

تأثیر بازگشت جریان هوا در خشک کن خورشیدی بر انرژی مصرفی خشک کردن و راندمان

امیدرضا روستاپور^{۱*}، احمد افسری^۲، یاسر جهانگیر^۳

۱. استادیار بخش فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس

۲. استادیار گروه مکانیک دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز

۳. کارشناس ارشد دانشکده مهندسی، گروه مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۰/۱)

چکیده

خشک کن خورشیدی ترکیبی مجهز به مکانیزم خاص تغییر زاویه جمع کننده برای آزمایش‌ها به کار گرفته شد. راندمان خشک کن به دلایلی مانند اتلاف گرما و خروج آن در مدار باز، پایین است. بازگشت جریان به ورودی باعث افزایش راندمان خشک کن و کاهش زمان خشک شدن می شود. برای خشک کن مکانیزمی جدید شامل دو دریچه قابل تنظیم (دمپر) در خروجی در نظر گرفته شد که میزان بازگشت جریان را کنترل می کنند. برای بررسی تأثیر برگشت جریان هوای گرم خروجی از مخزن بر راندمان و انرژی مصرفی، ورقه های نازک گوجه فرنگی در ۳ سطح جریان (۰/۰۱۸، ۰/۰۳۶، و ۰/۰۵۴ متر مکعب بر ثانیه) و ۴ سطح برگشت جریان (صفر، ۵۰، ۷۵، و ۸۷/۵ درصد) خشک شدند. تمام آزمایش‌ها در ابتدای فصل پاییز و تا رسیدن محصول به رطوبت ۱۲ درصد (بر پایه تر) انجام شد. نتایج نشان داد که ۷۵ درصد برگشت جریان حداقل مصرف انرژی و بیشترین راندمان را به دنبال داشت.

کلیدواژگان: انرژی مصرفی، بازگشت جریان، خشک کن خورشیدی، راندمان.

مقدمه

Koyoncu (2006) در تحقیقی به بررسی خشک کردن و نیازمندی انرژی گرمایی در سرعت هوای ۰/۳، ۰/۶، و ۰/۹ متر بر ثانیه پرداخت. نتایج نشان داد که خشک کردن در سرعت هوای ۰/۳ متر بر ثانیه کمترین مصرف انرژی و در سرعت هوای ۰/۹ متر بر ثانیه بیشترین مصرف انرژی را در برداشت. Moradi and Zomorodian (2008) اقدام به طراحی، ساخت، و ارزیابی خشک کن خورشیدی کردند و دو حالت ترکیبی و غیرمستقیم و چهار جریان متفاوت هوا (سه جریان فعال و یک جریان غیرفعال) را برای خشک کردن زیره سبز به کار گرفتند. براساس نتایج به دست آمده، دو فاکتور نحوه خشک کردن و سرعت جریان هوای خشک کننده اثر معنی داری بر مدت زمان خشک شدن داشته اند.

در تحقیقی دیگر تیغه ای چرخشی در مدخل ورودی مخزن خشک کن خورشیدی برای به چرخش درآوردن هوا و هم چنین ۳۲ قطعه تسمه فلزی خم شده به ابعاد ۳*۵*۲۱ میلی متر در داخل مخزن خشک کن تعبیه شد. در این خشک کن از جمع کننده ای خورشیدی با سطح پلکانی به منظور افزایش سطح جذب برای تأمین هوای گرم لازم برای خشک کردن استفاده شد. براساس نتایج، خشک کردن محصولات کشاورزی در این خشک کن در زمان کمتری انجام شد و به عبارتی راندمان خشک کردن افزایش یافت (Cacmak and Yildiz, 2009).

با توجه به بحران انرژی، کشورها به استفاده از انرژی های ارزان و کم هزینه چون انرژی های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشید روی آورده اند. خورشید میزان زیادی انرژی دارد و می تواند درصد زیادی از انرژی لازم تجهیزات گوناگون مانند خشک کن ها را فراهم آورد. استفاده از نور خورشید برای خشک کردن محصولات کشاورزی همچون میوه ها غالباً به روش سنتی با پهن کردن میوه در مجاورت آفتاب صورت می گیرد. به علت زیان های ناشی از حمله قارچ ها، حشرات، پرندگان و جوندگان، ریزش باران های غیرمنتظره، و تغییرات زیاد در میزان تابش، محدودیت های زیادی در خشک کردن به روش سنتی مانند کاهش کیفیت محصول نهایی، غیریکنواختی خشک کردن، و افزایش مدت زمان خشک کردن وجود دارد. در سال های اخیر تلاش های زیادی در راستای استفاده بهینه از انرژی تابش خورشید برای خشک کردن محصولات شده است. اجزای اصلی خشک کن خورشیدی شامل واحد جذب انرژی خورشیدی، شاسی، فن برای ایجاد جریان اجباری هوای گرم در خشک کن، محفظه استقرار سینی های محصول، و دیفیوزر (کانال ارتباطی بین واحد جذب و محفظه خشک کن) است.

