیاری از شهرهای آن امکان بهره برداری از این نعمت خدادیرا برای ما فراهم می‌نماید (حاج سقطی، 1380). خشک کنهای خورشیدی به دو دسته فعال یا همرفت اجباری یا دسته غیر فعال یا همرفت طبیعی تقسیم بندی می‌شوند. در



خشک کنهای فعال عموماً برای جریان هوا از یک فنیا مکنده هوا برای ایجاد جریان هوا در خشک کن استفاده می شود و در خشک کنهای غیرفعال، جریان هوای داخل دستگاه از اختلاف چگالی هوای سرد و گرم در داخل خشک کن ایجاد می شود. هر دو خشک کن سه گروه یکپارچه (مستقیم)، پخشی (غیر مستقیم) و ترکیبی تقسیم بندی می شوند. در نوع یکپارچه، یک محفظه کار جمع کردن انرژی خورشیدی و نگهداری محصول را بر عهده دارد. در انواع پخشی دیواره های خشک کن مات بوده و از جمع کننده مجزا است و انرژی خورشید بطور مستقیم به محصول نمی تابد. در نوع ترکیبی هم جمع کننده مجزا وجود دارد و هم نور خورشید مستقیماً به محصول می تابد (Ekechukwu & Norton, 1999). در تحقیق دیگری سه نوع جمع کننده خورشیدی با صفحات جذب: تخت، پره دار و موجدار مورد مطالعه قرار گرفت و نتیجه گیری شد که صفحات جذبیره دار و موجدار دارای عملکرد مناسبتری نسبت به نوع تخت می باشد. در این تحقیق مناسبترین دبی برای عملکرد بهینه خشک کن برای هر کدام از صفحات جذب ارائه گردید (Karim and Hawlader, 2003). بهترین زاویه قرارگیری یک جذب کننده تخت خورشیدی برای دریافت بیشترین انرژی تشعشعی خورشید، حدود عرض جغرافیایی در هر منطقه می باشد. لازم بذکر است که برای بالا بردن راندمان جذب در تابستان و زمستان بهتر است به ترتیب زاویه جذب کننده ۱۰ تا ۱۵ درجه کمتر و بیشتر از عرض جغرافیایی منطقه باشد (آزاد و همکاران، ۱۳۶۶). برای جذب و نگهداری بهتر انرژی خورشیدی بهتر است از پوششهای تیره رنگ در کف بستر استفاده شود. در خشک کنهای خورشیدی هیبرید پوششهای سنگی برای کف خشک کنهای خورشیدی پیشنهاد می شود (Chakraverty *et al.*, 2003). تحقیقات مختلفی در مورد کاربرد خشک کنهای مختلف خورشیدی برای خشک کردن مختلف انجام شده است که در بین آنها می توان به خشک کردن انگور، فلفل شیرین، فلفل قرمز و لوبیا سبز (Tiris *et al.*, 1999)، برگه لیمو ترش (Ait Mohamed *et al.*, 2005)، فلفل قرمز (Hossain and Bala, 2007)، پسته (Ghazanfari *et al.*, 2003) اشاره نمود. هدف از اجرای این تحقیق ارزیابی یک خشک کن ترکیبی فعال ساخته شده برای خشک کردن محصولات کشاورزی می باشد که کلکتور خورشیدی در داخل خود خشک کن قرار دارد. با بررسی سوابق تحقیقات انجام شده در مورد خشک کنهای خورشیدی اکثر دستگاههای مورد استفاده یا بصورت غیر مستقیم از نور خورشید استفاده می کردند و یا بصورت مستقیم و بدون وجود کلکتور در یک محیط بسته اقدام به خشک کردن محصول می نمودند. تحقیق انجام شده تلفیقی از کاربرد دو سیستم در خشک کن می باشد که انرژی تابشی و گرمایی بصورت مستقیم و ذخیره شده در کلکتور داخلی خشک کن استفاده شود. برای ارزیابی عملکرد دستگاه در خشک کردن محصولات کشاورزی دو محصول زردآلو و هلو در آن خشک شد.

مواد و روشها

در این تحقیق یک دستگاه خشک کن خورشیدی مستقیم (Hui *et al.*, 2008) در مقیاس آزمایشگاهی با حجم حدود 0.5 m^3 ساخته شد (شکل-۱). به وسیله دستگاه مذکور دو محصول زردآلو و هلو بصورت تک لایه خشک شد. متغیرهای مستقل برای بررسی فرایند خشک کردن هر کدام از محصولات ذکر شده در تحقیق حاضر عبارت بودند از:



۱- تغییرات صفحه جاذب نور خورشید در چهار سطح [بدون صفحه جاذب (پدیده گلخانه ای)، کاربرد صفحه آهنی صافبار

رنگ مشکی، کاربرد ورق چوبی بار رنگ مشکی و کاربرد سنگ تیره]

۲- تغییرات دبی هوای خروجی [همرفت طبیعی (بدون کاربرد فن)، ۰/۵ و $1 \text{ (m}^3/\text{min)}$]

در این تحقیق از خشک کردن هم زمان هر کدام از محصولات ذکر در محیط‌باز بعنوان تیمار شاهد برای مقایسه استفاده شد.

شاخصهای فرایند خشک کردن

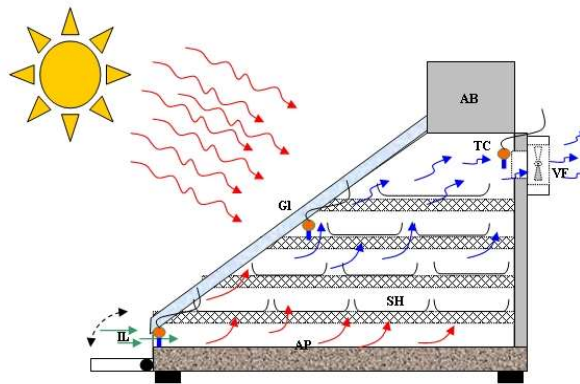
۱. تغییرات دمای هوای وارد و خارج شده از خشک کن در طول مدت آزمایش با استفاده از دما سنج دیجیتالی (Al juamily *et al.*, 2006)

(*al.*, 2007; Usub *et al.*, 2006)

۲. تغییرات رطوبت نسبی هوای وارد و خارج شده از خشک کن در طول مدت آزمایش با استفاده از رطوبت سنج دیجیتالی

(Mursalim *et al.*, 2002).

