تاثیر دبی هوای خشک کننده و نحوه خشک کردن بر روند کاهش رطوبت انگور در یک خشک‌کن خورشیدی کابینتی

مجتبی داداش زاده* – علی زمردیان – غلامرضا مصباحی[1]

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۸۷/۴/۹

چکیده

خشک کردن توسط خورشید از روشهای معمول در حفاظت از محصولات کشاورزی در بیشتر کشورهاست. تحقیق حاضر یک ایده نسبتا جدید در نحوه به کارگیری انرژی خورشید به عنوان منبع اصلی تامین انرژی خشک‌کن می‌باشد، که در آن خشک‌کن خورشیدی با قابلیت بکارگیری در دو حالت طراحی، ساخته و مورد ارزیابی قرار گرفته است. خشک‌کن مورد نظر از نوع کابینتی بوده که می‌توان از آن به دو صورت مختلط و غیرمستقیم برای خشک کردن سبزیجات و میوه‌جات استفاده کرد. جریان هوا در آن به صورت جابجائی اجباری برقرار می‌گردد. جهت ارزیابی دستگاه از انگور به عنوان ماده مورد آزمایش برای خشک کردن به صورت لایه نازک استفاده گردید. تاثیر دبی هوای خشک کننده و نحوه بکارگیری خشک‌کن بر روند کاهش رطوبت انگور پهن شده بر روی سینی‌ها و نیز یکنواختی پروسه خشک شدن روی سینی‌ها و همچنین بین سینی‌ها مورد بررسی قرار گرفت. دبی هوای خشک کننده در سه سطح ۰/۱۷۱ و ۰/۱۲۶ و ۰/۰۸۵ مترمکعب بر ثانیه، نحوه استفاده از خشک‌کن که در دو سطح مختلط و غیرمستقیم و مکان‌های نمونه‌برداری که در پنج سطح بر روی سینی پایینی و سه سطح بر روی سینی بالائی و دو سطح سینی بالا و سینی پایین انتخاب گردیدند. این آزمایش‌ها در ماه‌های مهر و آبان سال ۱۳۸۴ در محل دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز صورت گرفته است. جهت انجام آزمایش‌ها انگورهای واریته عسگری(خلیلی) انتخاب شدند. متوسط رطوبت اولیه ۷۸٪ ، متوسط رطوبت نهایی ۱۵٪ و میانگین زمان لازم برای خشک شدن چهار روز و هر روز به مدت ۶ ساعت، همچنین میانگین شدت تابش انرژی خورشید ۸۷۰ وات بر متر مربع ثبت گردید. نتایج آماری نشان داد که دبی هوای خشک کننده و نحوه بکارگیری دستگاه برای خشک کردن انگور اثر معنی‌داری بر کاهش رطوبت محصول پهن شده بر روی سینی‌ها دارد. اما اثر مکان نمونه‌برداری فقط در بین سینی‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان داده است و در داخل هر یک از سینی‌ها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

واژه های کلیدی: جمع‌کننده‌های خورشیدی، خشک‌کن خورشیدی مختلط و غیرمستقیم، لایه‌های نازک

مقدمه

خشک کردن همیشه اهمیت زیادی در محافظت و افزایش عمر ماندگاری محصولات کشاورزی داشته است. در این میان نقش استفاده از انرژی خورشید در خشک کردن محصولات کشاورزی بعنوان جایگزین مناسبی برای سوختهای فسیلی بویژه در نقاطی که تابش خوبی از این منبع انرژی در فصل برداشت وجود دارد، به اثبات رسیده

۱. بترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی و مربی گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*. نویسنده مسئول Email: mojtaba dadashzadeh @ yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

است(۱۰). عمل خشک کردن به شیوه‌های سنتی بدلیل مشکلاتی چون تغییرات نامطلوب در کیفیت محصول به علت طولانی بودن زمان خشک کردن، نیاز به نیروی کارگری فراوان، عدم کنترل کافی در مراحل مختلف خشک کردن به علت تغییر شرایط جوی، ضایعات ناشی از حمله حشرات و پرندگان، عدم امکان خشک شدن کافی بعضی از محصولات توسط خورشید و ... کاربرد خشک‌کن‌های جدید و پیشرفته را ضروری ساخته است. درسال‌های اخیر تلاش‌های زیادی جهت ساخت و توسعه خشک‌کن‌های خورشیدی برای حفاظت از محصولات کشاورزی و باغبانی انجام شده است(۱۱). امکان استفاده از انرژی خورشیدی بمنظور خشک نمودن محصولات کشاورزی اولین بار توسط بیولو (۶) مورد بررسی قرار گرفت.

گالالی و همکاران، به بررسی کیفیت میوه‌ها و سبزیجات خشک شده به دو روش سنتی و خورشیدی پرداختند و به این نتیجه رسیدند کیفیت محصول خشک شده توسط خشک‌کن‌های خورشیدی مختلط و غیرمستقیم بهتر از روش سنتی بوده است همچنین اختلاف معنی‌داری برای درصد اسید و قند بین انگورهای خشک شده با خشک‌کن خورشیدی و روش سنتی مشاهده گردید (۹).

بنامیون و بلهامری، (۷) به مطالعه بر روی یک خشک کن خورشیدی فعال توده‌ای برای خشک کردن محصولات کشاورزی پرداختند. در این خشک‌کن از جمع کننده‌های صفحه‌ای تخت برای گرم کردن هوای خشک کننده استفاده شد و در مواقع کاهش شدت تابش انرژی خورشیدی از گرم کننده‌های الکتریکی به عنوان منبع حرارتی کمکی استفاده گردید. نتیجه این بررسی به این صورت بیان شد که با افزایش سطح جمع کننده می‌توان درجه حرارت بیشتری را ایجاد کرد که این با کاهش زمان خشک شدن همراه است. همچنین افزودن منبع حرارتی کمکی سبب افزایش راندمان کاری سیستم به ویژه در شرایط نامساعد جوی گردیده است (۷).