خشک‌کن شامل واحد جمع‌کننده خورشیدی، مخزن، سینی‌های نگهداری محصول، فن و ترموکوپل‌های نوع K برای اندازه‌گیری دما، گرم‌کن برقی، و تابلوی برق بود. همه آزمایش‌ها در فصل پاییز انجام شد بنابراین برای دریافت بهتر تابش، با توجه به عرض جغرافیایی منطقه که حدود ۳۰ درجه است، زاویه واحد جمع‌کننده نسبت به افق در این فصل ۴۵ درجه در نظر گرفته شد (Duffie and Beck man, 1991).

ساخت کانال برگشت جریان هوا

هوای خروجی از مخزن خشک‌کن دمای بالایی دارد، بنابراین استفاده مجدد از هوای گرم خروجی باعث بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن و افزایش راندمان می‌شود. برای به‌کارگیری مجدد از هوای گرم خروجی و برگشت‌دادن آن، کانال برگشت هوای گرم ساخته شد و بین خروجی مخزن و ورودی واحد جمع‌کننده قرار گرفت. با توجه به اینکه برگشت کامل هوای خروجی به افزایش بیش از حد رطوبت در محیط داخلی خشک‌کن می‌انجامد و در نتیجه باعث افزایش انرژی مصرفی و کاهش راندمان خشک‌کن و سرانجام عدم تکمیل فرایند می‌شد، بنابراین در مجموعه کانال برگشت چهار دریچه^۱ برای تنظیم میزان هوای برگشتی، هوای ورودی به خشک‌کن، و هوای خروجی به محیط بیرون تعبیه شد. یکی از دریچه‌ها وظیفه تنظیم میزان هوای ورودی به خشک‌کن، دریچه دیگر تنظیم هوای خروجی از خشک‌کن، و دو دریچه دیگر در کانال برگشت تعبیه شده است که عهده‌دار تنظیم هوای برگشتی هستند. شکل ۱ کانال برگشت و اجزاء تشکیل‌دهنده و نصب‌شده آن بر خشک‌کن را نشان می‌دهد.

برای ارزیابی خشک‌کن سه سطح جریان هوای ۰/۱۸، ۰/۳۶، و ۰/۵۴ متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته شد. این سطوح جریان با تغییر دور فن قابل دستیابی است. برای رسیدن به شرایط بهینه خشک‌کردن از نظر زمان خشک‌شدن و مصرف انرژی، آزمایش‌ها در چهار سطح بازبودن دریچه‌های بازگشت هوا انجام شد. این حالات شامل، بسته‌بودن کامل دریچه‌ها و بازبودن در سه سطح ۵۰، ۷۵، و ۸۷/۵ درصد بود. مقادیر درصدی ذکرشده معادل با زوایای صفر، ۲۲/۵، ۴۵، و ۶۷/۵ درجه دریچه در مقایسه با خط عمود بر جهت جریان در لوله برگشت بود. ارزیابی با خشک‌کردن لایه‌های نازک گوجه فرنگی به ضخامت ۶ میلی‌متر انجام شد. در فواصل زمانی متفاوت در طول دوره فرایند خشک‌شدن، نمونه‌ها توزین و تغییرات رطوبت در طول

خشک‌کن خورشیدی مجهز به هواکش توربین تهویه را طراحی کردند. نتایج نشان داد که در مناطق بادخیز، این هواکش جایگزین مناسبی برای فن است و می‌تواند نیاز به فن در خشک‌کن خورشیدی را برطرف کند و سرانجام منجر به کاهش مصرف انرژی شود.

Montero *et al.* (2010) به بررسی و ارزیابی کارایی خشک‌کن‌های خورشیدی پرداختند و چهار روش مستقیم، غیرمستقیم، ترکیبی، و هیبریدی را تحلیل و بیان کردند که روش ترکیبی و هیبریدی عملکرد بهتری را در مقایسه با روش‌های دیگر نشان دادند و توانستند زمان خشک‌کردن را تا ۵۰ درصد در مقایسه با روش‌های دیگر کاهش دهند. براساس نتایج، روش غیرفعال ترکیبی در قیاس با روش غیرفعال غیرمستقیم باعث افزایش دما تا ۶ درجه سلسیوس و کاهش رطوبت نسبی تا ۸ درصد شد.

Gazor (2011) در تحقیقی نشان داد که کاربرد صفحات مناسب چوبی و فلزی می‌تواند تا حدود ۱۰ درصد بر راندمان خشک‌کن بیافزاید.

در مطالعه‌ای که Lopez *et al.* (2013) بر عملکرد خشک‌کن گازی-خورشیدی انجام دادند، بازده خشک‌کردن و بازده حرارتی را محاسبه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بازده حرارتی واحد جمع‌کننده تحت تأثیر جریان انبوه هوا، انحراف زاویه صفحه جاذب، و اختلاف دمایی محیط و محیط داخلی واحد جمع‌کننده است.

