

مقایسه کارایی کالکتور مطبق و ساده در خشک‌کن‌های خورشیدی (مطالعه موردی: خشک‌کن انگور)

فرزاد گودرزی*

استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی - مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، همدان، ایران
تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۸/۲۵

چکیده

تمایل به استفاده از انرژی خورشیدی و خشک‌کن‌های آفتابی برای خشک کردن مواد غذایی در حال افزایش است. مهم‌ترین ایراد این خشک‌کن‌ها، پایین بودن کارایی آنهاست. برای رفع این مشکل، در این پژوهش کالکتور و محفظه جدیدی ساخته و ارزیابی شد. پوشش دو لایه شیشه‌ای کالکتور جدید از تعدادی قطعات شیشه‌ای تشکیل شده است که نسبت به هم آرایشی پله‌ای پدید آوردند. شکاف‌های موجود بین لایه‌ها از طریق مکش هوای بیرون، باعث ورود گرمای بیشتر به درون کالکتور می‌شود. کارایی نظری و عملی خشک‌کن با خشک کردن میوه انگور ارزیابی شد. راندمان حرارتی کالکتور جدید ۱۰ پله و شاهد در سرعت‌های کم وزش باد محیطی به ترتیب برابر ۶۵ و ۵۶ درصد محاسبه شد. افزایش سرعت وزش باد محیطی تا ۱۰ متر بر ثانیه و بیشتر، راندمان حرارتی کالکتورهای مطبق را تا سطح ۳۵ درصد کاهش می‌دهد. کاربرد کالکتور جدید صرفاً در شرایطی توصیه می‌شود که سرعت وزش باد محیط کمتر از ۱ متر بر ثانیه باشد. زمان خشک شدن میوه با خشک‌کن خورشیدی به‌طور معنی‌دار و برابر ۱۰۸ درصد کوتاه‌تر از زمان خشک شدن میوه با روش سنتی است. زمان لازم برای خشک شدن میوه‌های سینی میانی دستگاه، ۱۰ تا ۱۴ ساعت بیشتر است تا میوه‌های طبقات دیگر. از نظر پذیرش کلی، محصولات تولیدی در طبقات مختلف خشک‌کن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، اما همگی به‌طور معنی‌داری برتر از محصول تولیدی به روش سنتی بودند.

واژه‌های کلیدی

خشک‌کن آفتابی، راندمان حرارتی، سرعت خشک شدن، کیفیت، محفظه‌های پلکانی جمع‌کننده انرژی خورشیدی

مقدمه

هزینه‌های حمل و نقل و نگهداری صرفه‌جویی می‌شود. انرژی لازم برای خشک کردن از منابع مختلف از جمله سوخت‌های فسیلی یا منابع تجدیدپذیر قابل تأمین است؛ که البته جدی شدن مشکلات زیست محیطی و اقلیمی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، نگاه‌ها را به سمت استفاده از منابع انرژی پاک کشانده است. از میان انواع منابع

خشک کردن مواد غذایی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های افزایش ماندگاری است. در اثر کاهش رطوبت، احتمال فساد میکروبی و سرعت واکنش‌های مخرب از قبیل اکسایش خودبه‌خودی و قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل کاهش وزن و حجم محصول خشک شده، در

اصلی از ساخت این خشک‌کن‌ها آن است که در کنار استفاده از مزایای انرژی خورشیدی، معایب روش خشک کردن خورشیدی در هوای باز رفع شود. خشک‌کن‌های خورشیدی نسبت به خشک‌کن‌های صنعتی که تأمین انرژی آنها وابسته به سوخت‌های فسیلی است، نقص‌هایی دارند. از جمله این نقص‌ها می‌توان به سرعت نه چندان زیاد و غیر یکنواخت خشک شدن محصول در این خشک‌کن‌ها اشاره کرد (Pryor, 2003).

نخستین ایده ثبت شده برای ساخت ابزار به منظور استفاده از انرژی خورشید به زمان لئوناردو داوینچی (۱۵۹۳ میلادی) باز می‌گردد. وی طرحی ارائه داد که طی آن از یک آینه کانونی برای تجمع انرژی خورشید در صنعت رنگ‌بری پارچه استفاده شد. در اوایل ۱۹۰۰ در جنوب کالیفرنیا آبگرمکن خورشیدی همراه با کالکتور (صفحات جمع‌کننده) ساخته شد (Anon, 2003). جایرا و همکاران (Jaira et al., 2009) ضمن مطالعه انواع خشک‌کن‌های خورشیدی آنها را به دو دسته مستقیم و غیر مستقیم تقسیم کردند. هر یک از این خشک‌کن‌ها نیز بسته به استفاده از قوای محرکه مؤثر به دو دسته فعال و یا غیر فعال قابل تفکیک است.

عمده‌ترین بخش خشک‌کن‌های خورشیدی، محفظه نگهداری محصول و صفحات کالکتور است. کالکتورها که در یک سیکل باز حرارتی استفاده می‌شوند، کارایی چندان بالایی ندارند که بخشی از این نقیصه به پایین بودن ظرفیت حرارتی و گرمای ویژه هوا مربوط است. به این سبب، بهبود کارایی این مبدل‌ها همواره مورد توجه بوده است (Pryor, 2003; Anon, 2011). دانکن و همکاران (Duncan et al., 1981) با مطالعه روی تبدیل انرژی خورشیدی به حرارت قابل لمس در یک محفظه

انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی بیشترین پتانسیل را داراست. بشر نیز از دیرباز با این منبع انرژی آشنا بوده و برای استفاده مؤثرتر از این منبع انرژی تلاش می‌کرده است. مقدار انرژی که از تابش خورشید به سطح زمین می‌رسد، ۱۰۰۰ برابر انرژی سالانه مورد نیاز انسان است. چنانچه بشر قادر به تسخیر و استفاده از تنها ۱ درصد این انرژی باشد، این میزان ۱۰ برابر نیاز بشر امروزی به انرژی خواهد بود. کل انرژی خورشیدی دریافتی کشور برابر با ۱۰۸۰۰ اکسازول در سال است. این میزان حدوداً ۸ برابر کل ذخایر نفت و گاز کشور (۱۰۰ میلیارد شبکه نفت و ۱۶/۷ تریلیون مترمکعب گاز) است (Ghobadian, 2002; Anon, 2009; Deshmukh et al., 2011).

خشک کردن آفتابی در کنار سادگی، در دسترس بودن، سازگاری با محیط زیست و ارزان بودن، معایبی نیز دارد. سرعت کم، کیفیت نسبتاً پایین محصول تولیدی و قرار داشتن غذای در حال خشک شدن در معرض انواع آلودگی‌ها از قبیل گرد و خاک و آلودگی‌های همراه آن، تماس حشرات و حیوانات مختلف و البته همراه نبودن گاه و بی‌گاه شرایط جوی با کار خشک کردن، همگی از جمله معایب غیرقابل چشم‌پوشی این روش است. بر این اساس، بهبود روش‌های خشک کردن آفتابی همواره مد نظر بوده است. خشک کردن خورشیدی محصولات کشاورزی در مناطق با رطوبت هوای کمتر از ۶۰ درصد و دمای بالاتر از ۲۲ درجه سلسیوس قابل اجراست (Anon, 2009). مجموعه این شرایط، کشور ما را منطقه‌ای بسیار مستعد برای استفاده از انرژی خورشیدی ساخته است. طی دو دهه اخیر خشک‌کن‌های خورشیدی مورد توجه واقع شده‌اند و ساختار آنها به سرعت در حال تکامل است. هدف

در برابر جریان هوا و در نتیجه کاهش دبی جریان هوا، راندمان کل خشک‌کن افزایش قابل توجهی در پی نداشت. السباعی و همکاران (El-Sebaili *et al.*, 2002) از یک صفحه صاف برای گرم کردن هوا و یک اتاق خشک‌کن متصل به آن در دستگاه خود استفاده کردند. در این خشک‌کن از ماسه برای ذخیره انرژی استفاده شد. کار خشک‌شدن انگور بی‌دانه در این دستگاه ۷۵ ساعت طول کشید؛ این دستگاه برای اتمام کار در حالت بدون ماسه به ۹۲ ساعت زمان نیاز داشت. به این ترتیب ریختن ماسه در داخل کالکتور، ۱۶ ساعت صرفه‌جویی در زمان خشک کردن را در پی داشت.