یلدیز و همکاران، (۱۲) مدلی ریاضی برای خشک کردن خورشیدی انگور به صورت لایه نازک پیشنهاد کردند. آنها در این تحقیق که در آنتالیای ترکیه صورت گرفت از یک خشک‌کن خورشیدی فعال غیرمستقیم که دارای یک جمع کننده خورشیدی و یک محفظه خشک کننده بود، استفاده کردند. در این تحقیق هشت معادله ریاضی خشک کردن مختلف مورد بررسی قرار گرفت و اثر درجه حرارت و سرعت هوای خشک کننده بر روی ثابت‌ها و ضرایب مدل با مدلهای رگرسیونی بررسی شد. بر اساس نتایج بدست آمده مدل Two-term با ضریب همبستگی ۰/۹۷۹ به طور معنی‌داری روند خشک شدن انگور را در این خشک کن نشان داد (۱۲).

مصباحی و همکاران، (۵) به بررسی مقایسه ای تولید کشمش به وسیله خشک کن خورشیدی و سایر روشهای خشک کردن پرداختند. نتایج نشان داد که خشک کن‌های خورشیدی نه تنها می‌توانند کشمش‌هایی مشابه کشمش‌های تولید شده در سایر روش‌های خشک کردن تولید کنند بلکه در برخی از فاکتورهای کیفی، کشمش‌های تولیدی توسط این خشک‌کن‌ها نسبت به سایر روش‌های خشک کردن برتری دارند (۵).

زارع و همکاران، (۳) به بررسی تاثیر دبی جرمی هوای ورودی و زمان تخلیه محصول بر روند کاهش رطوبت شلتوک در یک خشک‌کن نیمه پیوسته خورشیدی پرداختند. نتایج نشان داد که دبی جرمی هوای خشک کننده و فاصله زمانی تخلیه محصول اثر معنی‌داری بر کاهش رطوبت شلتوک خروجی دارد (۳).

زمردیان و علامه، (۴) به بررسی خشک شدن برنج به صورت لایه نازک در یک خشک‌کن خورشیدی از نوع غیر فعال مختلط پرداخت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بستر

Archive of SID

www.SID.ir

۲ سانتیمتری شرایط بستر لایه نازک را در خشک کردن به شیوه خورشیدی با استفاده از جریان آزاد دارا می‌باشد. همچنین مشخص شد محصول در سرتاسر بستر دانه به طور یکنواخت خشک نمی‌شود (۴).

کشور ایران به دلیل واقع شدن درمنطقه نیمه گرمسیری و خشک از تابش نور کافی برخوردار است(۱). به همین دلیل استفاده از خشک‌کن های خورشیدی در کشور توصیه می‌شود. این خشک‌کن‌ها کم هزینه بوده و نیاز چندانی به تعمیر و نگهداری ندارند لذا می‌توان آنها را به راحتی در اندازه‌های مختلف بسته به نیاز کشاورزان ساخت و بکار گرفت.

تحقیق حاضر یک ایده نسبتا جدید در نحوه بکارگیری از انرژی خورشید بعنوان منبع تامین حرارت لازم جهت خشک کردن انگور می‌باشد. از اهداف مهم در این پژوهش بررسی تاثیر دبی هوای خشک کننده و نحوه بکارگیری دستگاه بر روند کاهش رطوبت انگور پهن شده به صورت لایه نازک بر روی سینی‌های حامل محصول در داخل خشک‌کن می‌باشد. همچنین یکنواختی خشک شدن روی هر یک از سینی‌ها نیز در این طرح تحت مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

از اهداف این طرح، ساخت یک دستگاه خشک‌کن خورشیدی فعال از نوع کابینتی بود که در آن جریان هوای خشک کننده به صورت جابجایی اجباری توسط یک مکنده برقرار می‌گردید. با توجه به اینکه دستگاه در حالت کلی به صورت مختلط ساخته شده است می‌توان با پوشاندن پوشش شیشه‌ای روی محفظه خشک‌کن ، از آن در حالت غیرمستقیم نیز استفاده کرد. این خشک‌کن خورشیدی در بخش مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه شیراز طراحی و ساخته شده و در ماههای مهر و آبان سال ۱۳۸۴ بر روی انگور با واریته عسگری(خلیلی) مورد ارزیابی قرار گرفت. قسمتهای اصلی آن شامل جمع کننده های خورشیدی، کانال‌های رابط، محفظه خشک‌کن، سینی های حامل محصول، سیستم تامین هوا و تجهیزات اندازه‌گیری دما، شید خورشید[1] و دبی هوا می‌باشد.

جمع کننده‌های خورشیدی: در این قسمت انرژی رسیده به سطح جمع کننده، به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. براساس محاسبات انجام گرفته (با توجه به رطوبت اولیه و رطوبت نهایی مد نظر محصول و مقدار محصول موردنظر برای خشک شدن و همچنین مقدار انرژی خورشیدی قابل دسترس و گرمای نهان تبخیر انگور) در این خشک‌کن از ۲ عدد جمع کننده خورشیدی هر کدام به ابعاد موثر ۱۰۰×۲۰۰ سانتی متری برای گرم کردن هوا استفاده شده است. این جمع کننده‌ها از نوع صفحه‌ای تخت بوده که در آنها، هوا از زیر و روی صفحه جاذب عبور می‌کند و هر دو بصورت پهلو به پهلو به یک کانال مشترک ذوزنقه‌ای خروجی نصب گردیده‌اند. با توجه به عرض جغرافیایی محل آزمایش (۳۰ درجه)، جمع کننده‌ها روی یک شاسی فلزی قابل حمل تحت زاویه ۴۵ درجه رو به جنوب قرار داده شدند(۸). شکل کلی دستگاه خشک‌کن خورشیدی در شکل۱ نشان داده شده است. جمع کننده‌ها از صفحه جاذب آلومینیومی سیاه رنگ(صفحه جاذب)، پوشش شیشه‌ای، قاب چوبی و پوشش پشم شیشه به عنوان عایق ساخته شده‌اند.