خشک‌کن خورشیدی استفاده‌شده در این تحقیق خشک‌کنی ترکیبی مجهز به مکانیزم خاص برای تغییر زاویه واحد جذب انرژی خورشید و سامانه کمکی گرم‌کن برقی است. دما نیز در همه نقاط خشک‌کن اندازه‌گیری و کنترل می‌شود (Fasihzadeh naini, 2011). از محدودیت‌های خشک‌کن خورشیدی راندمان پایین آن به دلایل گوناگون مانند اتلاف هوای گرم و خروج آن از خشک‌کن در مدار باز است. برای کاهش این تلفات، مدار برگشت هوای گرم خروجی از مخزن و هدایت آن به ورودی جمع‌کننده و استفاده مجدد از آن تعبیه شده است. کانال برگشت خشک‌کن ساخته و پس از نصب برای ارزیابی کاربرد آن اقدام شد. در این راستا، آزمایش‌ها در سطوح گوناگون جریان هوا و میزان بازگشت جریان هوا انجام شد و در شرایط گوناگون خشک‌کردن، تأثیر فاکتورهای نامبرده به میزان انرژی مصرفی و راندمان بررسی شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها از خشک‌کن خورشیدی ترکیبی که مجهز به مکانیزم تغییر زاویه واحد جمع‌کننده بود، استفاده شد.

پایه تر ادامه یافت. تغییرات وزن محصول به وسیله ترازوی دیجیتال AND مدل EK-1600 (ساخت ژاپن) با دقت ۰/۱ گرم اندازه گیری شد. مقدار آب تبخیر شده در طول دوره فرایند خشک شدن با رابطه ۱ محاسبه می شود (Al-jumaily et al., 2007; Yaldyz and Ertkyn, 2001).

$$M_w = \frac{M_i (X_i - X_f)}{(100 - X_f)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

محاسبه انرژی مصرفی خشک کردن و راندمان خشک کن انرژی مصرفی برابر با مجموع انرژی جذب شده توسط صفحه جاذب و سینی های مخزن و همچنین انرژی مصرفی فن است (رابطه ۲) (Khattab, 1996; Al-jumaily et al., 2007). مساحت صفحه جاذب و سینی های مخزن (A_c) ۲/۴۵ متر مربع است. شار تابشی خورشید (I_t) با تشعشع نگار و انرژی مصرفی فن با کنتور دیجیتال نصب شده بر خشک کن اندازه گیری شد.

$$E = (A_c I_t + Q_f) \quad (\text{رابطه ۲})$$

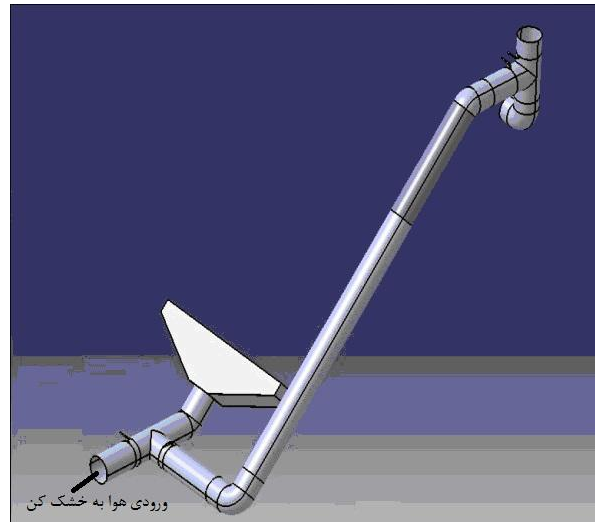
راندمان خشک کن در آزمون های متفاوت با رابطه ۳ محاسبه می شود (Khattab, 1996; Al-jumaily et al., 2007).

$$\eta_d = \frac{M^o c_p (T_o - T_i)}{A_c I_T + Q_f} \quad (\text{رابطه ۳})$$

نتایج و بحث

تغییرات انرژی مصرفی خشک کردن در جریان هوای ۰/۱۸ متر مکعب بر ثانیه در شکل ۲ (الف) نشان داده شده است. در مراحل اولیه فرایند خشک شدن تفاوت چندانی بین حالت های گوناگون باز بودن دریچه بازگشت وجود نداشت ولی در انتهای فرایند خشک شدن، روند تغییرات انرژی مصرفی متفاوت شد به طوری که کمترین میزان مصرف انرژی مربوط به باز بودن دریچه بازگشت تا ۷۵ درصد بود. تحقیقات انجام شده توسط کاکمک و یالدیز نشان داد که با چرخش جریان هوا در خشک کن، میزان انرژی مصرفی در طول دوره فرایند کاهش خواهد یافت (Cacmak and Yildiz, 2009). مقادیر انرژی مصرفی برای حالت های گوناگون استقرار دریچه برگشت شامل کاملاً بسته، ۵۰، ۷۵ و ۸۷/۵ درصد باز به ترتیب ۱۰/۰۶، ۹/۵۶ و ۱۱/۲ کیلووات ساعت بود (شکل ۲، ب). براساس نتایج به دست آمده، در شرایطی که از مسیر برگشت استفاده شد انرژی مصرفی در حالت باز بودن دریچه برگشت به میزان ۸۷/۵ درصد از بقیه حالت ها بیشتر بود، زیرا عدم تهویه مناسب هوا و تجمع رطوبت در خشک کن باعث افزایش انرژی مصرفی شد.

دوره فرایند اندازه گیری شد و آزمایش ها تا رسیدن محصول به رطوبت ۱۲ درصد (بر پایه تر) ادامه یافت.