مطالعه حاضر با هدف افزایش کارایی خشک‌کن‌های آفتابی از طریق افزایش راندمان صفحات کالکتور طراحی و اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

محفظه‌های پلکانی جمع‌کننده انرژی خورشیدی

شش عدد محفظه از جنس ورق گالوانیزه با ضخامت ۱ میلی‌متر و به ابعاد $۰/۹ \times ۰/۶$ متر و عمق ۲۰ سانتی‌متر ساخته شد. درزها و نقاط اتصال قطعات به یکدیگر درزبندی شد. سطوح داخلی محفظه با دو لایه رنگ مشکی روغنی مات پوشیده شد. یک مجرای خروجی به قطر ۱۰ سانتی‌متر برای تخلیه و هدایت هوای گرم از داخل محفظه به بیرون از آن در دیواره بالایی محفظه تعبیه شد. دیواره‌های جانبی هر یک از این محفظه‌ها برای نصب قطعات شیشه‌ای به شکل پلکانی برش داده شد. تعداد برش‌ها از ۵ تا ۱۰ عدد متغیر بود. عمق محفظه‌ها در کمترین نقطه (لبه تحتانی محفظه) برابر ۵ سانتی‌متر بود. پس از اندازه‌گیری میانگین عمق

جمع‌کننده انرژی نشان دادند که کارایی این صفحات با افزایش دمای ورودی به خشک‌کن کم می‌شود. موس و همکاران (Moss *et al.*, 2018) نشان دادند دو جداره کردن صفحات شفاف و عایق کردن این جمع‌کننده‌ها باعث می‌شود اتلاف حرارت از این صفحات تا ۶۰ درصد کاهش یابد. بال و همکاران (Bal *et al.*, 2011) عواملی مانند شکل، جهت خشک‌کن، اندازه، درجه تمیزی پوشش، فصل و موقعیت جغرافیایی را در میزان انرژی کسب شده مؤثر دانستند. آنها بیشترین جذب پرتوها را در حالتی گزارش کردند که جمع‌کننده در جهت شمال-جنوب قرار داشته باشد. دمیر و همکاران (Demir *et al.*, 2004) نشان دادند که میزان جذب انرژی خورشیدی در هر منطقه با افزایش دمای خشک‌کن رابطه‌ای نمایی دارد. فولر (Fuller, 1998) ضمن بررسی کارکرد یک دستگاه خشک‌کن خورشیدی، مشکل عمده این دستگاه‌ها را دیر خشک‌شدن صفحات میانی و فوقانی، نسبت به صفحات پایینی، می‌داند. راجمت (Rachmat, 1996) با طراحی یک خشک‌کن و محفظه جمع‌کننده مسطح برای آن، بهترین زاویه بین سطح صفحه و زمین را برای کسب حداکثر انرژی، ۲۸-۳۹ درجه گزارش کرد. راجمت و هوریب (Rachmat & Horibe, 1999) در مطالعه‌ای با قرار دادن یک صفحه مشکی زیر سقف پلاستیکی یک دستگاه خشک‌کن خورشیدی برنج، موفق به افزایش دمای درون خشک‌کن و افزایش بازده دستگاه تا میزان ۱۵ درصد شدند. صالح (Saleh, 2002) برای افزایش کارایی کالکتورها صفحات سیاه موجود در آنها را چین‌دار کرد. این کار اگرچه سبب افزایش کارایی این صفحات و بالا رفتن دمای هوای خروجی از آنها تا ۱۳ درصد شد، اما به سبب افزایش مقاومت مسیر

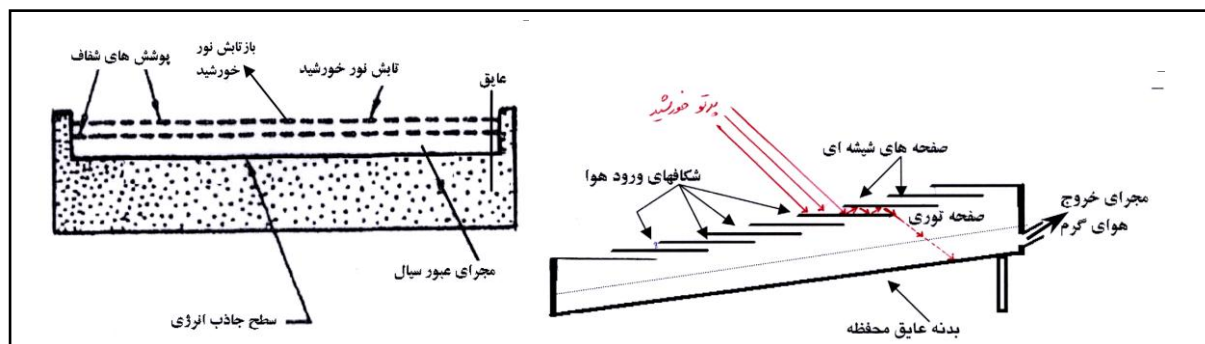
محفظه‌ها و برای یکسان بودن حجم معادل در همه محفظه‌های جمع کننده انرژی خورشیدی، هفتمین کالکتور (شاهد) بدون برش در دیواره جانبی و با عمقی برابر با ۱۰/۸۲ سانتی‌متر (میانگین لگاریتمی عمق کالکتورهای آزمایشی مطبق در کمترین و بیشترین عمق) ساخته شد. در هر یک از محفظه‌ها قطعات شیشه‌ای به گونه‌ای روی برش‌های پلکانی نصب شد که هر قطعه با قطعه بالایی خود ۵۰ درصد همپوشانی داشته باشد. به این ترتیب، طول همپوشانی قطعات شیشه‌ای روی هم بین ۰/۱ تا ۰/۳۲ متر به دست آمد. بین قطعات شیشه‌ای شکاف‌هایی پدید آمد که به عنوان مجراهای ورودی هوا به درون محفظه عمل می‌کردند. ارتفاع این شکاف‌ها بسته به تعداد لایه‌های شیشه‌ای بین ۶ تا ۲۴ میلی‌متر بود. به این ترتیب شش محفظه جمع کننده انرژی خورشیدی ساخته شد که سطح هر یک با ۵ تا ۱۰ قطعه شیشه‌ای پوشیده شده بودند (شکل ۱). شیب معادل تقریبی سطوح شیشه‌ای روی محفظه‌ها بین ۱۴ تا ۱۸ درجه برآورد شد. در محفظه هفتم (شاهد) به دلیل یکپارچگی سطح شیشه‌ای پوشاننده، مجرای ورود هوا در دیواره جانبی پایینی محفظه تعبیه شد. میزان اتلاف حرارت از دیواره‌های کلیه محفظه‌ها با یک لایه عایق پشم شیشه به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر به حداقل رسید.

$$Qu = A \times G \times Cp \times (Ti - To) \quad (1)$$

$$Ec = Qu / A \times IN \quad (2)$$

میزان کارایی محفظه‌ها طی ۵ روز (۲۷ تا ۳۱ شهریور) اندازه‌گیری شد.

در انتها، داده‌ها در قالب یک طرح فاکتوریل ۳×۷ (به ترتیب سطوح سرعت جریان هوای خروجی از محفظه و تعداد طبقات شیشه‌ای) تجزیه آماری شدند. برای مقایسه میانگین داده‌ها از روش دانکن استفاده شد.



شکل ۱- شمای یک کالکتور ۹ پله (راست) و مرسوم (چپ) (به محل ورود و خروج هوا در این نوع کالکتورها توجه شود)