کانال رابط: برای انتقال هوای گرم شده در جمع کننده‌ها به محفظه خشک کننده از یک کانال ذوزنقه‌ای شکل استفاده شد. این کانال چوبی طوری ساخته شده است که از یک طرف دارای یک دهانه ۱۰×۲۰۰ سانتی‌متری می‌باشد که به انتهای بالایی جمع کننده متصل می‌گردد و از طرف دیگر دارای یک دهانه ۲۰×۱۰۰ سانتی‌متری بوده که به قسمت جلو _ پایین محفظه خشک کننده با پیچ محکم

1. Solar radiation

Archive of SID

www.SID.ir

می‌گردد. برای به حداقل رساندن تلفات حرارتی، سطح کانال بصورت موثر توسط پشم شیشه پوشانده شده است.

محفظه (بدنه) خشک‌کن: فرآیند اصلی خشک کردن در این قسمت انجام می‌شود. هوای گرم شده توسط جمع کننده‌های خورشیدی بوسیله مکنده، مکیده شده و به این قسمت هدایت می‌شود. در این قسمت با عبور هوای گرم از بستر محصول، رطوبت موجود در آنها تبخیر و به خارج هدایت خواهد شد. محفظه خشک‌کننده شامل محفظه آرام‌کننده، پوشش شیشه‌ای، درب جهت دسترسی به داخل آن، دریچه جهت اتصال به سیستم تامین هوا، پشم شیشه جهت عایق‌کاری، شیارهایی جهت نگهداری سینی‌های حامل محصول و قاب می‌باشد. این محفظه خود به عنوان جمع کننده خورشیدی نیز عمل می‌کند، لذا داخل محفظه خشک کننده با رنگ سیاه مات پوشانده شده است تا در مواقعی که از تابش مستقیم نور خورشید در حالت‌های مختلط بهره گرفته می‌شود، خود بعنوان جمع کننده عمل کرده و حداکثر جذب انرژی خورشید حاصل گردد. فاصله قرارگیری سینی‌ها نسبت به هم بسیار مهم می‌باشد طوری که سینی بالایی باید سایه اندازی ناچیزی روی سینی پایینی داشته باشد. فاصله سینی‌ها نسبت به هم ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد.

سینی‌های نگهداری محصول: در این خشک‌کن محصول به صورت لایه نازک (به ضخامت یک لایه انگور) خشک می‌گردد. به منظور قرار دادن محصول به صورت لایه نازک در داخل محفظه خشک کننده، با توجه به ظرفیت محفظه خشک کننده و ابعاد آن از دو عدد سینی استفاده شده است. سینی‌ها از توری پارچه‌ای با قاب چوبی ساخته شده‌اند. ابعاد موثر سینی بالائی ۲۶×۹۶ سانتی‌متر و سینی پایینی۴۶×۹۶ سانتی‌متر بوده که جمعا سطحی موثری برابر ۰/۶۹۱ متر مربع را برای نگهداری محصول تامین می‌کنند. تراکم محصول (با رطوبت ۷۸٪) برای خشک شدن بر روی سینی‌ها ۱۵ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته شده است.

سیستم تامین و انتقال هوا: در این خشک‌کن، هوا از جمع کننده‌ها توسط سیستم تامین و انتقال هوا مکیده و وارد محفظه خشک کننده می‌گردد. برای خروج هوا از خشک‌کن لوله قابل انعطاف آلومینیومی به کار گرفته شد که انتهای دیگر این لوله به یک مکنده ختم می‌شود. در این خشک‌کن از یک مکنده دارای موتور تک فاز با توان ۰/۷۵ اسب بخار و سرعت دورانی ۱۴۰۰ دور بر دقیقه استفاده شده است. از یک دمپر صفحه‌ای مستدیر برای تغییر دبی هوای خشک کننده که به وسیله اهرمی از بیرون تنظیم می‌گردید، استفاده شد.

آماده‌سازی انگور: جهت آماده‌سازی انگور برای تهیه کشمش تیزابی که در این طرح مدنظر بود از کربنات پتاسیم و روغن زیتون استفاده شد. نحوه تیزابی کردن ۱۰ کیلو انگور برای انجام آزمایش‌ها بدین صورت است که ۵ لیتر آب همراه ۲۵۰ گرم پودر کربنات پتاسیم و ۱۲۵ سی‌سی روغن زیتون را بر روی اجاقی قرار می‌دهند تا درجه حرارت محلول به حدود ۸۵-۹۰ درجه برسد. در این حالت انگورها را در داخل توری سبدی قرار داده و در داخل محلول به مدت ۵-۶ ثانیه فرو می برند سپس انگورها را از محلول خارج کرده و با آب سرد شستشو می‌دهند. برای تهیه‌ی کشمش طلایی یا کشمش سبز، پس از اتمام مرحله تیزاب زنی و قبل از اینکه پوست انگورها خشک شود، انگورها را به اتاق دود گوگرد می‌برند. مدتی که برای دوددهی انگور لازم است ۲-۴ ساعت می‌باشد و حدود ۳۰ گرم گوگرد برای ۱۰ کیلو انگور به مصرف می‌رسد(۲).