(الف)



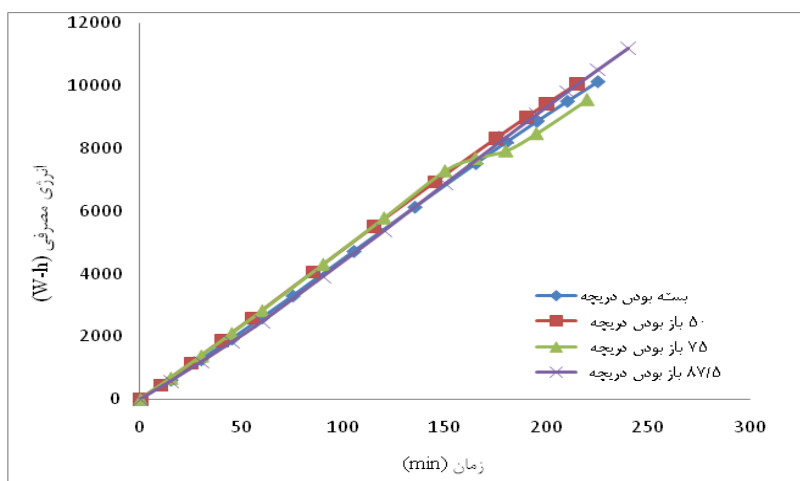
(ب)

شکل ۱. الف) مکانیزم چرخش هوا، ب. خشک کن خورشیدی مجهز به مکانیزم برگشت هوای گرم خروجی

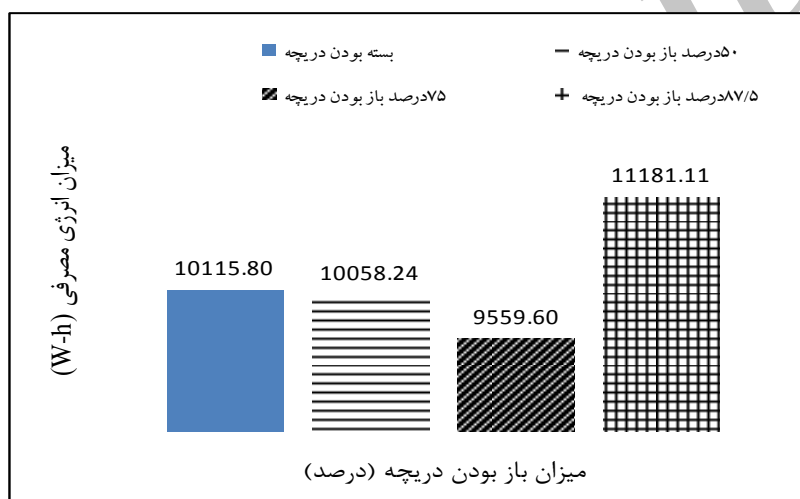
انرژی تابشی خورشید (وات بر متر مربع) در بازه زمانی خشک کردن با یک تشعشع نگار Kimo مدل SL100 (ساخت فرانسه) اندازه گیری شد. حسگر دستگاه روی سه پایه دوربین تحت زاویه ۴۵ درجه به سمت جنوب مستقر شد. شار تابشی خورشید با این حسگر در طول دوره خشک کردن اندازه گیری و با نمایشگر دستگاه قرائت شد.

تعیین تغییرات رطوبت محصول در طول دوره فرایند خشک شدن

تغییرات رطوبت با توزین نمونه های محصول مستقر بر سینی های خشک کن تا رسیدن به رطوبت نهایی ۱۲ درصد بر



(الف)

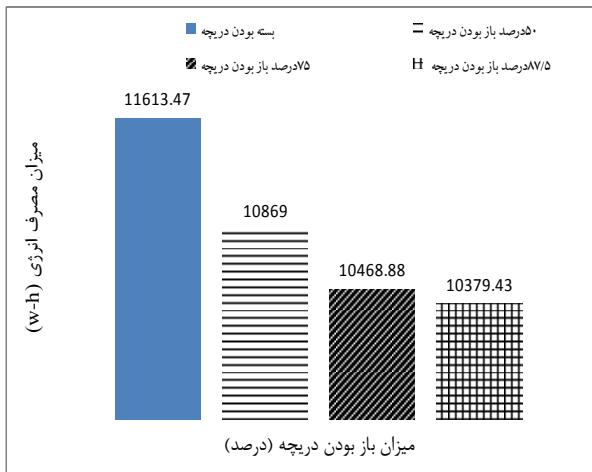


(ب)