۳. تغییرات دما و رطوبت محیط‌در طول مدت آزمایش (Koyuncu, 2006; Mursalim *et al.*, 2002)



شکل ۱- شماتیک خشک کن آفتابی مورد استفاده در تحقیق

در این شکل: IL: دریچه ورود هوا، AP: صفحه جاذب نور خورشید، SH: سبدهای نمونه گیری، GI: شیشه دوجداره باز گاز آرگون، TC:

سنسور اندازه گیری دما، AB: محفظه تنظیم، VF: فن تخلیه هوا با دور متغییر

۴. مقدار آب تبخیر شده در شرایط آزمایش برای کدام محصولات مورد آزمون با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می گردد (Al

juamily *et al.*, 2007; Yaldyz and Ertkyn, 2001)

$$M_w = W_i [(X_i - X_f) / (100 - X_f)] \quad (1)$$

در این رابطه M_w = جرم آب تبخیر شده (kg) = وزن اولیه X_i (kg) = رطوبت اولیه X_f (% w.b) = رطوبت نهایی (% w.b)



۵. بررسی تغییرات رطوبت محصول در واحد زمان و تغییرات آهنگ خشک شدن نیز برای هر کدام از تیمارهای محصولات مورد آزمایش در فواصل ۱۲۰ دقیقه ای. برای تعیین تغییرات رطوبت در مدت خشک شدن محصول از روش وزنی استفاده شد و با استفاده از وزن نهایی محصول روند تغییرات رطوبت در واحد زمان برای هر مرحله بدست آمد (Usab *et al.*, 2006).

۶. آهنگ خشک شدن هر کدام از تیمارهای محصولات مورد آزمایش. این شاخص برای کل فرایند با استفاده از رابطه (۲) بدست آمد (Mazza, 1984; Falade and Abbo, 2007) (Canovas and Mercado, 1996).

$$DR = \frac{W_1 - W_2}{W_3 \times t} \quad (2)$$

در این رابطه: DR = آهنگ خشک شدن $W_2 = (Kg \ H_2O / Kg \ DM.h)$ وزن نمونه آزمایش در هر مرحله $W_1 = (Kg)$ وزن نمونه آزمایش در مرحله قبلی $W_3 = (Kg)$ وزن کاملاً خشک نمونه آزمایش در انتها $t = (h)$ مدت زمان سپری شده تا مرحله مورد نظر (h).

۷. راندمان دستگاه خشک کن برایابی های هوا و صفحات جاذب مورد استفاده در تحقیق کهبه وسیله رابطه (۳) بدست آمد (Khattab, 1996; Al juamily *et al.*, 2007).

$$\eta_d = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{A_c I_T + Q_f} \quad (3)$$

در این رابطه:

\dot{m} = دبی جرمی هوا (kg/s) ، C_p = گرمای ویژه هوا (kJ/kg°C) ، T_o = دمای خروجی از خشک کن (°C) ، T_i = دمای ورودی به خشک کن (°C) ، A_c = مساحت کلکتور (m²) ، I_T = شار تابشی خورشید در منطقه (W/m²) ، Q_f = توان الکتریکی فن (W)

۸. راندمان فرایند خشک کردن محصولات مورد نظر با استفاده از دستگاه خشک کن که به وسیله رابطه (۴) بدست آمد (Mursalim *et al.*, 2002; Al juamily *et al.* 2006; Mursalim *et al.*, 2002).

$$\eta_o = \frac{M_w \times h_{fg}}{(A_c I_T + Q_f) t} \quad (4)$$

در این رابطه:

M_w = جرم رطوبت تبخیر شده (kg) ، h_{fg} = گرمای نهان تبخیر (kJ/kg) ، A_c = مساحت کلکتور (m²) ، I_T = شار تابشی خورشید در منطقه (W/m²) ، Q_f = توان الکتریکی فن (W) ، t = زمان (s)

شاخصهای کیفی بررسی شده در محصولات خشک شده

علاوه بر موارد مربوط به فرایند خشک کردن زردآلو و هلو، ارزیابی بار میکروبی و ارجحیت مصرف محصولات خشک شده نیز انجام شد لازم بذکر است که تعیین میزان رطوبت اولیه و رطوبت نهایی محصولات مورد آزمایش برپایه تر با استفاده از روش آنو

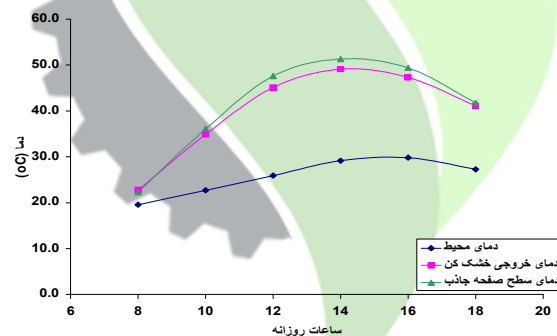


روشهای استاندارد انجام شد (AOAC 1990). همچنین مواد شیمیایی مورد استفاده از کارخانه مرکو با درجه خلوص بالا تهیه شدند. ارزیابی بار میکروبی با شمارش کلی میکروارگانیسمها مطابق با روش استاندارد ملی شماره ۵۲۷۲ انجام شد. (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۶). ارجحیت مصرف تیمارهای مختلف خشک شده نسبت به نمونه شاهد (خشک شده در شرایط محیط) با استفاده از روش مصرف کننده گرا در بین مصرف کنندگان سنجیده شد (قاضی زاده و رازقی، ۱۳۷۷).