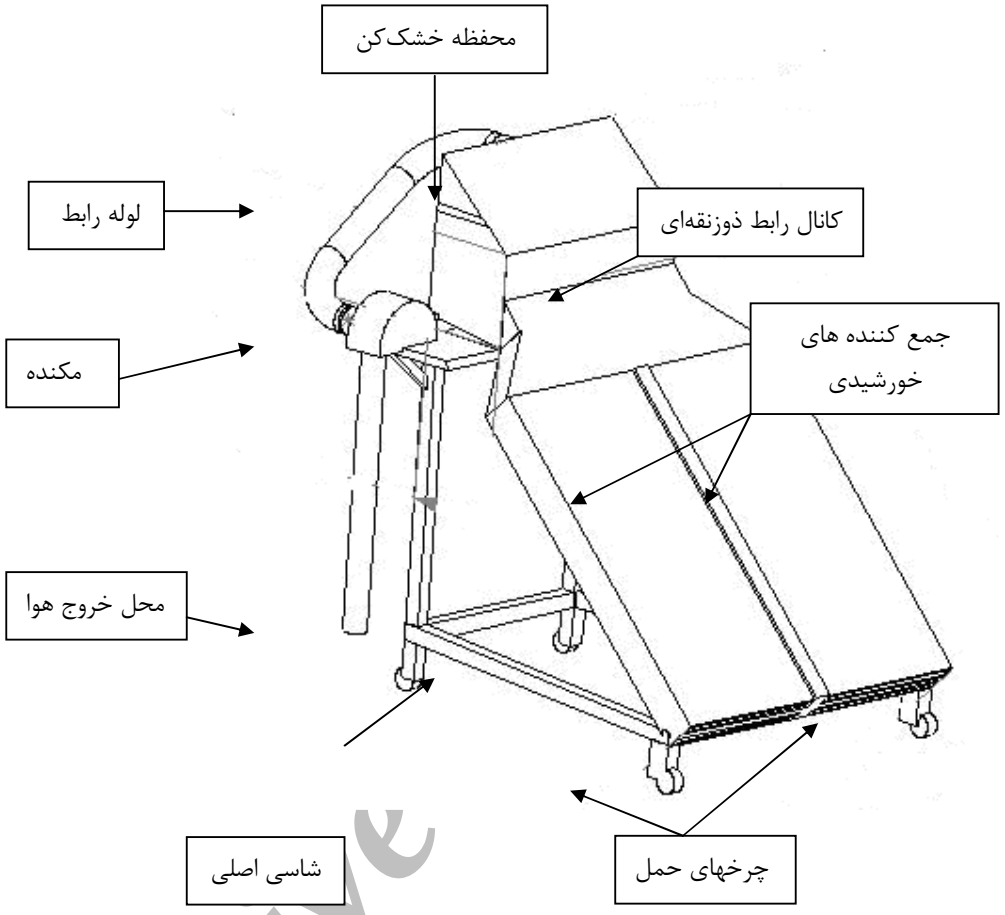
پارامترهایی که در این آزمایشها اندازه‌گیری شد عبارتند از:

الف) دبی هوای خشک کننده ب) رطوبت محصول در نقاط مختلف هر یک از سینی‌ها

ج) درجه حرارت محیط و هوای خشک کننده و هوای خروجی از خشک کن د) شدت تابش انرژی خورشید.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۱) شکل کلی از دستگاه خشک‌کن

برای اندازه‌گیری دبی هوای خشک کننده، به وسیله یک بادسنج توربینی با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه سرعت هوای خروجی از لوله انتهای مکنده اندازه گیری و در مساحت سطح مقطع لوله که ۱۵/۲ سانتی متر بود ضرب می‌شد. جهت تعیین رطوبت انگور نمونه‌برداری شده از سینی‌های حامل محصول از یک ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۱ گرم و یک دستگاه کوره حرارتی استفاده گردید. همچنین از شیدسنج خورشید از نوع Cassella با دامنه کاری ۰-۲۰۰۰ وات بر مترمربع جهت اندازه‌گیری شدت تابش انرژی خورشید و از حسگر حرارتی هوشمند از نوع SMT-۱۶۰ با دقت ۰/۵± درجه سانتیگراد جهت اندازه‌گیری درجه حرارت‌ها استفاده شد. در زمان آزمایش متوسط درجه حرارت محیط ۲۰ درجه، متوسط رطوبت نسبی محیط ۱۵٪ و متوسط شید خورشید ۸۷۰ وات بر متر مربع بود. برای هر دوره از آزمایش‌ها، انگور از باغ مورد نظر در منطقه بوانات تهیه می‌شد. متوسط رطوبت اولیه نمونه‌ها حدود ۷۸٪ و متوسط رطوبت نهایی مدنظر ۱۵٪ بود. جهت اندازه گیری رطوبت محصول پهن شده بر روی سینی‌ها از لحظه شروع آزمایش در فاصله زمانی های ۳ ساعت نمونه هایی از نقاط مختلف بر روی سینی‌ها گرفته می‌شد. لازم به ذکر است که

Archive

www.SID.ir

جهت جلوگیری از تاثیر محیط بر محصول داخل خشک کن در زمان نمونه برداری، سعی شد که مدت زمان نمونه برداری بسیار کوتاه (حدود ۲۰ ثانیه) باشد.