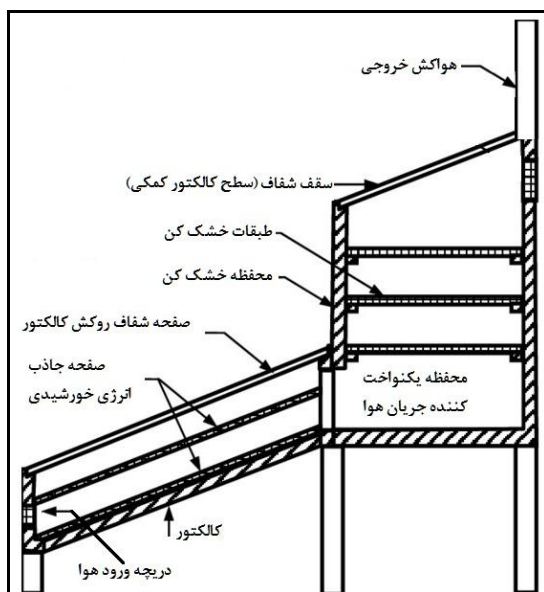
محفظه اصلی خشک‌کن

محفظه اصلی خشک‌کن مطابق شکل ۲ از ورق گالوانیزه با ضخامت ۱ میلی‌متر و عمق، طول و ارتفاع به ترتیب ۶۵ × ۱۲۰ × ۱۳۶ سانتی‌متر ساخته و از خارج و داخل با دو لایه رنگ مشکی روغنی مات پوشیده شد. ارتفاع بخش عقبی محفظه ۱۸۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به این ترتیب شیب سقف محفظه برابر ۳۴ درجه به دست آمد. در قسمتی از سقف به طول ۵۸ سانتی‌متر، یک قطعه شیشه با ضخامت ۶ میلی‌متر قرار داده شد. تا امکان نفوذ مستقیم نور خورشید به درون محفظه از قسمت فوقانی آن فراهم شود (کالکتور کمکی). فضای داخلی محفظه خشک‌کن با سه سینی توری به ابعاد ۶۲ × ۱۱۸ سانتی‌متر با فاصله ۳۵ سانتی‌متر از هم به ۴ قسمت تقسیم شد. برای جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید به محصولات موجود در محفظه اصلی، یک قطعه ورق گالوانیزه (پوشش داده شده با دو لایه رنگ مشکی مات) در قسمت فوقانی محفظه (۲۵ سانتی‌متر بالاتر از طبقه سوم محفظه) نصب شد. دیواره‌های جانبی و پشتی محفظه با یک لایه عایق حرارتی به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر محفوظ شد. برای افزایش کارایی خشک‌کن، در مرکز دیواره جنوبی آن و به فاصله ۴ سانتی‌متر، یک لایه پوشش شفاف پلی‌اتیلنی به ضخامت ۴ میلی‌متر و ابعاد ۶۰ × ۶۰ سانتی‌متر نصب شد. روی ورق گالوانیزه قرار گرفته در زیر این پوشش، ۴۰ سوراخ هریک به قطر ۵ میلی‌متر در ۴ ردیف ۱۰ تایی ایجاد شد. با نصب دو عدد لوله خروجی هوا به قطر ۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵۰ سانتی‌متر روی سقف خشک‌کن، هوای درون خشک‌کن به بیرون مکیده شد و فشار لازم برای کشیده شدن هوا از کالکتور به درون خشک‌کن

از طریق تعبیه دو مجرای دایره‌ای با قطر ۱۰ سانتی‌متر در قسمت جلوی محفظه فراهم آمد. دو قطعه کالکتور جمعاً به مساحت ۳/۶ مترمربع کار تولید انرژی مورد نیاز خشک‌کن را بر عهده داشت (Elnamer et al., 2018).

خشک کردن نمونه‌ها

برای آزمون عملی خشک‌کن، در اواخر شهریور نمونه‌های انگور رقم کشمش بی‌دانه با دو روش خشک‌کن خورشیدی و خشک کردن سنتی خشک شدند. برای این منظور انگورها پس از تهیه از باغ‌های ایستگاه تحقیقات انگور شهرستان ملایر، شسته و مطابق روش مرسوم در بارگاه‌های تهیه کشمش در شهرستان ملایر به مدت ۲/۵ دقیقه در محلول تیزاب (محلول ۲/۵ کیلوگرم کربنات سدیم + ۱ لیتر روغن اولئات در ۱۰۰ لیتر آب) قرار داده شدند. سپس میوه‌ها روی سینی‌های خشک‌کن طراحی شده با تراکم ۱۹/۷ کیلوگرم در متر مربع قرار داده شدند. سرعت خشک شدن نمونه‌ها با نمونه‌برداری منظم از میوه‌های در حال خشک شدن هر طبقه اندازه‌گیری و سنجیده شد. میوه‌ها پس از خشک شدن تا رطوبت حدود ۱۸ درصد از دستگاه خارج و در بسته‌های پلاستیکی از جنس پلی‌پروپیلن یک‌لایه نفوذناپذیر در برابر هوا و رطوبت، نگهداری شدند. برای تهیه نمونه‌های خشک شده به روش مرسوم آفتابی، انگور پس از آماده‌سازی با همان تراکم و به شکل سنتی (خشک کردن روی زمین یا سینی و در معرض تابش مستقیم آفتاب) مراحل تبدیل شدن به کشمش را طی کرد. سرعت خشک شدن میوه‌ها و کیفیت آنها در هر دو روش با هم مقایسه شد (Elnamer et al., 2018).



شکل ۲- طرح دستگاه خشک کن خورشیدی مورد استفاده در آزمایش

سرعت جریان هوای در حال گردش × سطح
 (۶) محفظه = دبی جریان هوا

TD دبی جریان هوا / حجم هوای مورد نیاز =
 (۷) (زمان خشک شدن)

در مراحل مختلف، سرعت خشک شدن انگور در طبقات مختلف خشک کن همراه با دما و رطوبت نسبی داخل و خارج خشک کن به کمک تعدادی دستگاه دیتالاگر Testo مدل H2-175 در فاصله‌های زمانی ۱۵ دقیقه ثبت شد.

(د) کارایی عملی کل دستگاه از رابطه زیر به دست آمد (Demir et al., 2004; Cerci & Das, 2019):

$$E_f = (TT / TD) \quad (۸)$$

اندازه‌گیری ویژگی‌های رنگ، بافت و پذیرش کلی محصول

برای اندازه‌گیری تیرگی رنگ نمونه‌های کشمش، ۱۰ گرم نمونه در یک بالن ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی

محاسبه زمان خشک شدن

زمان نظری مورد نیاز برای خشک شدن انگور در دستگاه خشک کن مورد آزمایش با روابط زیر محاسبه شد (Khalil et al., 2007; Janjaia et al., 2008):

(الف) برای محاسبه میزان رطوبتی که باید از میوه خارج شود از رابطه ۳ استفاده شد:

$$M_w = W_i \times (M_i - MF/100 - MF) \quad (۳)$$

(ب) حجم هوای مورد نیاز برای خشک کردن محصول از طریق رابطه‌های موازنه انرژی ۴ و ۵ به دست آمد:

$$M_w \times L_v = M_a \times C_p \times (T_i - T_o) \quad (۴)$$

$$V_a = M_a \times R \times T / P \quad (۵)$$

(ج) با توجه به حجم اولیه محصول درون خشک کن و سرعت جریان هوای ورودی به خشک کن، زمان تقریبی خشک شدن از روابط زیر محاسبه شد:

(Payan, Significant Difference Test تعیین شد (2003).

نتایج و بحث

کارایی کالکتورهای مورد آزمایش

بررسی آماری کارایی کالکتورهای ساخته شده وجود اختلاف معنی‌دار در کارایی آنها را نشان داد. اثر دو متغیر نوع کالکتور، سرعت جریان هوای ورودی به آنها و نیز اثر متقابل این دو بر ضریب کارایی کالکتورها معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین ضریب کارایی کالکتورها (جدول ۲) نشان داد که با افزایش ارتفاع شکاف بین دو طبقه (کاهش تعداد طبقات) کارایی کالکتورها کاهش می‌یابد. به این ترتیب، کالکتورهای ۵ و ۶ پله کمترین و کالکتور شاهد و ۱۰ پله بالاترین کارایی را دارا بودند. بین میانگین ضریب کارایی دو کالکتور شاهد و ۱۰ پله طی ۵ روز اندازه‌گیری اختلاف معنی‌داری دیده نشد، هرچند میزان کارایی کالکتور ۱۰ پله نسبت به نوع شاهد ۳/۱۹ درصد افزایش نشان می‌دهد.

مهم‌ترین دلیل برای این افزایش کارایی، قابلیت انتقال هوای گرم موجود در سطح خارجی کالکتور به داخل آن از طریق شکاف‌های ایجاد شده در سطح رویی کالکتورهاست. هنگامی که کالکتور در معرض تابش نور خورشید قرار می‌گیرد، مقداری از پرتوهای خورشید به واسطه سطح شفاف کالکتور جذب و باعث افزایش دمای سطح آن می‌شود. این سطح گرم به نوبه خود موجب گرم شدن لایه‌ای نازک از هوای در حال تماس با سطح خارجی رویه کالکتور می‌شود. هنگامی که مسیر ورودی هوای کالکتور از سطح مقطع جانبی (شاهد) به شکاف‌های بین طبقات مختلف کالکتور منتقل می‌شود (کالکتورهای چند

۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ۵۰ درصد حجمی-حجمی اتانول ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در ظرف دربسته‌ای نگهداری شد. محتوای ظرف از کاغذ واتمن شماره ۲ عبور داده شد. در پایان، دانسیته نوری عصاره صاف شده با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۴۰ نانومتر خوانده شد. آزمایش در سه تکرار اجرا و میانگین آنها به عنوان عدد رنگ هر نمونه ثبت شد (AOAC, 2005).