نتایج و بحث:

مقایسه روند تغییرات دمای خشک کن و محیط

داده های بدست آمده از روند تغییرات دما در خشک کن آفتابی و محیط، مبین تاثیر بهینه دستگاه در جذب گرما و افزایش دما بوده و همواره در طول روز تغییرات دما در داخل خشک کن در سطح بالاتری نسبت به محیط قرار داشت. این افزایش ناشی از در تله افتادن تشعشعات خورشیدی و انرژی گرمایی وارد شده به خشک کن بود. افزودن صفحه جاذب و کنترل دبی هوای خروجی در افزایش اختلاف سطح تغییرات دمای خشک کن و محیط تاثیر قابل توجهی داشت که در ادامه به تفصیل به آن پرداخته می شود. برای نمونه روند تغییرات دمای خشک کن خورشیدی در طول یک روز تابستانی در شکل ۲ ارائه شده است. همانگونه که در شکل ۶ ملاحظه می شود دمای سطح صفحه جاذب در محدوده بالاتری از دمای هوای خروجی قرار دارد و اختلاف بین آنها در اواسط روز بیشتر می گردد.



شکل ۲- تغییرات دما در طول یک روز تابستانی در خشک کن آفتابی با صفحه جاذب فلزی و همرفت طبیعی (فن خاموش)

مقایسه تاثیر صفحات جاذب و عملکرد فن در عملکرد خشک کن

در حالی که دستگاه به صورت خالی در معرض تابش مستقیم خورشید قرار داشت و صفحات جاذب دستگاه در روزهای متوالی تعویض می شد، تاثیر صفحات جاذب و عملکرد فن در عملکرد خشک کن بررسی شد. برای این منظور مطابق با منابع موجود متوسط تابش روزانه خورشید برای ماههای تابستان 579 w/m^2 در نظر گرفته شد (حاج سقطی، ۱۳۸۰). همچنین با استفاده از هند بوک مقدار گرمای ویژه هوا $1.012 \text{ (C}_p\text{) kJ/kg}^\circ\text{C}$ و چگالی هوا (ρ) در دمای 20°C $1/164 \text{ kg/m}^3$ نیز در محاسبه راندمان دستگاه

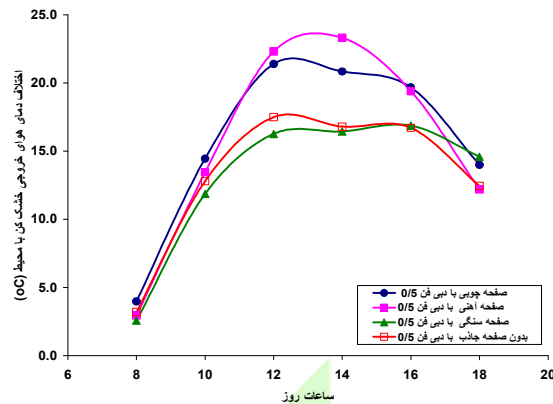


لحاظ گردید (توکلی پور، ۱۳۸۴). بررسی های انجام شده نشان داد که وجود صفحات جاذب و عملکرد فن در راندمان کاری دستگاه خشک کن (جذب وانتقال هوای گرم) بسیار تاثیر گذار می باشد (جدول ۱). همانگونه که در جدول ملاحظه می گردد در هر سه حالت کار کرد فن تاثیر وجود صفحات جاذب چوب و آهن در افزایش راندمان خشک کن موثر می باشند و این مقدار را بطور متوسط تا حدود ۲۰ درصد در روز هم افزایش می دهند. با توجه به افزایش اختلاف قابل ملاحظه دمای خشک کن و بیرون در ساعات ۱۲ تا ۱۴ عصر (حدود ۲۳ تا ۲۶ °C) کاربرد صفحات جاذب چوبی و فلزی موجب افزایش راندمان تا بیش از ۳۵ درصد هم می شود. بدلیل کندی واکنش گرم و سرد شدن سنگ معمولاً کمترین متوسط اختلاف دمای ملاحظه شده بین هوای خروجی خشک کن و محیط به هنگام استفاده از سنگ تیره در خشک کن اتفاق می افتاد. این پدیده در حالتی که فن با دبی $1\text{ m}^3/\text{min}$ کار می کرد بدلیل سرعت زیاد و عدم وجود زمان کافی برای تبادل گرما تاثیر کاربرد صفحات جاذب نسبت به یکدیگر کمتر از حالت های دیگر است و بدلیل افزایش قابل توجه دبی جرمی راندمان های بدست آمده در سطح بالاتری نسبت به حالت فن خاموش و همرفت طبیعی قرار می گیرند. بهترین راندمان بدست آمده از دستگاه در حالتی است که دبی فن دارای خروجی $0.5\text{ m}^3/\text{min}$ باشد. در این حالت در کنار جذب مناسب گرمای تابشی خورشید، هوای گرم با یک آهنگ مناسب از خشک کن خارج می گردد.

جدول ۱- تاثیر تغییرات صفحه جاذب و عملکرد فن بر تغییرات دما و راندمان دستگاه خشک کن

راندمان خشک کن (%)	متوسط اختلاف دما هوای ورودی و خروجی دستگاه در یک روز (°C)	دبی فن (m^3/min)	جنس صفحه جاذب
۱۴/۳	۱۷/۱	۰ (فن خاموش)	صفحه جاذب چوب سیاه
۱۸/۷	۱۷/۹	۰ (فن خاموش)	صفحه جاذب فلزی تیره
۱۰/۲	۱۶/۲	۰ (فن خاموش)	صفحه جاذب سنگ تیره
۱۲/۳	۱۶/۸	۰ (فن خاموش)	بدون صفحه جاذب
۲۱/۳	۱۳/۹	۰/۵	صفحه جاذب چوب سیاه
۲۱/۰	۱۳/۷	۰/۵	صفحه جاذب فلزی تیره
۱۸/۱	۱۱/۸	۰/۵	صفحه جاذب سنگ تیره
۲۱/۵	۱۴/۰	۰/۵	بدون صفحه جاذب
۱۹/۵	۷/۵	۱	صفحه جاذب چوب سیاه
۱۸/۴	۷/۱	۱	صفحه جاذب فلزی تیره
۱۹/۲	۷/۴	۱	صفحه جاذب سنگ تیره
۱۷/۱	۶/۶	۱	بدون صفحه جاذب

نمونه هایی از تاثیر صفحات جاذب و دبی فن بر روند تغییرات دمای هوای خروجی خشک کن در طول یک روز در شکل ۳ ارائه می گردد.