برای رسیدن به اهداف طرح از سه آزمایش فاکتوریل به صورت مجزا در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار استفاده گردید. فاکتورهای مورد آزمایش؛ دبی هوای خشک کننده در سه سطح ۰/۱۷۱ و ۰/۱۲۶ و ۰/۰۸۵ مترمکعب بر ثانیه که با توجه به شرایط جوی و میزان تابش خورشیدی منطقه و بر اساس تحقیقات صورت گرفته که قبلا بیان گردید، انتخاب شدند، نحوه استفاده از خشک کن که در دو سطح مختلط و غیرمستقیم و مکان‌های نمونه‌برداری که در پنج سطح بر روی سینی پایینی، سه سطح بر روی سینی بالایی و در دو سطح، سینی بالا و سینی پایین می‌باشد. آزمایشات ساعت ۱۰ صبح شروع و ساعت ۴ بعدازظهر خاتمه می‌یافت.

نتایج و بحث

پس از جمع آوری داده‌های مربوط به رطوبت محصول بر روی سینی‌ها، رطوبت محصول ورودی و نهایی، درجه حرارت در نقاط مختلف، شید خورشید و دبی هوا، محاسبات و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای MSTATC و SAS انجام و نمودارهای مربوطه رسم گردید.

فاکتورF دبی هوای f_1 =۰/۱۷۱، f_2 = ۰/۱۲۶، f_3 =۰/۰۸۵ مترمکعب بر ثانیه

فاکتور T نحوه خشک کردن t_1: مختلط، t_2 : غیر مستقیم

فاکتور P مکانهای نمونه برداری در پنج سطح بر روی سینی پایینی

با توجه به جدول۱، مشاهده می‌شود که اثر فاکتورهای مختلف با احتمال ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشند ولی اثرات بر هم‌کنش آنها به غیر از برهم‌کنش FT معنی‌دار نبوده است. برای بررسی بیشتر از آزمون دانکن در سطح(۵٪) برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

همانطوری که در جدول ۲ دیده می‌شود، میانگین رطوبت محصول پهن شده بر روی سینی بزرگ در شیوه های مختلف خشک کردن متفاوت می‌باشد به طوری که در خشک کردن به روش مختلط کاهش رطوبت بیشتری مشاهده می‌شود که دلیل استفاده از تابش مستقیم انرژی خورشید بر روی محصول علاوه بر اثر هوای گرم شده توسط جمع کننده‌ها می‌باشد. همچنین میانگین رطوبت محصول در سینی برای دبی‌های مختلف معنی‌دار بوده و کاهش دبی هوا موجب افزایش میانگین کاهش رطوبت محصول بر روی سینی شده است چرا که کاهش دبی هوای خشک کننده با افزایش درجه حرارت هوای خشک کننده همراه بوده است. اثر متقابل این دو عامل در اکثر موارد معنی‌دار بوده به غیر از f1t1 ، f2t2 و f2t1، f3t2 که اثر افزایش دبی هوا و استفاده از خشک کردن به صورت مختلط با اثر کاهش دبی هوا و استفاده از خشک کردن به صورت غیر مستقیم یکسان است. زیرا کاهش دمای ناشی از افزایش دبی با تغییر نحوه خشک کردن جبران گشته است.

سطوح مختلف فاکتور P بر میانگین کاهش رطوبت محصول پهن شده بر روی سینی بزرگ اختلاف معنی‌داری نشان نداده است. همچنین برهم‌کنش سطوح مختلف فاکتورهای P و F بر روی میانگین کاهش رطوبت در سینی بزرگ اختلاف معنی‌داری را نشان داده است. اثرات برهم‌کنش سطوح مختلف فاکتورهای P و T نیز بر روی میانگین کاهش رطوبت داخل سینی بزرگ اختلاف معنی‌داری را نشان داده است. نتایج مشابهی نیز برای محصول پهن شده بر روی سینی کوچک با سه مکان نمونه‌گیری بدست آمد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۱) تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل دبی هوای ورودی و روش خشک کردن بر کاهش رطوبت محصول پهن شده بر روی سینی بزرگ

منابع FS / تغییرات	درجه آزادی (ss)		مجموع مربعات (ms)		میانگین مجموع مربعات	
تیمار	۲		۵۲۰/۵۲۳		۲۶۰/۲۶۱	** ۲۹۳/۸۱۶۵
فاکتور P	۴		۱/۱۰۹		۰/۲۷۷	ns ۰/۳۱۳۰
فاکتور F	۲		۱۰۴۹/۷۳۵		۵۲۴/۸۶۸	** ۵۹۲/۵۳۸۴
برهمکنش FP	۸		۲/۵۹۲		۰/۳۲۴	ns ۰/۳۶۵۷
فاکتور T	۱		۴۹۳/۹۱۷		۴۹۳/۹۱۷	** ۵۵۷/۵۹۷۳
برهمکنش PT	۴		۰/۵۹۸		۰/۱۵۰	ns ۰/۱۶۸۹
برهمکنش FT	۲		۱۴۵/۳۳۹		۷۲/۶۶۹	** ۸۲/۰۳۸۵
برهمکنش FTP	۸		۰/۹۶۰		۰/۱۲۰	ns ۰/۱۳۵۴
خطای آزمایش	۵۸		۵۱/۳۷۶		۰/۸۸۶	
مجموع	۸۹		۲۲۶۶/۱۴۸			

** معنی‌دار بودن آزمون F در سطح ۰/۹۹ می‌باشد.

ns منیر معنی دار بودن می‌باشد.