وضعیت پذیرش کلی

نمونه‌های کشمش تولیدی را ۱۰ نفر ارزیاب آموزش دیده بررسی کردند. به این ترتیب که از هر تیمار، ۱۰۰ گرم نمونه در اختیار هر ارزیاب قرار داده شد. ارزیاب‌ها با بررسی سنجه‌های رنگ، مزه، سفتی (ویژگی‌های جویدنی) و وجود مواد زائد خارجی در نمونه‌ها و مقایسه آنها با نمونه مرجع، وضعیت پذیرش کلی هر نمونه را با امتیازی بین صفر تا ۱۰ تعیین کردند. امتیاز صفر و ۱۰ به ترتیب به عنوان کمترین و بیشترین امتیاز پذیرش کلی به نمونه‌هایی با بیشترین و کمترین تفاوت با نمونه مرجع اختصاص داده شد. ویژگی‌های تعریف شده برای نمونه مرجع عبارت بود از: "کشمش تهیه شده از انگور سفید بیدانه در دستگاه خشک‌کن الکتریکی فن‌دار در دمای متغیر ۴۳-۵۲ درجه سلسیوس، با رطوبت نسبی ۱۴ درصد و طعم شیرین بدون ته‌مزه ترش، رنگ طلایی شفاف مایل به کهربایی، فاقد مواد زائد خارجی و دارای بافت با درجه سفتی متعادل که هنگام جویدن، در کنار سفتی متعادل، به دندان نمی‌چسبند". در پایان نتایج ارزیابی کلی نمونه و بافت آنها به روش آنالیز واریانس مورد تجزیه آماری قرار گرفت. اختلاف بین تیمارهای آزمایشی و شاهد با آزمون مقایسه چندتایی میانگین (Least

طبقه) بخشی از هوای گرم خارجی نیز امکان ورود به درون کالکتور را پیدا می‌کنند و اتلاف انرژی خورشیدی اندکی کمتر می‌شود. همچنین، مقداری از پرتوهای انعکاس یافته بر اثر سطح شفاف کالکتور به دلیل همپوشانی ۵۰ درصدی طبقات شیشه‌ای وارد شکاف‌های ایجاد شده در سطح کالکتورها می‌شود و بر اساس اصل بازتابش نور و انعکاس‌های متوالی وارد کالکتور شده خود را به سطح سیاه داخل کالکتور می‌رساند (شکل ۱). بدیهی است این فرآیند به افزایش انرژی گرمایی هوای خروجی از کالکتورها و در نتیجه افزایش ضریب کارایی آنها می‌انجامد.

جدول ۱ - تجزیه واریانس اثر نوع و سرعت جریان هوای ورودی بر ضریب کارایی کالکتور

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
طبقات کالکتور (A)	۶	۰/۰۶۹۰۵**
سرعت هوای ورودی به کالکتور (B)	۲	۰/۰۱۹۹۴**
A×B	۱۲	۰/۰۰۴۳۷*
اشتباه	۸۴	۰/۰۰۲۲

** و ***: به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

مقایسه میانگین اثر سرعت هوای خروجی از کالکتورها بر ضریب کارایی آنها در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. بر این اساس، با افزایش سرعت هوای خروجی از کالکتورها از ۰/۵ به ۱ متر در ثانیه، تغییر معنی‌داری در میزان کارایی کالکتورها ایجاد نشد؛ اما افزایش سرعت جریان هوا از ۱ تا ۲ متر بر ثانیه سبب کاهش معنی‌دار کارایی کالکتورها شد. مطالعه سرسی و داس (Cerci & Das, 2019) نیز این توجیه را تأیید می‌کند.

جدول ۲ - مقایسه میانگین اثر تعداد طبقات بر ضریب کارایی کالکتورها

تعداد طبقات کالکتور	۱ (شاهد)	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
میانگین	۰/۵۱۶ ^a	۰/۲۷۷ ^e	۰/۲۹۰ ^e	۰/۳۵۷ ^d	۰/۴۰۱ ^c	۰/۴۷۷ ^b	۰/۵۳۳ ^a

در این جدول، میانگین‌های با حروف متفاوت، در گروه‌های آماری متفاوت قرار می‌گیرند

بر اساس آمار پایگاه داده‌ای سازمان هواشناسی استان همدان میزان و جهت وزش باد در ایستگاه اکباتان همدان (محل آزمایش‌ها) طی روزهای اجرای آزمایش شرایط یکسانی نداشته است (جدول ۳). بنابراین، چنانچه بررسی ضریب‌های کارایی کالکتورها در روزهایی که سرعت وزش باد حدود ۱ متر بر ثانیه بوده است از روزهای وزش باد با سرعت ۲ متر بر ثانیه یا بیش از آن جدا شود، نتایج دیگری حاصل می‌شود. شکل ۴ نشان می‌دهد در روزی که سرعت وزش باد ۴ متر بر ثانیه بوده است، با افزایش سرعت جریان هوای خروجی از کالکتور شاهد از میزان کارایی آن کاسته شده است؛ در حالی که در همین تاریخ، افزایش سرعت‌های جریان هوای خروجی در

نسبت داد. با افزایش سرعت وزش باد و به دلیل هم‌جهت نبودن آن با مسیر ورود هوا به داخل کالکتورها، لایه هوای گرم موجود در سطح خارجی کالکتور امکان کمتری برای ورود به کالکتور پیدا می‌کند. افزایش سرعت جریان هوای خروجی از کالکتور اثر سرعت وزش باد را تا حدی تعدیل می‌کند؛ اما تأثیر سرعت وزش باد بر کاهش دمای هوای خروجی از کالکتورها چند طبقه و در نتیجه کاهش ضریب کارایی آنها هنگام وزش باد بسیار قابل توجه است (شکل‌های ۵ و ۶). برای نمونه، ضریب کارایی کالکتور ۱۰ طبقه طی دو روز ۲۷ و ۲۸ شهریور و برای سرعت‌های مختلف ۰/۵، ۱ و ۲ متر بر ثانیه به ترتیب با ۴۱، ۴۰/۲ و ۲۱/۴۴ درصد کاهش همراه بود، در حالی که طی همین دو روز کاهش ضریب کارایی کالکتور شاهد در سرعت‌های جریان هوای مشابه، به ترتیب برابر ۱۹/۳، ۱۶/۲ و ۱۰/۷ درصد برآورد شده است. بارن وال و تیواری (Barnwal & Tiwari, 2012) و پراوین و همکاران (Pravin et al, 2017) نیز نتایج مشابهی را درباره اثر سرعت جریان هوا بر کارایی کالکتورها در یک نوع خشک‌کن خورشیدی انگور گزارش کرده‌اند.

کالکتورهای ۱۰ طبقه اثر متفاوتی داشته است؛ به این ترتیب که افزایش سرعت جریان هوای درون کالکتور تا ۱ متر بر ثانیه میزان کارایی آن را تا ۲۱ درصد افزایش داده ولی پس از آن افزایش سرعت تا ۲ متر بر ثانیه کاهش ۱۴ درصد در کارایی را به دنبال داشته است. مطابق همین شکل، در تاریخ ۲۸ شهریور که سرعت وزش باد ۱۰ متر بر ثانیه بوده است، شرایط کالکتورها کاملاً متفاوت بوده است؛ در این روز با افزایش سرعت هوای در جریان درون کالکتورها از ضریب کارایی کالکتورهای شاهد کاسته ولی بر میزان ضریب کارایی کالکتور ۱۰ طبقه افزوده شده است. در واقع ضریب کارایی کالکتور شاهد در سرعت‌های ۰/۵ و ۱ متر در ثانیه جریان هوای خروجی به ترتیب ۵۷/۲۷ و ۱۸/۶ درصد بیشتر از ضریب کارایی کالکتور ۱۰ طبقه بوده است؛ اما هنگامی که سرعت هوای خروجی به ۲ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد، این اختلاف تقریباً از بین می‌رود و به مقدار قابل اغماض ۱/۹ درصد کاهش می‌یابد. توجه این وضعیت را می‌توان به اثر سرعت و سمت وزش باد محیط بر میزان ورود هوای گرم موجود در جدار خارجی سطح شفاف کالکتورها به درون آنها