شکل ۳- روند تغییرات دمای هوای خروجی خشک کن ناشی از تاثیر صفحات جاذب در دبی فن $0/5 \text{ m}^3/\text{min}$.

بررسی فرایند خشک کردن هلو و زرد آلو در خشک کن

بررسی منابع نشان داد که رطوبت مجاز نگهداری زرد آلو و هلو خشک شده در حدود ۲۵ درصد بر پایه تر و کمتر می باشد (زمردی، ۱۳۸۶). لذا زمان خشک شدن محصولات ذکر شده برای محدوده رطوبتی ۱۸ تا ۲۰ درصد بر پایه تر در نظر گرفته شد. داده های تحقیق نشان داد که وجود خشک کن در افزایش آهنگ خشک شدن محصولات هلو و زردآلو موثر بوده و می تواند تا حدود ۳۰ درصد در کاهش زمان خشک کردن محصول نسبت به شرایط محیطی موثر باشد. با کاربرد صفحه های جاذب و تهویه مناسب در دستگاه خشک کن راندمان خشک کردن محصول بهبود خواهد یافت و در برخی از موارد و شرایط مناسب تابش خورشید در محیط زمان خشک شدن محصول حدود ۴۵٪ از شرایط محیطی سریعتر می شود (جدول ۲). داده های بدست آمده در تحقیق نشان داد که در مقایسه با صفحات جاذب چوبی و فلزی کاربرد صفحات جاذب سنگی تاثیر قابل توجهی در بهبود راندمان خشک کن آفتابی نداشت و حتی در بعضی از موارد نسبت عدم استفاده از صفحه جاذب در خشک کن نیز تاثیر کمتری در بهبود فرایند خشک شدن محصول داشت. بررسی های انجام شده نشان داد که علت این مسئله سرعت پایین جذب گرمای خورشید در سنگ نسبت به صفحات جاذب دیگر می باشد. همین مسئله موجب میشد که در موقع استفاده از صفحه جاذب سنگی، در اوایل صبح تغییرات وزن محصول در خشک کن کمتر از ساعات دیگر در طول روز باشد. در مقایسه بهبود تاثیر هر سه نوع صفحه در شرایط مختلف جریان هوا در خشک کن نتیجه گیری شد که کاربرد صفحات جاذب چوبی و فلزی تاثیر بهتری در فرایند خشک شدن داشت. لذا می توان توصیه نمود که در هنگام کاربرد خشک کنهای آفتابی ترجیحاً از صفحات جاذب چوبی و آهنی استفاده شود. همچنین بررسی ها نشان داد که هنگامی که دبی هوای خروجی $0/5 \text{ m}^3/\text{min}$ باشد عملاً فرایند خشک شدن محصول بهتر بود. اگر چه در حالتی که فن دستگاه خاموش بود اختلاف دمای ملاحظه شده بین هوای خروجی خشک کن و محیط بیشترین مقدار را داشت، اما فرایند خشک شدن محصول کند تر از حالتی بود که فن با دبی $0/5 \text{ m}^3/\text{min}$ مشغول به کار بود. این مسئله موید آن است که برای بهبود فرایند خشک کردن محصول نیاز به تهویه مناسب در خشک کن می باشد. البته بایستی توجه نمود که در صورت افزایش تهویه از تاثیر گرما



ایجاد شده در خشک کن کاسته خواهد شد، زیرا سرعت حرکت سیال گرم (هواگرم ایجاد شده در خشک کن آفتابی) بیشتر از سرعت انتقال رطوبت از لایه درونی محصول به سطح می باشد. در واقع انرژی تابشی تولید شده در خشک کن خورشیدی در اثر جریان هوای ایجاد شده در دستگاه به سرعت خارج شده و سبب کاهش دمای سطح ماده می شود. لذا هنگامی که فن با دبی $1 \text{ m}^3/\text{min}$ کار می کند، سرعت خشک شدن محصول کمتر از حالتی است که فن دستگاه با دبی $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ کار می کند. در تحقیق جمالی و همکاران نیز نتیجه گیری شده بود در خشک کن خورشیدی تغییرات جابجایی هواتاثير قابل توجهی بر روند تغییرات رطوبت در سه محصول زردآلو و لوبیا ندارد و نیازی به سرعت بالا جریان هوا در خشک کن مذکور نمی باشد (Al-Juamily *et al.*, 2007).

تاثیر صفحات جاذب بر راندمان فرایند خشک کردن محصولات زردآلو و هلو

با توجه به در نظر گرفتن ظرفیت دستگاه و مدت زمان خشک کردن هر کدام از محصولات زرد آلو و هلو، راندمان فرایند خشک کردن محصولات ذکر شده در جدول ۳ ارائه شده است. همانگونه که در جدول ۳ مشخص است ملاحظه می شود که صفحات جاذب در راندمان فرایند هر دو محصول تاثیر داشته اند. این تاثیر با کاربرد تهویه مناسب در خشک کن بارزتر می باشد. همچنین در مجموع راندمان روزانه فرایند خشک کردن محصول در خشک کن مورد آزمون در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد می باشد که کاربرد صفحات جاذب چوبی و فلزی چند درصدی به بهبود راندمان دستگاه افزوده و آنرا به ۳۰ تا ۳۱ درصد افزایش می دهد. در تحقیق جمالی و همکاران نیز راندمان خشک کردن برگه زرد آلو حدود ۳۳ درصد گزارش شده بود (Al juamily *et al.* 2007).