برای بررسی یکنواختی رطوبت محصول پهن شده بر روی هریک از سینی‌ها علاوه بر فاکتور دبی هوا و نحوه خشک کردن از فاکتور مکان در دو سطح سینی بالا و سینی پایین استفاده شد. جدول ۳ نشان می دهد که اثر فاکتور مکان نمونه‌برداری بر میانگین کاهش رطوبت محصول پهن شده بر روی سینی‌ها اختلاف معنی‌داری نشان داده است. به طوری که کاهش رطوبت بیشتری در سینی پایینی (بزرگ) مشاهده شد. این نتیجه نیز منطقی به نظر می‌رسد زیرا سینی بالائی (کوچک) در فاصله‌ای که قبلا بیان شد، نسبت به سینی پایینی قرار گرفته است. هوای گرم ابتدا به سینی پایینی برخورد کرده و با عبور از بین محصول پهن شده بر روی آن مقداری از پتانسیل برداشت رطوبت آن کاهش می‌یابد. لذا رطوبت کمتری از محصول پهن شده بر روی سینی بالایی برداشت می‌شود.

جدول (۲) بررسی اثر برهم‌کنش دبی هوا و نحوه خشک کردن بر کاهش رطوبت محصول پهن شده بر روی سینی بزرگ* (دانکن در سطح ۵٪)

دبی هوا ← / نحوه خشک کردن ↓	f1		f2		f3		میانگین
t1	۴۴/۰۵	b	۴۴/۳۴	c	۳۸/۹۷	d	۴۱/۱۲ B
t2	۵۲/۱۶	a	۴۴/۲۴	b	۴۱/۰۱	c	۴۵/۸۱ A
میانگین	۴۸/۱۱	A	۴۲/۲۹	B	۳۹/۹۹	C	

(*)میانگین‌هایی با حروف مشابه بزرگ در ستون، از نظر آماری با احتمال ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند.
میانگین‌هایی با حروف مشابه بزرگ در ردیف،ازنظر آماری با احتمال ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند.
میانگین‌هایی با حروف مشابه کوچک، از نظر آماری با احتمال ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۳) تجزیه واریانس اثرهای اصلی و متقابل دبی هوای ورودی و روش خشک کردن بر کاهش رطوبت محصول پهن شده بر روی سینی‌ها

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات (ss)	میانگین مجموع مربعات (ms)		F_S
تکرار	۲				
فاکتورمکان نمونه بردای P	۱	۳۶/۸۶	۳۶/۸۶	**	۴۶/۷۶
فاکتور دبی هوا F	۲	۳۹۶/۶۰	۱۹۸/۳۰	**	۲۵۲/۲۵
برهمکنشFP	۲	۰/۷۶	۰/۳۸	*ns*	۰/ ۴۸
فاکتور نحوه خشک کردن T	۱	۲۰۱/۵۷	۲۰۱/۵۷	**	۲۵۶/۴۲
برهمکنشPT	۲	۰/۰۱	۰/۰۱	*ns*	۰/۰۱
برهمکنشFT	۲	۶۱/۱۷	۳۰/۵۸	**	۳۸/۹۱
برهمکنشFTP	۲	۳/۱۶	۱/۵۸	*ns*	۲/۰۱
خطای آزمایش	۲۲	۱۷/۲۹	۰/۷۸		
مجموع	۳۵	۹۱۰/۱۹			

** معنی‌دار بودن آزمون F در سطح ۰/۹۹ می‌باشد. ns غیر معنی دار بودن می‌باشد.

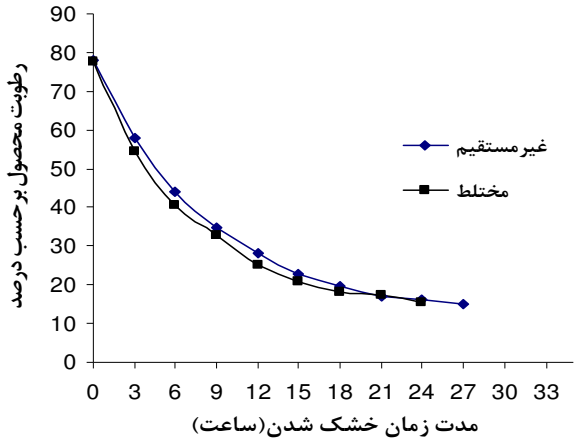
تغییرات رطوبت محصول در خشک کن

طی آزمایش‌های انجام شده در سه دبی هوای خشک کننده و دو روش خشک کردن روند خشک شدن محصول پهن شده بر روی سینی‌های حامل محصول در خشک‌کن مورد بررسی قرار گرفت. شکل‌های (۲، ۳ و ۴) رطوبت محصول بر پایه تر را در مقابل مدت زمان خشک شدن محصول برحسب ساعت در داخل خشک‌کن نشان می‌دهد. مشاهده شد که خشک شدن انگور کاملا در مرحله نزولی بوده است که این با تحقیقات صورت گرفته در این زمینه نیز مطابقت دارد(۱۲). همچنین مشخص گردید که با افزایش دبی هوای خشک کننده مدت زمان بیشتری صرف خشک شدن تا یک رطوبت یکسان می‌گردد. که دلیل آن را می‌توان به دلیل کاهش دمای هوای خشک کننده در اثر افزایش دبی هوا و در نتیجه کاهش پتانسیل برداشت رطوبت از محصول دانست. همچنین مشاهده شد که سرعت خشک شدن در ابتدای عملیات خشک شدن نسبت به انتهای این پروسه سریع‌تر بود (مخصوصا در دبی‌های پایین‌تر) ولی با گذشت زمان به تدریج کاهش یافت. دلیل آنرا می‌توان کاهش انتشار رطوبت از داخل دانه‌های انگور به سطح نسبت به حجمی از رطوبت که از سطح دانه‌ها تبخیر می‌گردد، دانست. از طرفی استفاده از خشک‌کن در حالت مختلط بدلیل بهره‌گیری از تابش مستقیم انرژی تابشی خورشید علاوه بر هوای گرم تولید شده توسط جمع کننده‌ها باعث کاهش زمان خشک شدن تا رسیدن به یک رطوبت یکسان نسبت به حالتی که از خشک‌کن به صورت غیرمستقیم استفاده می‌شد، گردیده است. مشخص گردید که منحنی‌های خشک شدن در دو حالت مختلط و غیرمستقیم در دبی‌های پایین هوای خشک کننده نزدیک به هم می‌باشند اما با افزایش دبی هوا منحنی‌های خشک شدن در دو حالت از هم فاصله می‌گیرند. دلیل احتمالی آنرا می توان بدین صورت بیان کرد که در دبی‌های پایین به علت بالا بودن دمای هوای خروجی از کالکتورها، نقش تابش مستقیم انرژی خورشید (حالت مختلط) در خشک کردن به نسبت کم رنگ‌تر از زمانی است که دبی هوا زیاد است. چراکه دمای هوای خروجی از کالکتورها پایین است. قابل ذکر است که دبی هوای ۰/۰۸۵ مترمکعب بر ثانیه پایین ترین دبی