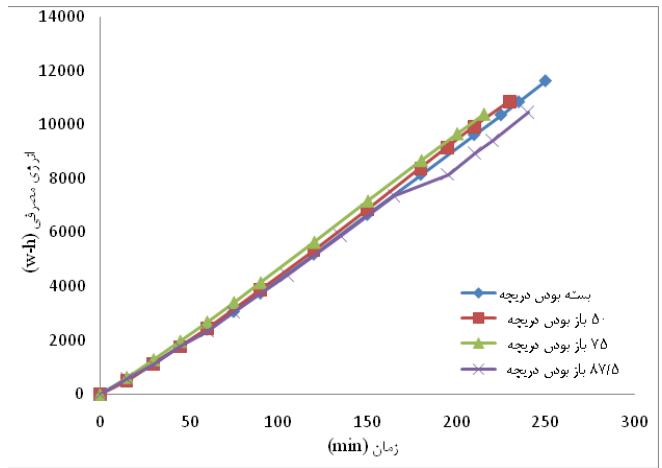
شکل ۲. الف) تغییرات انرژی مصرفی در جریان هوای ۰/۰۱۸ متر مکعب بر ثانیه، ب) مقادیر انرژی مصرفی در حالات گوناگون بازگشت جریان انرژی لازم برای خشک کردن در سه سطح جریان هوا (۰/۰۱۸، ۰/۰۳۶، ۰/۰۵۴ متر مکعب بر ثانیه) و ۷۵ درصد بازبودن دریاچه برگشت هوای گرم خروجی در شکل ۵ نشان داده شده است. تحلیل آماری نشان داد که میزان هوای عبوری از خشک کن با احتمال ۹۵ درصد ($P < 0.05$) تأثیر معنی داری بر انرژی مصرفی خشک کردن دارد. براساس نتایج به دست آمده در ابتدای مرحله خشک شدن و به عبارتی در مرحله تبخیر با شدت ثابت، تفاوت چندانی بین انرژی های مصرفی وجود نداشته است ولی در ادامه فرایند، افزایش جریان هوا باعث افزایش انرژی مصرفی شده است. زیرا با افزایش دبی جریان هوا، دمای داخل مخزن خشک کن کاهش یافته و شدت تبخیر کم شده است. در نتیجه زمان خشک شدن طولانی شده و سرانجام انرژی لازم برای خشک کردن افزایش یافته است. حداقل میزان انرژی مصرفی در جریان هوای ۰/۰۱۸ متر مکعب بر ثانیه است (Zomorodian and Dadashzadeh, 2009).

تغییرات انرژی مصرفی در جریان هوای ۰/۰۳۶ و ۰/۰۵۴ متر مکعب بر ثانیه در شکل های ۴ و ۵ (الف) نشان داده شده است. مقایسه روند تغییرات انرژی نشان داد که انرژی مصرفی خشک کردن در حالتی که دریاچه بازگشت ۷۵ و ۸۷/۵ درصد باز بود، در مقایسه با بقیه حالات کمتر است. افزایش بیش از اندازه جریان هوا، ورود بیشتر هوای محیط به داخل خشک کن، و در نتیجه افزایش سرعت جریان هوا را به دنبال خواهد داشت. در این شرایط برگشت بیشتر جریان هوا باعث حفظ انرژی حرارتی و در نتیجه کاهش انرژی مصرفی خواهد شد. نتایج نشان داد که انرژی مصرفی برای حالت های متفاوت استقرار دریاچه برگشت، کاملاً بسته، ۵۰، ۷۵، و ۸۷/۵ درصد بازبودن به ترتیب ۱۱/۶۳، ۱۰/۸۷، ۱۰/۴۷، و ۱۰/۳۷ کیلووات ساعت در دبی هوای ۰/۰۳۶ متر مکعب بر ثانیه (شکل ۳ ب) و ۱۲/۳۲، ۱۲/۰۱، ۱۱/۱۱، و ۱۱/۲۳ کیلووات ساعت در دبی هوای ۰/۰۵۴ متر مکعب (شکل

۴ ب) بود.

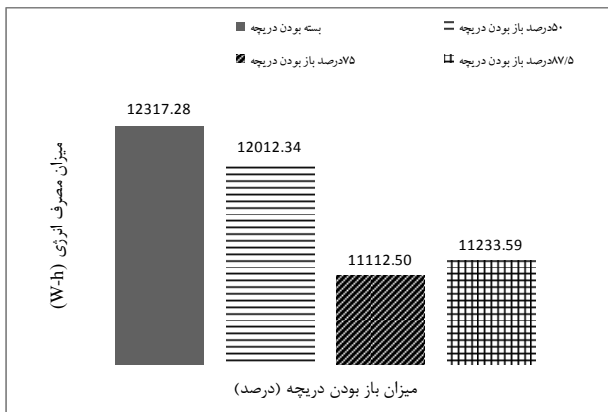


(ب)

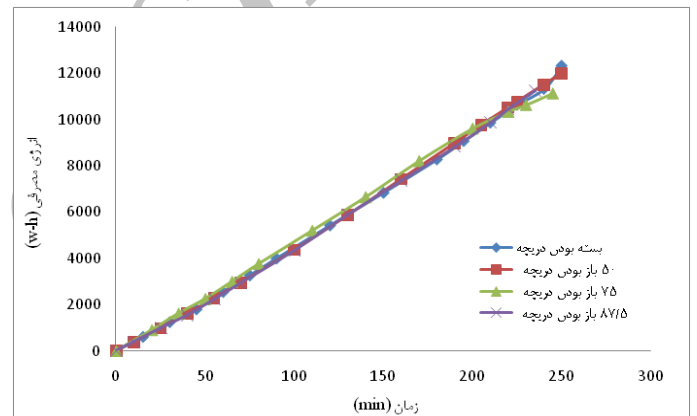


(الف)