جدول ۲- تاثیر تغییرات صفحه جاذب و عملکرد فن بر خشک شدن زرد آلو هلو

مزیت دستگاه نسبت به محیط در کاهش زمان خشک شدن هلو (%)	متوسط زمان لازم برای خشک شدن هلو در محیط (ساعت)	متوسط زمان لازم برای خشک شدن هلو (ساعت)	مزیت نسبت به محیط در کاهش زمان خشک شدن زردآلو (%)	متوسط زمان لازم برای خشک شدن زرد آلو در محیط (ساعت)	متوسط زمان لازم برای خشک شدن زرد آلو در خشک کن (ساعت)	متوسط زمان لازم برای خشک شدن زرد آلو در خشک کن (ساعت)	جنس صفحه جاذب
۴۶/۸	۴۷	۲۵	۴۵/۲	۶۲	۳۴	۳۴	صفحه جاذب چوب سیاه
۳۶/۰	۵۰	۳۳	۳۷/۸	۷۴	۲۶	۲۶	صفحه جاذب فلزی تیره
۳۳/۳	۴۵	۳۰	۲۹/۶	۷۱	۵۰	۵۰	صفحه جاذب سنگ تیره
۳۴/۶	۵۲	۳۴	۳۳/۳	۷۵	۵۰	۵۰	بدون صفحه جاذب
۴۹/۰	۴۹	۲۵	۴۶/۲	۵۲	۲۸	۲۸	صفحه جاذب چوب سیاه
۴۱/۷	۴۸	۲۸	۴۲/۹	۵۶	۳۳	۳۳	صفحه جاذب فلزی تیره
۳۲/۰	۵۰	۳۴	۳۳/۳	۵۱	۳۴	۳۴	صفحه جاذب سنگ تیره
۲۸/۳	۵۳	۲۸	۲۸/۶	۵۶	۴۰	۴۰	بدون صفحه جاذب
۳۷/۵	۴۰	۲۵	۳۹/۲	۴۸	۳۴	۳۴	صفحه جاذب چوب سیاه
۳۸/۱	۴۲	۲۶	۳۲/۷	۵۲	۲۵	۲۵	صفحه جاذب فلزی تیره
۲۲/۲	۴۵	۲۵	۲۵/۰	۶۰	۴۵	۴۵	صفحه جاذب سنگ تیره
۲۶/۳	۳۸	۲۸	۳۰/۸	۵۲	۳۶	۳۶	بدون صفحه جاذب

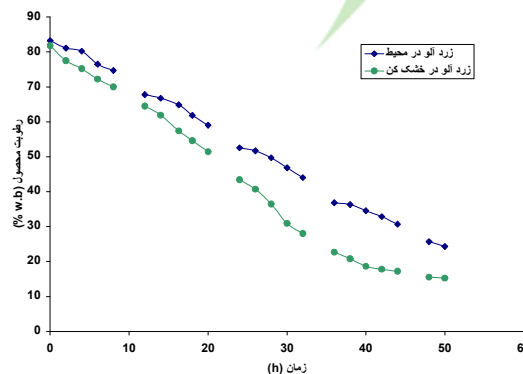


جدول ۳- تاثیر تغییرات صفحه جاذب و عملکرد فن بر راندمان فرایند خشک کردن زردآلو و هلو

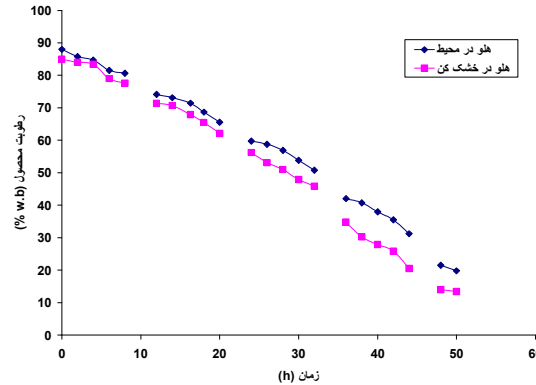
جنس صفحه جاذب	دبی فن (m ³ /min)	راندمان روزانه فرایند خشک کردن زردآلو (%)	راندمان روزانه فرایند خشک کردن هلو (%)
صفحه جاذب چوب سیاه	۰ (فنخاموش)	۳۰/۸	۲۸/۹
صفحه جاذب فلزی تیره	۰ (فنخاموش)	۳۱/۴	۲۹/۵
صفحه جاذب سنگ تیره	۰ (فنخاموش)	۳۱/۵	۲۴/۶
بدون صفحه جاذب	۰ (فنخاموش)	۳۰/۶	۲۶/۴
صفحه جاذب چوب سیاه	۰/۵	۳۱/۳	۳۰/۳
صفحه جاذب فلزی تیره	۰/۵	۳۴/۱	۳۶/۲
صفحه جاذب سنگ تیره	۰/۵	۲۹/۰	۲۸/۳
بدون صفحه جاذب	۰/۵	۳۰/۳	۲۹/۳
صفحه جاذب چوب سیاه	۱	۲۶/۲	۲۳/۸
صفحه جاذب فلزی تیره	۱	۲۴/۴	۲۰/۴
صفحه جاذب سنگ تیره	۱	۲۰/۲	۱۶/۸
بدون صفحه جاذب	۱	۲۶/۷	۲۴/۷