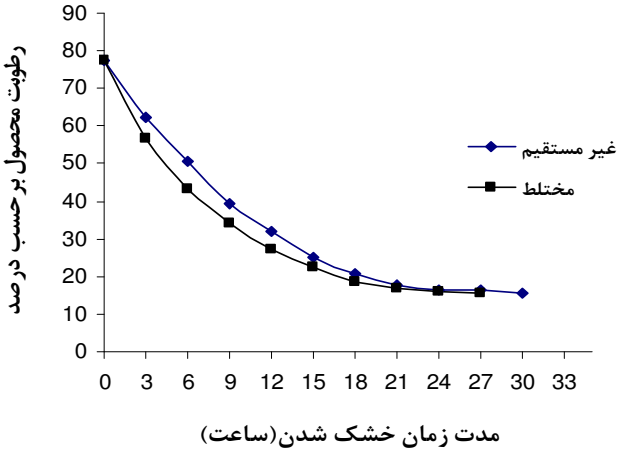
Archive of SID

www.SID.ir

قابل استفاده در این خشک کن با توجه به شرایط جوی و میزان تابش خورشید در آن شرایط می‌باشد چراکه استفاده از دبی های پایین تر سبب افزایش بیش از اندازه درجه حرارت هوای خشک کننده می‌گشت که از لحاظ کیفی محصول نهایی را با مشکل مواجه می‌کرد. شکل ۵ تغییرات درجه حرارت محیط و هوای خروجی از جمع کننده‌ها را در یک روز آزمایشی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در دبی پایین درجه حرارت هوای خروجی از جمع کننده‌ها بالاتر است همچنین جمع کننده‌ها سبب افزایش درجه حرارت محیط تا حدود ۳۰ درجه سانتی گراد (بسته به میزان دبی هوا) گردیده است.

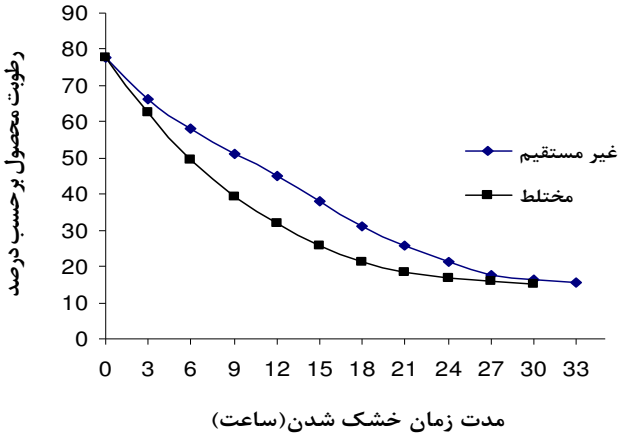


شکل (۲) تغییرات رطوبت محصول در دبی ۰/۰۸۵ متر مکعب بر ثانیه برای دو حالت خشک کردن در مقابل مدت زمان خشک شدن محصول

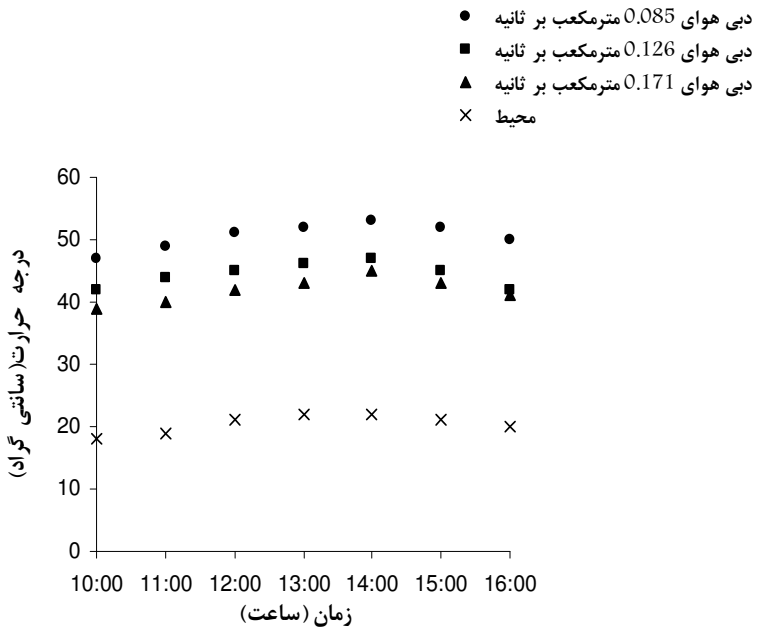


شکل(۳) تغییرات رطوبت محصول در دبی ۰/۱۲۶ متر مکعب بر ثانیه برای دو حالت خشک کردن در مقابل مدت زمان خشک شدن محصول

www.SID.ir



شکل (۴) تغییرات رطوبت محصول در دبی ۰/۱۷۱ متر مکعب بر ثانیه برای دو حالت خشک کردن در مقابل مدت زمان خشک شدن محصول