شکل ۳. الف) تغییرات انرژی مصرفی در جریان هوای ۰/۰۳۶ متر مکعب بر ثانیه، ب) مقادیر انرژی مصرفی در حالات متفاوت بازگشت جریان

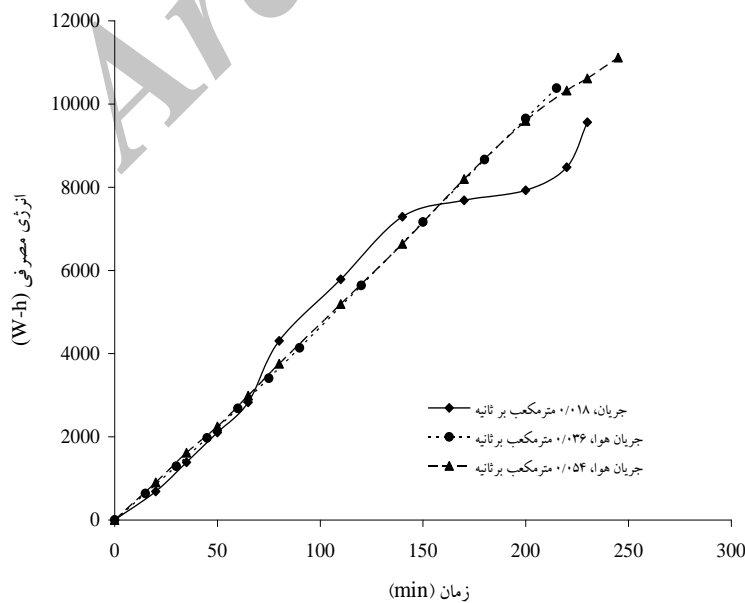


(ب)



(الف)

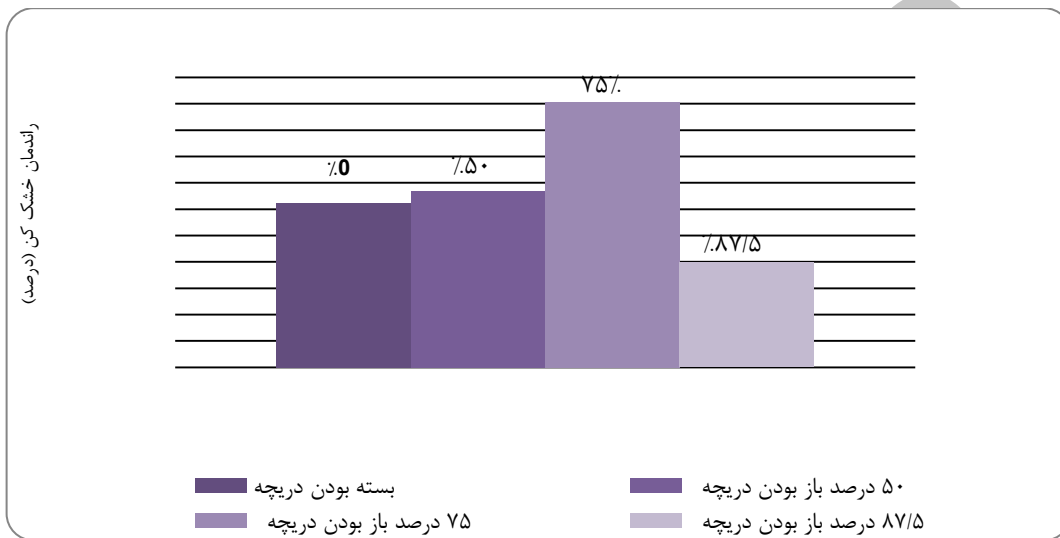
شکل ۴. الف) تغییرات انرژی مصرفی در جریان هوای ۰/۰۵۴ متر مکعب بر ثانیه، ب) مقادیر انرژی مصرفی در حالات متفاوت بازگشت جریان



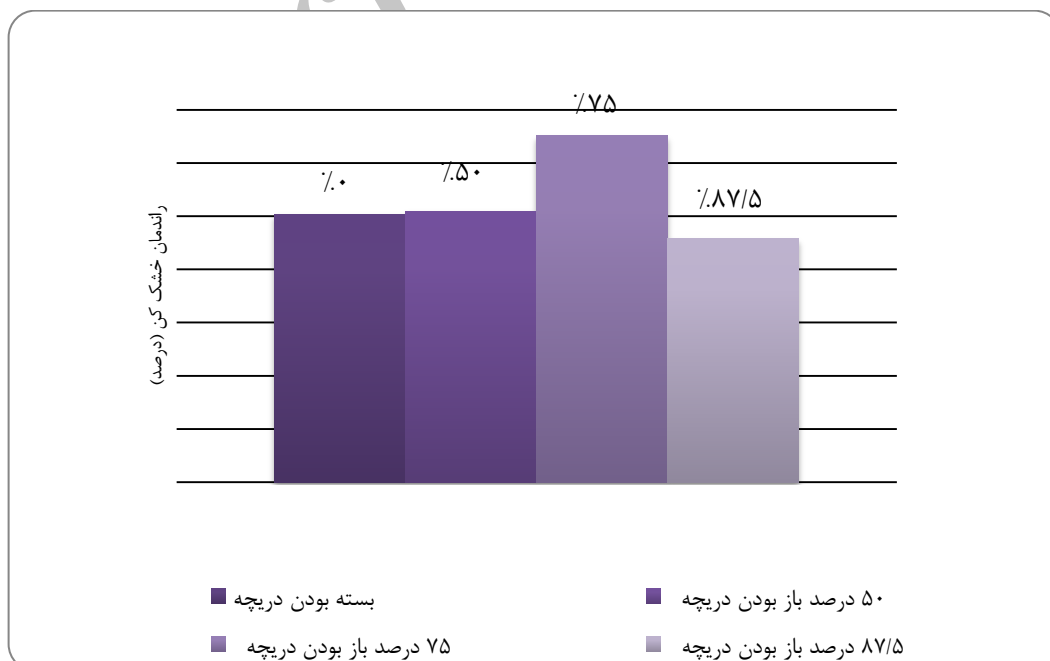
شکل ۵. انرژی لازم برای خشک کردن در جریان‌های گوناگون هوا و ۷۵ درصد باز بودن دریچه برگشت