روند تغییرات رطوبت و آهنگ خشک شدن زردآلو و هلو در خشک کن

مشابه با روند تغییرات رطوبت مواد در خشک کنهای هوای گرم، تغییرات رطوبت زردآلو و هلو در داخل خشک کن با شیب بیشتر بوده و آهنگ تبخیر آب سریعتر بود. نتایج بدست آمده مبین آن بود که در دبی های مختلف هوای خروجی با توجه به ماهیت و خواص فیزیکی محصول روند خروج رطوبت لایه های داخلی با گرما تاثیر بیشتری می گرفت و محصول سریعتر خشک می گردید. این تاثیر پذیری هرچند به هنگام همرفت طبیعی هوا در خشک کن زیاد بود اما در دبی هوای خروجی ۰/۵ m³/min میزان هوای مرطوب خارج شده از خشک کن بیشتر بوده و عملکرد دستگاه روی خشک کردن محصول بهتر بود. بررسی های انجام شده نشان داد که در مقایسه با محیط آزاد، هنگام بکار گیری صفحات جاذب فلزی یا چوبی تاثیر گرمای ایجاد شده در خشک کن بر کاهش رطوبت زردآلو یا هلو بیشتر بود. این تاثیر در خشک کردن زردآلو بارزتر بوده و آهنگ خشک کردن راسریعتر می نمود. به عنوان نمونه مقایسه روند تغییرات رطوبت زردآلو و هلو در خشک کن و محیط به هنگام استفاده از صفحات جاذب چوبی در اشکال ۴ و ۵ ملاحظه می گردد.



شکل ۴- مقایسه روند خشک کردن زردآلو در محیط و خشک کن آفتابی با صفحه جاذب چوبی و دبی هوای خروجی ۰/۵ m³/min



شکل ۵- مقایسه روند خشک کردن هلو در محیط و خشک کن آفتابی با صفحه جاذب چوبی و دبی هوای خروجی $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$

تأثیر صفحه جاذب و دبی بر ویژگیهای میکروبی هلو و زرد آلو

در جدول ۴ تأثیر استفاده از خشک کن با شرایط مختلف در مقایسه با روش خشک کردن در محیط بر بار میکروبی (total count) نمونه های بررسی شده است. برخلاف انتظاری که به طور معمول از خشک کنها می رود، در حالت فن خاموش (دبی صفر) و در اغلب موارد بار میکروبی محصول در مقایسه با نمونه محیطی معادل، افزایش چشمگیری داشته است. به نظر میرسد مهمترین دلیل آن است که در فصل گرم تابستان، استفاده از محفظه بدون جریان هوا، باعث گرمتر شدن سریع نمونه و تبخیر بیشتر آب میشود، بخار آب موجود در محیط مدت زمان بیشتری با سطح نمونه ها در تماس است و گرما و رطوبت بالا شرایط بسیار مناسبی را برای رشد کپکها، مخمرها و افزایش کلی بار میکروبی فراهم می کند، لذا در فصول گرم سال استفاده از فن برای جابه جایی هوای مرطوب مجاور نمونه ها ضروری است. همچنین مشاهده میشود در حالت فن خاموش استفاده از صفحه جاذب چوب در مقایسه با دو صفحه دیگر باعث افزایش بار میکروبی نمونه شده است. کاربرد صفحات چوبی به دلیل دارا بودن خاصیت حفظ و ماندگاری گرما در زمانهای طولانی و ایجاد شرایط دمایی مناسب در خشک کن امکان رشد و توسعه میکروارگانیسمهای مختلف را در مواد غذایی موجود در خشک کن فراهم می سازند. تفاوت در نوع میکروارگانیسمها به خصوص با تفاوت بین افزایش شمار میکروبی در ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از کشت قابل ذکر است. لذا استفاده از صفحات چوبی بخصوص در محیط های بسته و با تهویه کم توصیه نمی شود. نتایج نشان می دهند که استفاده از خشک کن با هر نوع صفحه جاذبی و استفاده از فن با دبی های 0.5 و 1 باعث کاهش بسیار قابل ملاحظه بار میکروبی در مقایسه با نمونه های خشک شده در محیط شده است که از این نظر خشک کن های دارای تهویه مناسبار جیت قابل توجهی دارند.

مقایسه ارجحیت مصرف زرد آلو و هلو خشک شده دستگایبیا نمونه شاهد

نظرات مصرف کنندگان نشان داد که طعم موجود در نمونه های خشک شده با دستگاه در بسیاری از موارد بهتر از نمونه های خشک شده در شرایط محیطی بود اما بررسی های انجام شده در بازار مصرف نشان داد که در نمونه های خشک شده در خشک کن آفتابی با صفحات جاذب آهنی و چوبی به دلیل تابش مستقیم و اختلاف دمای شدید با محیط علیرغم کاهش زمان



تولید، دارای رنگ تیره تر از نمونه های خشک شده در شرایط محیط موجب کاهش قیمت پیشنهادی ۱۵ تا ۳۰ درصد بود (شکل ۶). به طور کلی دما در خشک کن خورشیدی به کار رفته در این تحقیق بیشتر از دمای محیط بوده است. مطالعات نشان می‌دهند که در محدوده دمای ۰-۹۰ درجه سانتی گراد، سرعت واکنش قهوه ای شدن غیر آنزیمی از معادله آرنیوس تبعیت می‌کند (سحری، ۱۳۸۱)، از این رو کمتر بودن دما بر کاهش سرعت واکنشهای قهوه ای شدن و در نتیجه بر بهبود ویژگیهای رنگ محصول مؤثر است.



شکل ۶- نمونه های برگه های زردآلو خشک شده با خشک کن آفتابی و محیط

این تأثیر در برگه های هلو بیشتر مشهود بود، بطوریکه در برخی نمونه های خشک شده رنگ ظاهری محصول به سیاهی می زد. دلیل این امر قهوه ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی سریع هلو تحت تأثیر دما و نور بود. البته طبق مشاوره با متخصصان صنایع غذایی مشخص شد که رقم هم در بروز سیاهی محصول خشک شده تأثیر داشته است (شکل ۷). در همین رابطه پیشنهاد می شود برای خشک کردن برگه هلو با انجام فرایند آنزیم بری میزان تغییرات رنگ محصول خشک شده را به حداقل رساند.