جدول ۳- وضعیت سرعت و جهت وزش باد در ایستگاه اکباتان همدان در روزهای آزمایش

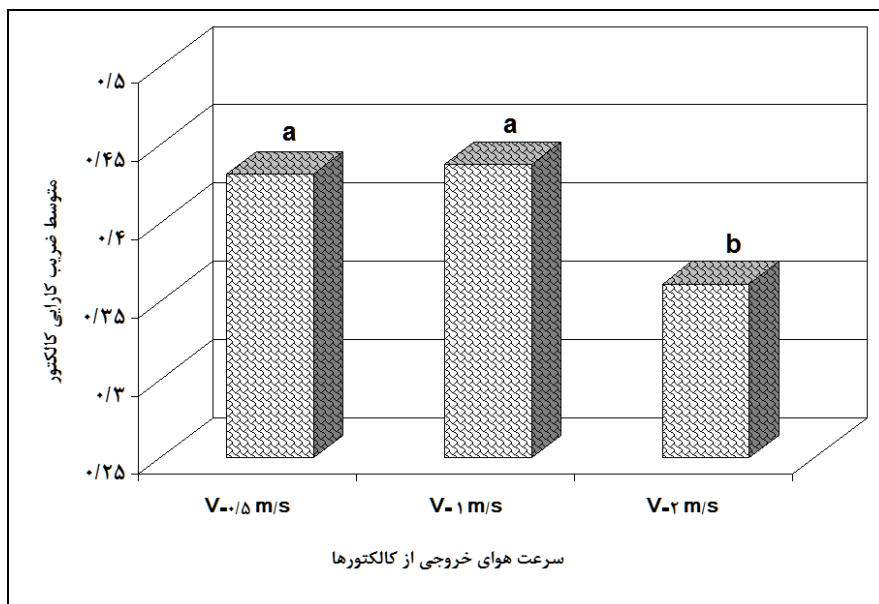
تاریخ	سرعت وزش باد (متر بر ثانیه)	سمت وزش باد (درجه)
۲۷ شهریور	۴	۲۷۰
۲۸ شهریور	۱۰	۳۳۰
۲۹ شهریور	۶	۳۶۰
۳۰ شهریور	۵/۵	۳۰۰
۳۱ شهریور	۴	۳۱۰

چالش جدی مواجه می‌کند؛ ضمن آنکه موضوع هزینه ساخت بالاتر و نگهداری دشوارتر کالکتورهای

این نتایج برتری کالکتورهای مطبق را نسبت به نوع شاهد و کاربرد آنها را در مناطق بادخیز با

انتخاب گردید. از میان سرعت‌های مختلف هوای خروجی از کالکتور، سرعت ۱ متر بر ثانیه به عنوان سرعت جریان هوای مورد استفاده برای ادامه کار انتخاب شد، یکی به دلیل نداشتن اختلاف معنی‌دار با سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه و دیگری به دلیل لزوم به‌کارگیری بیشترین سرعت ممکن جریان هوا.

مطبق را نیز نباید از نظر دور داشت. به این ترتیب، با توجه به شرایط بادخیز بودن منطقه همدان و وزش بادهایی با سرعت بیش از ۱۰ متر بر ثانیه در بیش از ۶۲ درصد روزهای ماه‌های تیر تا اواخر مهر ماه (آمار اداره کل هواشناسی استان همدان)، عملاً امکان به‌کارگیری کالکتورهای چند طبقه در این منطقه منتفی است و کالکتور شاهد برای ادامه مطالعه



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر سرعت هوای خروجی بر ضریب کارایی کالکتورها (در این شکل، ستون‌های با حروف متفاوت، در گروه‌های آماری متفاوت قرار می‌گیرند)

مدت زمان اجرای عملیات خشک کردن به ترتیب ۸/۴ و ۲۴/۷ درجه سلسیوس بود. زمان نظری لازم برای خشک کردن انگور، به کمک روابط ۹ تا ۱۳ و به شرح زیر محاسبه شد (Khalil *et al.*, 2007; Duffie & Beckman, 1991):

الف) بر اساس رابطه ۹ میزان رطوبتی که باید از میوه خارج شود معادل ۰/۷۷ کیلوگرم محاسبه شد:

$$M_w = \frac{59/1 \times (11/4 - 18/7)}{(100 - 18/7) \times 59/1} = 0.77 \text{ kg} \quad (9)$$

محاسبه زمان نظری و عملی خشک شدن انگور درون خشک‌کن

در تاریخ ۳۰ شهریور دستگاه ساخته شده برای خشک کردن انگور به کار گرفته شد. برای این منظور، انگور با رطوبت اولیه ۸۱/۴ درصد به خشک‌کن منتقل و کار خشک کردن تا رسیدن رطوبت انگور به ۱۸/۷ درصد ادامه داده شد. متوسط دمای هوای محیط و هوای خروجی از کالکتور در

(ج) با توجه به سرعت و دبی جریان هوا در داخل محفظه اصلی دستگاه زمان نظری لازم برای خشک شدن میوه (T) برابر ۸۱/۷ ساعت به دست آمد:

$$Q = 0.03 \times 1/2 \times 0.65 \times 3600 = 84/24 m^3 \quad (12)$$

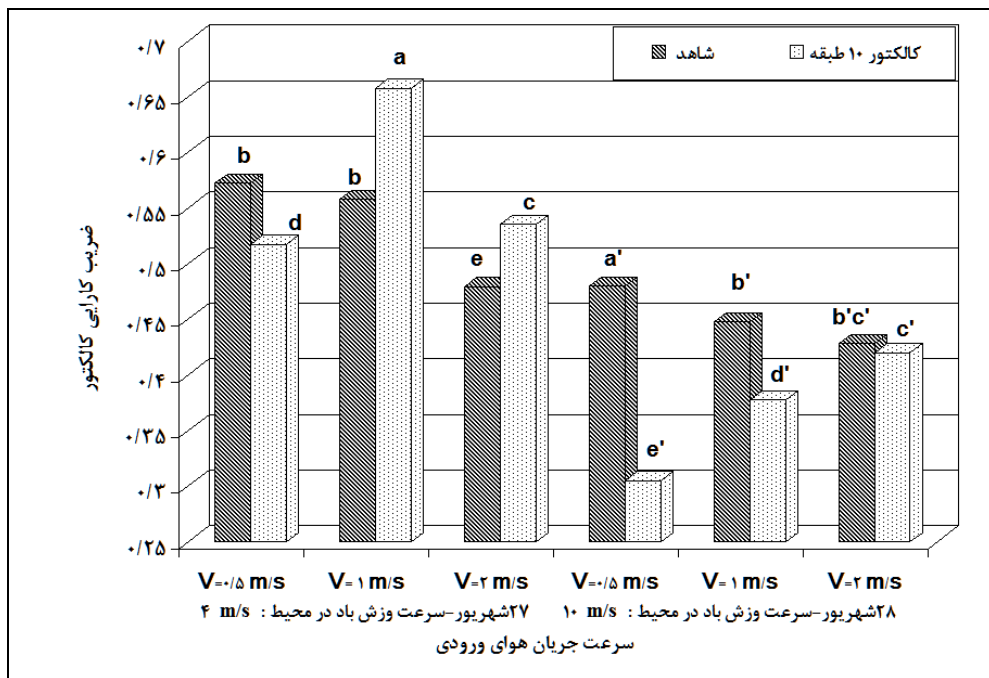
$$T = \frac{6883}{84/247} = 81/7 h \quad (13)$$

(ب) طبق رابطه ۱۰ وزن هوای مورد نیاز برای خشک کردن هر کیلوگرم میوه برابر ۱۴۴/۱۱ کیلوگرم بود:

$$Ma = \frac{0.77 \times 2730000}{102 \times 14/3} = 144/11 kg \quad (10)$$

بنابراین حجم هوای مورد نیاز برای خشک کردن کل میوه مطابق رابطه ۱۱ به شکل زیر محاسبه شد:

$$V = \frac{144/11 \times 0.291 \times 281/4 \times 59/1}{101/325} = 6883 m^3 \quad (11)$$



شکل ۴ - تغییرات ضریب کارایی کالکتور شاهد و ۱۰ پله در دو سرعت مختلف وزش باد در محیط (در این شکل، ستون‌های با حروف متفاوت، در گروه‌های آماری متفاوت قرار می‌گیرند)

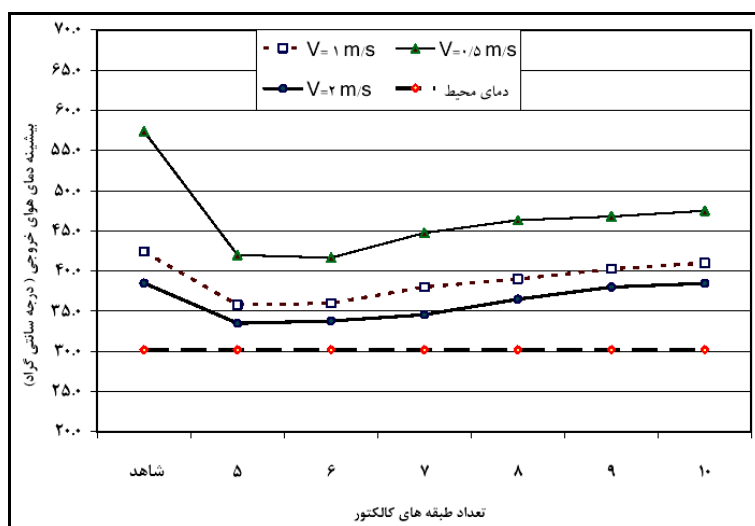
محیط آزاد؛ هر چند میزان سرعت خشک شدن میوه در خشک‌کن خورشیدی، هنگام شب و خصوصاً بین ساعات ۲۰ تا ۸ صبح روز بعد شدیداً افت می‌کند و حتی روندی منفی به خود می‌گیرد که ناشی از افزایش رطوبت قابل توجه هوا و جذب رطوبت مجدد توسط میوه در حال خشک شدن در این محدوده زمانی است (شکل ۷). کار خشک شدن انگور در