خشک‌کن به دلیل عدم ورود و خروج کافی هوای محیط به داخل و بازنبودن کافی درجه‌های ورودی و خروجی و تهویه نامناسب می‌شود و روند خشک‌شدن و راندمان کاهش می‌یابد. راندمان خشک‌کن در دبی هوای ۰/۰۱۸ مترمکعب بر ثانیه برای حالت کاملاً بسته و ۵۰، ۷۵ و ۸۷/۵ درصد بازبودن درجه برگشت به ترتیب برابر با ۲۰/۶، ۲۰/۸، ۲۲/۵ و ۱۹/۵ درصد و در دبی ۰/۰۳۶ متر مکعب بر ثانیه به ترتیب ۲۵/۲، ۲۵/۵، ۳۲/۵ و ۲۳ درصد است.

بررسی‌ها نشان داد که استفاده از مسیر برگشت هوای گرم در خشک‌کن در افزایش راندمان خشک‌کن تأثیرگذار است. شکل‌های ۶ و ۷ تغییرات راندمان خشک‌کن در میزان جریان هوای ۰/۰۱۸ و ۰/۰۳۶ متر مکعب بر ثانیه را نشان می‌دهند. راندمان خشک‌کن در حالت ۷۵ درصد بازبودن درجه برگشت از حالت‌های کاملاً بسته، ۵۰، و ۸۷/۵ درصد بازبودن درجه برگشت، بیشتر است. همچنین مشاهده می‌شود در شرایطی که درجه برگشت ۸۷/۵ درصد باز است راندمان در مقایسه با بقیه حالات کمتر است زیرا باعث بالارفتن رطوبت هوای داخل



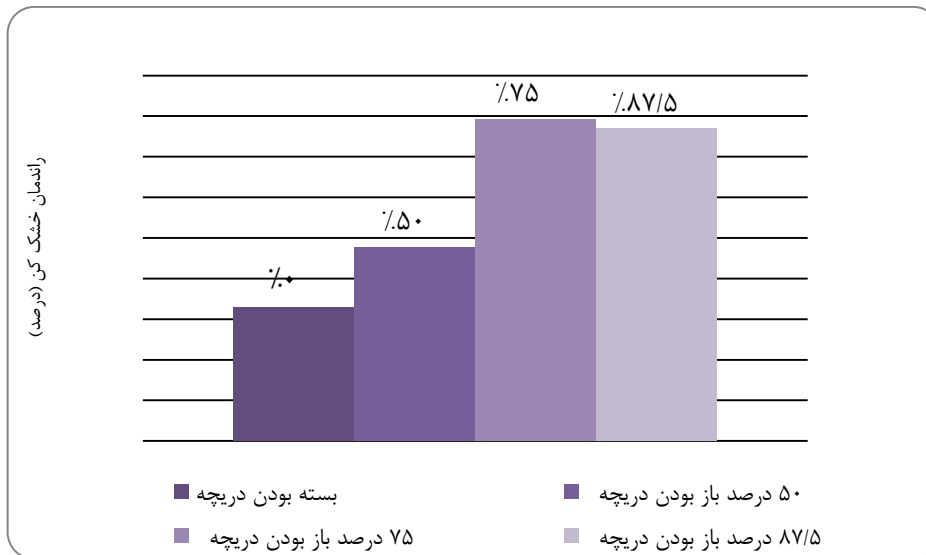
شکل ۶. راندمان خشک‌کن در جریان هوای ۰/۰۱۸ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۷. راندمان خشک‌کن در جریان هوای ۰/۰۳۶ متر مکعب بر ثانیه

بالا بودن میزان جریان هوا تهویه به خوبی انجام می شود و از تجمع رطوبت در خشک کن جلوگیری می کند. راندمان خشک کن در شرایط کاملاً بسته ، ۵۰ ، ۷۵ ، و ۸۷/۵ درصد باز بودن دریچه برگشت به ترتیب برابر با ۳۵/۳ ، ۳۶/۸ ، ۳۹/۹ و ۳۹/۷ درصد است.