شکل ۷- نمونه های برگه های هلو خشک شده با خشک کن آفتابی و محیط

ترجیحاً اگر محصول در شرایطی با نور کمتر و گرمای مناسب خشک شود بازارپسندی بهتری خواهد داشت. هرچند که نمونه های خشک شده در خشک کن آفتابی دارای طعم بهتری داشتند اما در مجموع مصرف کنندگان به نمونه های دارای رنگ روشن تر و وضعیت ظاهری بهتر تمایل بیشتری داشتند. البته طعم و گوشتی بودن نمونه های خشک شده در شرایط گرمای معتدل و تهویه خوب یکی دیگر از عواملی بود که در تمایز نمونه های خشک شده با یکدیگر نقش داشت. هنگامی که فن دستگاه با دبی $1 \text{ m}^3/\text{min}$ هوا را تهویه می کرد، برگه های زردآلو و هلو خشک شده در دستگاه محبوبیت بیشتری نسبت به باقی نمونه ها داشتند. اگر کنترل روی فرایند خشک کردن در خشک کنهای خورشیدی بیشتر باشد، کیفیت محصولات خشک شده با استفاده از خشک کنهای خورشیدی در مقایسه با خشک کردن سنتی در آفتاب از جنبه عطر و طعم، رنگ و بافت



مطلوبتر می‌باشد، زیرا محصولات در خشک کنهای خورشیدی در برابر بارندگی، حشرات و گرد و خاک بهتر حفاظت می‌شوند (Bala et al., 2003; Supranto et al., 1999).

نتیجه گیری

کاربرد خشک کنهای آفتابی تا حدود ۳۵ درصد زمان خشک شدن محصول را کاهش می‌دهد. کاربرد صفحات جاذب مناسب می‌تواند تا حدود ۱۰ درصد بر راندمان خشک کن آفتابی اضافه کند. به هنگام خشک کردن محصول با استفاده از خشک کن آفتابی نکته بسیار حائز اهمیت نحوه تهویه خشک کن می‌باشد زیرا گاهاً وقتی جرم رطوبت موجود در سیستم زیاد باشد نیاز به تهویه بیشتر و هنگامی که مقدار جرم رطوبت محصول در حد کم باشد همان تهویه طبیعی برای سیستم خشک کن کافی است. پس میزان تهویه مورد نیاز یک خشک کن آفتابی تابعی از رطوبت محصول و تغییرات آن در خشک کن خواهد بود. به همین دلیل هنگام خشک کردن برگه های زردآلو و هلو بهترین عملکرد دستگاه در دبی هوای $0.5/5 \text{ m}^3/\text{min}$ شرایط خشک کردن محصول بهینه بود. در هنگام خشک کردن محصولات حساس به تایش مستقیم نور خورشید مثل برگه هلو از خشک کنهای غیر مستقیم استفاده شده و در صورت لزوم آنزیم بری انجام گردد. کاربرد صفحات جاذب چوب و آهن بیشترین تاثیرات را روی خواص کیفی محصولات مورد آزمون داشتند. این تاثیرات در مورد ارجحیت مصرف هلو و زرد آلو قابل توجه بود. کاربرد خشک کن آفتابی با تهویه مناسب تا حد قابل قبولی می‌تواند در کاهش بار میکروبی محصولات خشک شده مفید باشد. این تاثیر در مورد هلو و زرد آلو کاملاً مشهود بود.

منابع

۱. آزاد، ع.، ح. پناهنده، س. ج. قائم مقامی و ف. گئولا. ۱۳۶۶. انرژی خورشیدی، مبانی (جلد اول). انتشارات دانشگاه تهران.
۲. توکلی پور، ح. ۱۳۸۴. اصول مهندسی صنایع غذایی. انتشارات آبیژ، تهران.
۳. حاج سقطی، ا. ۱۳۸۰. اصول و کاربرد انرژی خورشیدی. انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
۴. زمردی، ش. ۱۳۸۶. تکنولوژی فرآوری میوه های خشک و کنترل کیفیت آنها. انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد آذربایجان غربی.
۵. سحری، م. ع. ۱۳۸۱. شیمی واکنشهای قهوه ای شدن در مواد غذایی. انتشارات اندیشمند. تهران.
۶. قاضی زاده، م و س. ع. رازقی. ۱۳۷۷. روشهای ارزیابی حسی مواد غذایی. انتشارات انستیتو تحقیقات تغذیه ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی شهید بهشتی، تهران.
۷. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۱۳۸۶. میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام- روش جامع برای شمارش کلی میکروارگانیسمها در ۳۰ درجه سلسیوس. تجدید نظر اول. استاندارد ملی ایران. شماره ۵۲۷۲.
8. Ait Mohamed L., M. Kouhila, A. Jamali, S. Lahsasni, N. Kechaou and M. Mahrouz. 2005. Single layer solar drying behaviour of *Citrus aurantium* leaves under forced convection. Energy Conversion and Management, Volume 46, Issues 9-10: 1473-1483.
9. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 18th edition. W. Horwis (editor). Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
10. Bala, M., M. Mondol, B. Biswas, B. Choudhury and S. Janjal. 2003. Solar drying of pineapple using solar tunnel dryer. Renewable Energy, 28: 183-190.