زمان عملی خشک شدن میوه‌ها درون خشک‌کن

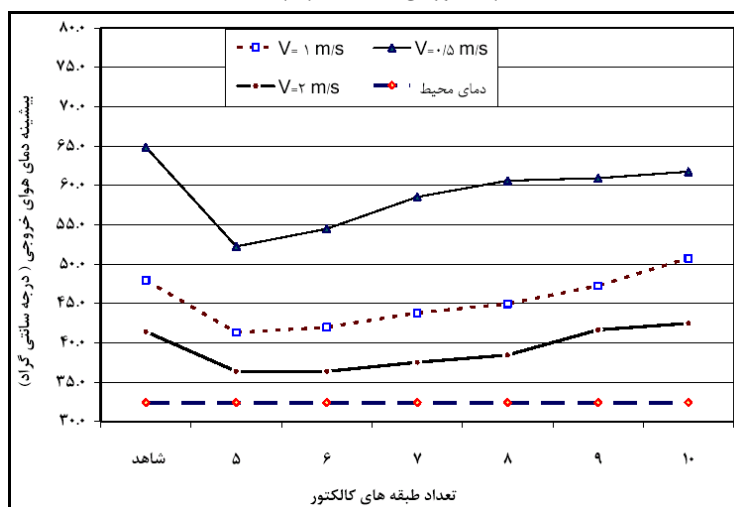
شکل ۷ روند خشک شدن انگور را توسط با خشک‌کن خورشیدی و به روش سنتی نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که سرعت خشک شدن میوه درون خشک‌کن خورشیدی - به ویژه در ۲۴ ساعت اول فرآیند - به مراتب سریع‌تر است تا در

کاهش رطوبت میوه، میل آن به جذب رطوبت مجدد افزایشی چشمگیر است. تنزل درصد افت رطوبت به ۱/۴- درصد در ساعات سرد آخرین روز خشک کردن، این فرضیه را به خوبی تأیید می‌کند. این وضعیت، لزوم مدیریت بهتر فرآیند خشک کردن و قطع ارتباط محصول خشک شده با رطوبت محیط را یادآوری می‌کند. این نتایج با یافته النمار و همکاران (Elnemar *et al.*, 2018) همخوانی دارد.

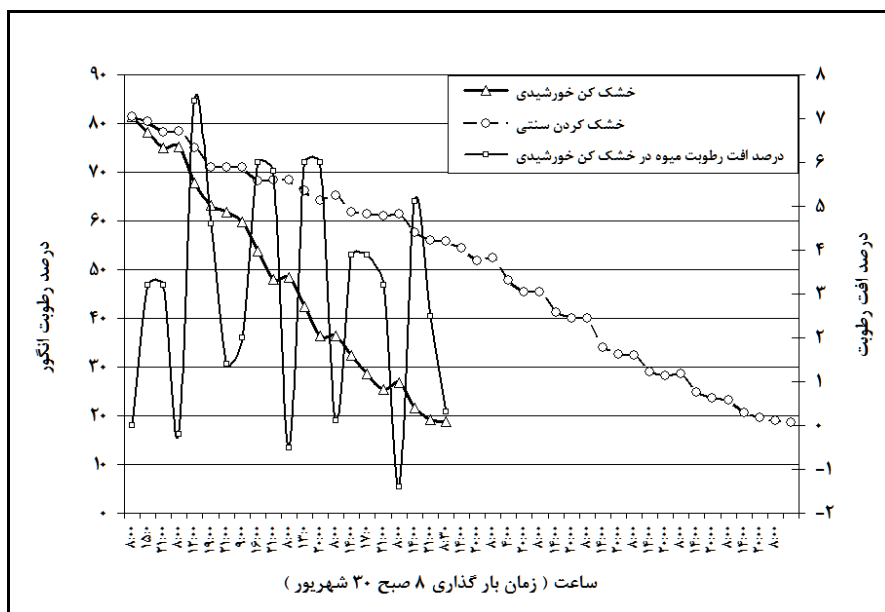
خشک‌کن خورشیدی ۱۳۶ ساعت به درازا کشید که این زمان در مقایسه با زمان صرف شده برای خشک کردن این میوه به شیوه سنتی، ۱۰۸ درصد کاهش نشان می‌دهد. مطابق این نتایج با کاهش دما و افزایش رطوبت نسبی هوای محیط در روزهای پایانی تابستان و اوایل پاییز، استفاده از خشک‌کن خورشیدی صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان خشک شدن به همراه داشته است. نکته قابل توجه دیگر آن است که با نزدیک شدن به پایان کار خشک کردن و



شکل ۵- بیشینه دمای ثبت شده برای هوای خروجی از کالکتورهای آزمایشی در تاریخ ۲۸ شهریور (سرعت وزش باد ۱۰ متر بر ثانیه)

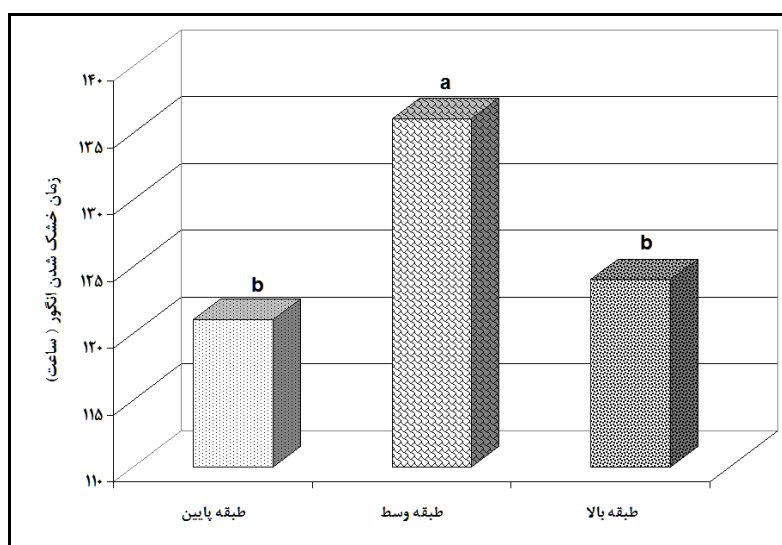


شکل ۶- بیشینه دمای ثبت شده برای هوای خروجی از کالکتورهای آزمایشی در تاریخ ۲۷ شهریور (سرعت وزش باد: ۴ متر بر ثانیه)



مقایسه سرعت خشک شدن میوه‌های موجود در طبقات مختلف خشک‌کن در شکل ۸ نشان داده شده است. این نمودارها نشان می‌دهند که میوه‌های موجود در طبقات سه گانه محفظه اصلی دستگاه با سرعت یکسانی خشک نشده‌اند. سرعت خشک شدن میوه‌ها در طبقه اول و سوم دستگاه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند؛ اما سرعت خشک شدن میوه‌ها در طبقه دوم کماکان به شکل کاملاً معنی‌داری کمتر از سرعت خشک شدن میوه‌ها در دو طبقه دیگر است.

مقایسه سرعت خشک شدن میوه‌های موجود در طبقات مختلف خشک‌کن در شکل ۸ نشان داده شده است. این نمودارها نشان می‌دهند که میوه‌های موجود در طبقات سه گانه محفظه اصلی دستگاه با سرعت یکسانی خشک نشده‌اند. سرعت خشک شدن میوه‌ها در طبقه اول و سوم دستگاه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند؛ اما سرعت خشک شدن میوه‌ها در طبقه دوم کماکان به شکل کاملاً معنی‌داری کمتر از سرعت خشک شدن میوه‌ها در دو طبقه دیگر است.