راندمان خشک کن در جریان هوای ۰/۰۵۴ متر مکعب بر ثانیه در شکل ۸ نشان داده شده است. مشاهده می شود که راندمان در حالت ۷۵ درصد باز بودن دریچه برگشت از حالت های بسته بودن، ۵۰ و ۸۷/۵ درصد باز بودن دریچه، بیشتر است. همچنین مشاهده می شود بیشتر از ۵ درصد باز شدن دریچه برگشت تغییر چندانی در راندمان ایجاد نمی شود زیرا به علت



شکل ۸. راندمان خشک کن در میزان جریان هوای ۰/۰۵۴ متر مکعب بر ثانیه

در نتیجه افزایش راندمان خشک کن شده است.

نتیجه گیری کلی

برگشت هوای گرم خروجی در کاهش انرژی مصرفی تأثیرگذار است. استفاده از کانال برگشت در هر سه سطح جریان هوا ۰/۰۱۸، ۰/۰۳۶، و ۰/۰۵۴ متر مکعب بر ثانیه باعث کاهش انرژی مصرفی می شود. برگشت جریان هوا به میزان ۷۵ درصد باعث کاهش انرژی مصرفی فرایند خشک کردن می شود، اما بیش از این مقدار سبب افزایش انرژی مصرفی شد زیرا رطوبت هوای خشک کن افزایش یافت و روند فرایند تبخیر را کند کرد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح جریان هوا، انرژی لازم خشک کردن نیز افزایش می یابد. کاهش دمای هوای خشک کننده در اثر افزایش جریان هوا و کم شدن شدت تبخیر باعث افزایش انرژی مصرفی می شود.

باز بودن کانال برگشت تا ۵ درصد باعث افزایش دمای داخل خشک کن و افزایش راندمان آن می شود. باز بودن دریچه بازگشت بیش از این سطح باعث کاهش راندمان می شود زیرا رطوبت محیط خشک کن افزایش می یابد و شدت تبخیر کم می شود و در نتیجه راندمان خشک کن کاهش می یابد. با افزایش جریان هوا راندمان خشک کن افزایش می یابد زیرا افزایش جریان باعث بالا رفتن میزان انتقال حرارت از سطح صفحه جاذب و

معرفی نمادها		
نماد	شرح	واحد
A_c	مساحت واحد جمع کننده و سینی های نگهدارنده محصول	m^2
c_p	گرمای ویژه هوا	$1/0.05$ $kJ/kg.c$
E	انرژی مصرفی خشک کردن	$W-h$
I_t	شار تابشی خورشید	W/m^2
M^0	جریان جرمی هوای ورودی	Kg/s
M_i	جرم اولیه محصول	g
M_w	جرم آب تبخیر شده	g
Q_f	انرژی مصرفی فن	$W-h$
T_i	دمای هوای ورودی به مخزن خشک کن	c
T_o	دمای هوای خروجی از خشک کن	c
t	زمان خشک شدن	h
X_i	رطوبت اولیه محصول بر پایه تر	درصد
X_f	رطوبت نهایی محصول بر پایه تر	درصد
η_d	راندمان خشک کن	درصد

REFERENCES

- Al-Jumaily, K.E.J., Khalifa, A.J.N. & Yassen, T.A. (2007). Testing of the performance of a fruit and vegetable solar drying system in Iraq. *Desalination*, 209, 163-170.
- Cacmak, G. & Yildiz, C. (2009). Design of a new solar dryer system with swirling flow for drying seeded grape. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, 984-990.
- Chandak, A., Somani, S.K. & Dubey PRINCE, D. (2009). Design of solar dryer turbo ventilator and fireplace. In: *Proceeding of International Solar Food Processing Conference*, Suman Foundation, Shamgiri, Agra Road, Deopur, DHULE: 424005, INDIA.
- Duffie, J.A. & Beckmen, W.A. (1991). *Solar engineering of thermal processes*. New York: John Wiley.
- Fasihzadeh naini, B. (2011) Designing, construction and evaluation of mixed solar dryer equipped with a mechanism to change the angle of radiation received. M. Sc. Dissertation, Islamic Azad University, Shiraz Branch.
- Gazor, H.R. (2011). *Fabrication and assessment of a pilot solar dryer for agricultural products*. Final research report, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Ministry of JEHAD-E-Agriculture. (in Farsi).
- 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.
- Koyoncu, T. (2006). Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications. *Renewable Energy*, 31, 1073-1088.
- Lopez, E.C., Lagunas, L.M. & Ramirez, J.R. (2013). Efficiency of a hybrid solar-gas dryer. *Solar Energy*, 93, 23-31.
- Montero, I., Blanco, J., Miranda, T., Rojas, S. & Celma, A.R. (2010). Design, construction and performance testing of a solar dryer for agroindustrial by-products. *Energy Conversion and Management*, 51, 1510-1521.
- Moradi, M., Zomorodian, A.A. (2008). Mathematical modeling of cumin drying by an active and indirect solar dryer. In: *Proceedings of 5th National Congress of Farm Machinery*, 27-28 August, University of Mashhad, Iran.
- Yaldyz, O. & Ertekyn, C. (2001). Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*, 19 (3), 583-597.
- Zomorodian, A.A. & Dadashzadeh, M. (2009). Indirect and mixed mode solar drying mathematical models for sultana grape. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11, 391-400.

Archive