11. Canovas, V.G. and H. V. Mercado , .1996. Dehydration of Food. Chapman & Hall publishers. New York, U.S.A
12. Chakraverty, A. , A.S. Mujumdar, G.S.V. Raghavan and H. S. Ramaswamy .2003. Handbook of postharvest technology. Marcel Dekker Inc. New York, USA.
13. Ekechukwu, O. V. and B. Norton .1999. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. Energy Conversion and Management. 40: 615-655.
14. Falade, K. O., E. Abbo, .2007. Air-drying and rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera L.*) fruits. Journal of Food Engineering, 79, 724-730.
15. Ghazanfari A.L. Tabil Jr. , Sh. Sokhansanj .2003. Evaluating a Solar Dryer for In-Shell Drying of Split Pistachio Nuts. Drying Technology, 21, 7: 1357-1368.
16. Hossain, M.A and B.K. Bala .2007. Drying of hot chilli using solar tunnel drier. Solar Energy, 81, 1, : 85-92.
17. Hui, Y. H. , C. Clary, M. M. Farid, O.O Fasina, A. Noomhorm and J. Welti-phanes. 2008. Food Drying Science and technology. DES tech Publications, Inc. USA.
18. Karim M. A. and M.N. A. Hawlader (2003) Development of solar air collectors for drying applications. Energy conversion and management. 45(3): 329-344.
19. Khattab, N. M. 1996. Development of an Efficient Family Size Solar Dryer, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 18:1, 85 - 93.
20. Koyuncu T. 2006. An Investigation on the performance Improvement of greenhouse-type agricultural dryers. Renewable Energy 31 : 1055-1071.
21. Mazza, G. 1984. Sorption isotherms and drying rates of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) Journal of Food Science, 49 : 384-388.
22. Mursalim, Supratomo, Yuliani Shinta Dewi .2002. Drying of cashew nut in shell using solar dryer. Sci&Tech, Vol. 3 No.2, Agustus 2002: 25-33
23. Supranto, S. K., W. Daud, M. Othman and B. Yatin. 1999. Design of an experimental solar assisted dryer for palm oil fronds. Renewable Energy, 16: 643-646.
24. Tiris C. , M. Tiris and I. Dincer .1999. Experiments on a new small-scale solar dryer. Applied Thermal Engineering, Volume 16,(2): 183-187
25. Usub, T. , N. Poomsa-ad, L. Wiset and C. Lertsatitthakorn .2006. Solar Drying of Silkworm Chrysalis Using a Triangle Solar Tunnel Drier. Proceeding of The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment. Bangkok, Thailand.
26. Yaldyz, O. and C. Ertekyn .2001. 'Thin layer solar drying of some vegetables. Drying Technology, 19:3, 583 - 597



جدول ۴- تأثیر تغییرات صفحه جاذب و عملکرد فن بر شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها هلو پس از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت

۷۲ ساعت		۴۸ ساعت		۲۴ ساعت		نسبت میکرو ارگانیسم های زرد آلو در خشک کن به محیط	نسبت میکرو خشک کن به محیط	دبی فن (m ³ /min)	جنس صفحه جاذب
نسبت میکرو ارگانیسم های هلو خشک کن به محیط	نسبت میکرو ارگانیسم های زرد آلو در خشک کن به محیط	نسبت میکرو خشک کن به محیط	نسبت میکرو ارگانیسم های زرد آلو در خشک کن به محیط	نسبت میکرو خشک کن به محیط	نسبت میکرو ارگانیسم های زرد آلو در خشک کن به محیط				
۰/۹۷	۰/۴۰	۰/۸۳	۰/۰۲	۲۶/۲۱	۰/۰۱	+	(فنخاموش)	صفحه جاذب چوب سیاه	
۱۱/۰۵	۰/۱۹	۱۳/۰۵	۰/۲۰	۲۵/۲۵	۰/۰۴	*	(فنخاموش)	صفحه جاذب فلزی تیره	
۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۷۱	۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۳۳	*	(فنخاموش)	صفحه جاذب سنگ تیره	
۱/۳۷	۰/۴۹	۱/۱۵	۷/۱۰	۴۵/۶۵	۱/۰۳	*	(فنخاموش)	بدون صفحه جاذب	
۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۰۵	۰/۴۴	۰/۰۰۲	۰/۶۲	+	۰/۵	صفحه جاذب چوب سیاه	
۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۱۲	۱/۳۰	۰/۰۸	+	۰/۵	صفحه جاذب فلزی تیره	
۰/۳۲	۱/۸۰	۰/۲۱	۱/۶۱	۰/۱۴	۰/۴۵	+	۰/۵	صفحه جاذب سنگ تیره	
۰/۹۲	۰/۰۵	۰/۷۷	۰/۰۳	۰/۶۶	۰/۰۱	+	۰/۵	بدون صفحه جاذب	
۱/۰۴	۱/۷۴	۰/۹۲	۰/۲۳	۰/۶۶	۰/۹۶	۱	۱	صفحه جاذب چوب سیاه	
۰/۰۲	۲۸/۷۲	۰/۰۲	۳/۷۵۰	۰/۰۰۵	۰/۲۵۱	۱	۱	صفحه جاذب فلزی تیره	
۰/۳۱	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۱	۱	۱	صفحه جاذب سنگ تیره	
۰/۰۰۴	۱/۲۷	۰/۰۰۴	۰/۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۸۰	۱	۱	بدون صفحه جاذب	



Fabrication and assessment of a pilot solar dryer for agricultural products

Hamid reza Gazor^{1*} Karim Gerami² Keyhan Sherafati³

- 1- Assistant professor of Agricultural Engineering Research Institute, hgazor@yahoo.com
- 2- Researcher of Agricultural Engineering Research Institute
- 3- Researcher of Agricultural Engineering Research Institute

Abstract

After fabrication of a pilot direct solar dryer, influence of three black absorption plates (iron, wood, stone) at variable airflows were investigated on drying process of three agricultural products (apricot and peach slices). All experiments in dryer compared with environmental drying process for each sample. Results showed that using solar dryer decreased 30-35% of drying time in compare with environmental drying. Suitable absorption plates such as iron or wood increased 10% dryer efficiency. The best airflow in drying process of apricot and peach was $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$. Regarding to dried products, using iron and wood as absorber plates had the most effective on quality properties of tested products. Using aeration in dryer can reduced microbiological growth in materials and it was more evident in apricot and peach drying process. In addition, in this research, concluded that, it is better sensitive products such as peach be dried conduct using indirect solar dryer with pre treatment.

Key word: Solar dryer, Absorber plates Apricot, Peach