حسی کشمش‌های تهیه شده به دو روش خشک‌کن خورشیدی و سنتی آفتابی و مقایسه میانگین این داده‌ها در جدول‌های ۴ و ۵ آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که بین میانگین نمره‌های ارزیابی حسی کلی، بافت و رنگ نمونه‌های برداشت شده از نقاط مختلف خشک‌کن خورشیدی و نمونه‌های خشک شده به روش آفتابی (سنتی) اختلاف معنی‌داری وجود دارد. از نظر گروه ارزیابی کمترین و بیشترین تفاوت در سفتی بافت و ارزیابی کلی کشمش‌های تیمار نسبت به نمونه مرجع در نمونه‌های خشک شده در طبقه دوم خشک‌کن و نمونه سنتی مشاهده شده است. به نظر می‌رسد قرار داشتن میوه در معرض تابش نور شدید خورشید و حرارت بالا بر افزایش سفتی بافت میوه خشک شده - که احتمالاً حاصل تخریب بیشتر بافت میوه و ایجاد لایه سخت سطحی^۱ بر سطح میوه خشک شده بوده است - تأثیر معنی‌داری داشته است. از آنجا که نمونه‌های موجود در طبقه دوم دستگاه نسبت به نمونه‌های دیگر طبقات با تأخیر بیشتری به رطوبت نهایی رسیدند، این خشک شدن کندتر باعث گردیده تا لایه سطحی با مقاومت کمتری در سطح میوه خشک شده تشکیل شود (Dahlenburg, 1998).

این وضعیت نشانگر مؤثر بودن بخش شیشه‌ای ایجاد شده در سقف شیب‌دار محفظه اصلی، با هدف جبران افت دمای هوای راه یافته به بخش فوقانی محفظه است، اما به نظر می‌رسد لایه دوجداره و شفاف تعبیه شده در دیواره جانبی محفظه اصلی نتوانسته است افت دمای هوای در حال عبور از روی سینی طبقه دوم را بهبود بخشد. در پژوهش‌های دیگر محققان در خصوص خشک‌کن‌های مشابه موجود دیده می‌شود که با دور شدن از محل ورود هوای گرم به داخل محفظه، سرعت خشک شدن میوه‌ها کاهش می‌یابد (Fuller, 1998; Adarsh & Venugopal, 2018). این خشک‌کن توانسته است به بخشی از این مشکل فائق آید.

محاسبه کارایی عملی دستگاه

با توجه به زمان ۱۳۶ ساعتی لازم برای خشک شدن انگور در خشک‌کن خورشیدی ساخته شده، کارایی واقعی دستگاه خشک‌کن برای زمان‌های بهره‌برداری بر اساس رابطه ۸ معادل ۰/۶ محاسبه شد:

$$Ef = \frac{81/7}{136} = 0/6 \quad (8)$$

بررسی کیفیت محصول

نتایج تجزیه آماری اندازه‌گیری رنگ، و ارزیابی

جدول ۴ - تجزیه واریانس اثر شرایط خشک کردن بر ویژگی‌های کیفی کشمش تولیدی

میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییرات
ارزیابی حسی کلی	امتیاز بافت	رنگ		
۴/۸۸*	۵/۰۲*	۰/۵۳۷*	۳	شرایط خشک شدن
۰/۱۷۵	۰/۱۸۳	۰/۰۰۴۹	۱۶	اشتباه
			۱۹	کل

* بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

رنگ انگورهای خشک شده در طبقات مختلف خشک‌کن اختلافی اندک اما معنی‌داری مشاهده شده است. میزان تیرگی رنگ میوه‌های خشک شده در طبقه فوقانی خشک‌کن، بالاتر از نمونه‌های دو طبقه زیرین است. تابش نور خورشید به میوه‌های موجود در بالاترین طبقه از طریق بخش شیشه‌ای تعبیه شده روی سقف شیب‌دار محفظه اصلی خشک‌کن می‌تواند توجیه قابل قبولی برای این وضعیت باشد.

بر اساس مقایسه میانگین اعداد حاصل از اندازه‌گیری میزان جذب نور عصاره نمونه‌ها (جدول ۵)، میزان جذب در کشمش تهیه شده به روش سنتی نسبت به کشمش تولیدی در خشک‌کن خورشیدی به‌طور معنی‌داری بالاتر است. تیره شدن رنگ کشمش‌های تولیدی در معرض نور مستقیم خورشید که حاصل تغییر ماهیت ساختمان رنگ‌دانه کاروتنوئیدی موجود در بافت میوه است عامل اصلی این پدیده تلقی می‌شود (Sharma *et al*, 1993). بین

جدول ۵- مقایسه میانگین مقادیر عدد رنگ و ارزیابی حسی برای نمونه‌های کشمش

ویژگی کیفی		شرایط تولید	
امتیاز کلی ارزیابی حسی	امتیاز بافت	رنگ	
۸/۴ ^a	۸/۸ ^a	۰/۴۹۵ ^c	طبقه پایین
۹/۲ ^a	۹/۰ ^a	۰/۴۷۱ ^c	طبقه وسط
۸/۶ ^a	۸/۶ ^a	۰/۵۰۸ ^b	طبقه فوقانی
۶/۷ ^b	۷/۲ ^b	۱/۶۲ ^a	خشک کردن سنتی

استفاده برای سطح سینی‌ها را عیب عمده قابل ذکر در کشمش تولیدی در خشک‌کن خورشیدی ذکر کرده‌اند.

بررسی ویژگی‌های حسی و ظاهری نمونه‌های کشمش تولید شده در خشک‌کن خورشیدی توسط گروه داوران نشان می‌دهد رنگ کشمش تولیدی در خشک‌کن نسبت به نمونه آفتابی یکنواخت‌تر، دارای رنگ زرد درخشان متمایل به کهربایی و تیرگی کمتر است. در مقایسه با نمونه مرجع، گروه ارزیاب بافت نمونه‌های خشک شده در معرض آفتاب را سفت‌تر و به‌طور معنی‌داری واجد کسب امتیاز کمتر گزارش کرده است. آدارش و ونوگوپال (Adarsh & Venugopal, 2018) در پژوهش‌های خود به نتایجی مشابه اشاره کرده‌اند. گروه ارزیاب، تفاوت معنی‌داری را بین ویژگی‌های بافتی و ارزیابی حسی کلی

در این جدول، میانگین‌های هر ستون به شکل جداگانه مورد مقایسه آماری قرار گرفته‌اند. میانگین‌های با حروف متفاوت، در گروه‌های آماری متفاوت قرار می‌گیرند.

نتایج تجزیه آماری نمره‌های گروه ارزیاب به نمونه‌های انگور خشک شده به شیوه سنتی و خشک‌کن خورشیدی در جدول ۵ ارائه شده است. گروه ارزیاب کمترین امتیاز را برای نمونه کشمش تهیه شده به روش سنتی قائل شده‌اند. وجود ذرات خارجی، گرد و خاک و سنگریزه، بقایای حشرات، و رنگ غیر یکنواخت از عیوب عمده گزارش شده توسط گروه ارزیاب برای کشمش تولیدی به روش سنتی اعلام شده است. در مقابل، این گروه وجود ذرات ریز سیاه رنگ روی برخی نمونه‌های کشمش (ناشی از تماس حبه‌های انگور و توری فلزی مورد

کشمش‌های تولیدی در طبقات مختلف خشک‌کن تشخیص داده است.

محفظه اصلی کمک قابل توجهی به یکنواخت کردن سرعت خشک شدن میوه در طبقات اول و آخر دستگاه می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اجرای این مطالعه اثربخشی استفاده از خشک‌کن‌های خورشیدی را در افزایش سرعت و کیفیت تولید خشکبار به خوبی اثبات کرده و نشان داده است که:

(ج) با تبدیل بخشی از دیواره جانبی محفظه اصلی به یک کالکتور و تعبیه مجاری لازم برای گردش هوای داخل محفظه به درون آن اگرچه کندی سرعت خشک شدن میوه در طبقات میانی تا حدی تقلیل می‌یابد، اما به طور کامل برطرف نمی‌شود. رفع این مشکل نیازمند مطالعات بیشتر است.

(الف) کاربرد کالکتورهای مطبق برای افزایش راندمان حرارتی دستگاه منوط خواهد بود به نوزیدن بادهای نسبتاً شدید در منطقه، وگرنه اثر معکوسی در افزایش کارایی خواهد داشت. با افزایش تعداد طبقات و کوتاه شدن ارتفاع شکاف بین این سطوح و افزایش سرعت خروج هوا از کالکتورها (افزایش مکش هوا) کارایی کالکتور افزایش می‌یابد.

(د) کیفیت محصولات تولیدی در طبقات مختلف خشک‌کن خورشیدی اختلاف معنی‌داری با هم ندارند و همگی آنها به طور معنی‌داری بهتر از نوع تهیه شده به روش سنتی هستند.

(ب) شفاف کردن بخشی از پوشش سقف شیب‌دار

(ه) از به کارگیری طبقات نگهدارنده فلزی با قابلیت خورندگی در خشک‌کن اجتناب شود.

جدول ۶- نشانه‌های به کار رفته در روابط مورد استفاده

نشانه	تعریف نشانه	نشانه	تعریف نشانه
A:	سطح محفظه جمع‌کننده انرژی	Ma:	جرم هوای موردنیاز برای خشک کردن
CP:	گرمای ویژه هوا	Mi:	درصد رطوبت اولیه میوه
G:	جرم هوای در حال جریان در کالکتور در واحد سطح	Mf:	درصد رطوبت نهایی محصول
Ec:	ضریب کارایی کالکتور	P:	فشار اتمسفر محیط
T:	دمای اولیه بر حسب کلوین	Qu:	انرژی مفید به دست آمده از محفظه‌ها
To:	دمای هوای محیط	R:	ثابت گازها
Ti:	دمای هوای خروجی از محفظه کالکتور	IN:	انرژی تابش خورشید به سطح ($Kcal/m^2$)
Lv:	گرمای نهان تبخیر آب	Va:	حجم هوای موردنیاز جهت خشک کردن
Mw:	میزان آبی که باید از میوه تبخیر شود	TD:	زمان نظری خشک شدن میوه
Ef:	ضریب کارایی عملی خشک‌کن	TT	زمان عملی خشک شدن میوه توسط دستگاه

تشکر و قدردانی

از ایستگاه تحقیقات انگور ملایر و مدیریت باغبانی سازمان جهاد کشاورزی استان همدان برای تأمین بخشی از اعتبار پژوهش حاضر، تشکر و قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان در رابطه با انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از اخلاق نشر تبعیت کرده و از موارد سوء اخلاق از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

- Adarsh, A. M. and Venugopal, T. 2018. Solar power drying system: A comprehensive assessment on types, trends, performance and economic evaluation. *International Journal of Ambient Energy*. 15(7): 103-119.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Published by the AOAC. International 18th Ed. Washington, D.C.
- Anon. 2003. A brief history of solar energy. Available at: <http://www.fao.org/inpho/isma>. Accessed: 12 Jul 2017.
- Anon. 2009. Solar dryers. Available at: <http://www.fao.Org/inpho/vlibrary/t0073e/>. Accessed 17 Mar 2015.
- Anon. 2001. Solar energy for food dryers. Reading list 2001. ERCE. Energy efficiency and renewable energy clearinghouse. Available at: <http://www.eren.doe.gov/>. Accessed: 4 Aug 2018.
- Bal, L. M., Satya, s. and Naik, S. N. 2010. Solar dryer with thermal energy storage systems for drying agricultural food products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14(8): 2298–2314.
- Barnwal, P., and Tiwari, G.N. 2014. Grape drying by using hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) greenhouse dryer: An experimental study. *Solar Energy* 82(12): 1131-1144.
- Çerçi, K.N. and Das, M. 2019. Modeling of Heat Transfer Coefficient in Solar Greenhouse Type Drying Systems. *Sustainability*. 11(8): 5127- 5139.
- Dahlenburg, A. P. 1998. Relationship of drying ratio and dried fruit quality with different temperature of SO₂ pretreatment. Available at: <http://www.Sardi.sa.gov.au/R/7/98>. Last Accessed: 10 Mar 2018.
- Demir, V., Gunhan, T., Yagcioglu, A.K. and Degirmencioglu, A. 2004. Mathematical modeling and the determination of some quality parameters of bay leaves dryer. *Biosystems Engineering*. 88(3): 325-335.

- Deshmukh, A.W., Wasewar, K. L. and Verma, M. N. 2011. Solar drying of food materials as an alternative for the energy crisis and environmental protection. *International Journal of Chemical Sciences*. 9(3): 1175–1182.
- Duffie, J. A. and Beckman, W. A. 1991. *Solar Engineering of the Thermal Process*. John Wiley and Sons, New York.
- Duncan, G. A., and Lower, Jr, O. J. and Colliver, D. G. 1981. Simulation of energy flows in a greenhouse. *Transaction of ASAE*. 24 (4): 1014-1021.
- Elnamer, M. K., El-Sheikha, A. and Mosad, G. 2018. Comparison of drying characteristics of seedless grapes (*vitis vinifera* L.) using solar dehydrator and natural-sun-dehydration. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 9(11): 587-595.
- El-Sebaei, A. A., Aboul-Enein, S., Ramadan, M. R. I. and Gohary, H. G. E.L. 2002. Experimental investigation of an indirect type of natural convection solar dryer. *Energy Conversion & Management*. 43(16): 2251-2266.
- Fuller, R. J. 1998. Solar frying of horticultural produce: Present and future prospects. *Postharvest News and Information*. 4(3): 131-136.
- Ghobadian, B. 2002. *Solar Dryers*. Tarbiat Modares University. Tehran, Iran (In Persian).
- Jaira, K. S., Singh, S. P. and Srikant, K. 2009. A review of solar dryers developed for grape drying. *Solar Energy*. 83(9): 1698-1712.
- Janjaia, S., Srisittipokakuna, N. and Balab, B. K. 2008. Experimental and modeling performances of a roof-integrated solar drying system for drying herbs and spices. *Journal of Energy*. 33(2): 91–103.
- Khalil, E. J., Al-Juamily, A. J., Khalifa, N. and Yassen, T. A. 2007. Testing of the performance of a fruit and vegetable solar drying system in Iraq. *Journal of Desalination*. 9(3): 163–170.
- Moss, R.W., Henshall, P. and Arya, F. 2018. Performance and operational effectiveness of evacuated flat plate solar collectors compared with conventional thermal, PVT, and PV panels. *Applied Energy*. 21 (4): 588–601.
- Payan, R. (2003). *Principles of Quality Control in the Food Industry*. Tehran, Iran. (In Persian).
- Pravin, A., Rushikesh, K. and Govind, U. 2017. Design and development of solar air dryers for raisin. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*. 4(4): 115-117.
- Pryor, T. 2003. *Solar Dryers*. Murdoch University Energy Research Institute. Report No: 4106-7. Murdoch, W. A. 6150. Australia.

- Rachmat, R. 1996. Study on the solar desiccant system for paddy drying. (MSc. Thesis), Faculty of Agricultural Engineering, Kyoto University, Kyoto, Japan.
- Rachmat, R. and Horibe, K. 1999. Solar heat collection characteristics of a fiber-reinforced plastic drying house. Transaction of ASAE 42(1): 149-157.
- Saleh, T. 2002. Study of indirect type of solar dryer. (Undergraduate Thesis), Food Engineering, B.U.E.T.
- Sharma, V. K., Colangelo, A. and Spagna, G. 1993. Experimental performance of an indirect type solar fruit and vegetable dryer. Energy Conversion & Management. 34 (4): 293-308.



Original Research

Comparison of the Performance of a Compatible and Simple Collector in Solar Dryers (Case Study: Grape Dryer)

F. Goodarzi*

* Corresponding Author: Assistant professor, Department of AERI, Research and education Center of Agriculture and Natural Resources of Hamedan. Agricultural Research, Education and Extension Organisation (AREEO). Hamedan, Iran. E-mail: goodarzifarzad@gmail.com
Received: 25 December 2019, Accepted: 15 November 2020
<http://doi: 10.22092/fooder.2020.341235.1251>

Abstract:

The application of solar energy and sun dryers in food drying is increasing. Low efficiency is the main problem of this apparatus. To solve this problem, a new heat collector and drying chamber were made and assessed. The cover of the collectors was double glazed and consist of many slats and assembled in such a way that it formed a stair step fashion and made many slots through which inlet air was sucked into the collector to reduce total heat loss. The theoretical and practical efficiency of the dryer was calculated during the grape drying. The thermal efficiency of the new 10-step collector and control at low ambient wind speeds was calculated to be 65% and 56%, respectively. Increasing the ambient wind speed to 10 meters per second and more reduced the thermal efficiency of the matching collectors to 35%. The use of the new collector is recommended only if the ambient wind speed is less than 1 meter per second. The drying time of grape in the solar dryer was significantly - around %108 - shorter than that at similar time for the sun-drying method. The time required for fruit drying in the middle tray was 10 to 14 hours longer than that in other trays. In terms of overall acceptance, the raisins produced at different trays of solar dryer had a similar quality, but all were significantly superior to the traditional (sun-dried) product.

Key Words: Drying speed, Multi-stair solar energy collector, Quality, Sun dryer, Thermal efficiency