شکل ۵. تغییرات درجه حرارت هوای خروجی از خشک کن و هوای محیط نسبت به زمان در یک روز

سطوح مختلف دبی هوای خشک‌کن اثر معنی‌داری بر میانگین کاهش رطوبت محصول داشته است. همچنین سطوح مختلف بکارگیری دستگاه برای خشک کردن اثر معنی‌داری بر روی میانگین کاهش رطوبت محصول داشته است. در مورد تیمارهای t_2f_3 ، t_1f_2 و دو تیمار t_1f_1، t_2f_2 اثر تغییر دبی هوا با تغییر نحوه به کارگیری از دستگاه جبران گشته لذا کاهش رطوبت محصول نتایج مشابهی را نشان داده‌اند. تحت سطوح مختلف دبی هوا و نحوه بکارگیری از

www.SID.ir

دستگاه برای خشک کردن، کاهش رطوبت محصول پهن شده بر روی هر یک از سینی‌ها نسبت به هم معنی‌دار بود اما بر روی هر یک از آنها معنی‌دار نبود. همچنین خشک شدن انگور فاقد مرحله ثابت خشک شدن می‌باشد. مدت خشک شدن با کاهش دبی یا استفاده از خشک‌کن در حالت مختلط کوتاهتر می‌گردد لذا کوتاهترین زمان خشک شدن در دبی ۰/۰۸۵ مترمکعب برثانیه و در حالت مختلط خشک کردن حاصل گردید.

قدردانی

بدین وسیله نگارندگان این مقاله از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شیراز بخاطر تامین منابع مالی و آقای مهندس منوچهر خردنام بخاطر ارائه اظهار نظرات سازنده درباره مسائل آماری طرح و آقای مهندس غلام رضا مصباحی بخاطر کمک در مسائل مربوط به صنایع غذایی، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارند.

منابع

۱. بی نام، ۱۳۷۲. خشک کردن محصولات کشاورزی راهی به سوی استقلال اقتصادی. واحد تحقیقات وطراحی مهندسی شرکت تولیدی و صنعتی کارینو، ۱۳۲ صفحه.

۲. تفضلی، ع.، ج. حکمتی و پ. فیروزه. ۱۳۷۰. انگور. انتشارات دانشگاه شیراز. ۳۱۵ صفحه.

۳. زارع. د.، ع. زمردیان و ح. قاسم‌خانی. ۱۳۸۴. تاثیر دبی جرمی هوای ورودی و زمان تخلیه محصول بر روند کاهش رطوبت شلتوک در یک خشک‌کن خورشیدی نیمه پیوسته خورشیدی. مجله علوم و فنون کشاورزی ومنابع طبیعی، جلد نهم، شماره چهارم، ۲۵۱-۲۶۴.

۴. زمردیان، ع. و ع. علامه. ۱۳۸۱. بررسی خشک شدن شلتوک به روش لایه نازک و تعیین ضخامت بهینه با بکار گیری یک خشک کن خورشیدی آزمایشگاهی با جریان جابجایی آزاد، مجله علوم و فنون کشاورزی ومنابع طبیعی، جلد ششم، شماره اول، ۲۰۹-۲۱۷.

۵. مصباحی، غ. ر.، ع. زمردیان، م. داداش زاده و ع. فرحناکی. ۱۳۸۵. بررسی مقایسه ای تولید کشمش به وسیله خشک کن خورشیدی و سایر روشهای خشک کردن، مجله علمی پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران، جلد دوم، شماره دوم، ۶۱-۷۳.

6. Buelow, F. H. 1958. Dryig grain with solar energy. Mich. State Univ., Agric. Exp. Stn. Q. Bull. 41: 421-429.
7. Bennamoun, L and A. Belhamri. 2002. Design and simulation of a solar dryer for agriculture products. Journal of Food Engineering 59: 259-266.
8. Duffie, J. A and W. A. Beckman. 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. 2nd ed. John wiley & sons, Inc., New York. USA. 919p.
9. Gallali, Y.M., Y. S. Abujnah and F. K. Bannani. 2000. Preservation of fruits and vegetable using solar drier: a comparative study of natural and solar drying, III. Chemical analysis and sensory evaluation data of the dried samples (grapes, figs, tomatoes and onions). Renewable Energy, 19: 203-212.
10. Mani, A. 1980 Handbook of solar radiation data for india. Madres: Allid publishers, Private limited publication, 1981.
11. Togrul, I. T and D. Pehlivan, 2002, Mathematical modeling of apricots in thin layer, Journal of Food Engineering, 55: 209-216.
12. Yaldiz Osman., Ertekin Can and H. Ibrahim Uzun. 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of Sultana grapes. Energy, 26 : 457-465.

Archive of SID

www.SID.ir

The effect of drying airflow rates and modes of drying on moisture content reduction for grapes in a cabinet type solar dryer

M.Dadashzadeh[*] – A.Zomorodian – G.R.Mesbahi[1]

Abstract

Sun drying is one of the most popular methods for agriculture product preservation. This research was mainly devoted to a nearly new approach for applying solar energy as the main source of energy for a cabinet solar dryer. This active solar dryer can be applied in two different modes namely indirect and mixed for drying fruit. For evaluating this solar dryer, grape was selected for drying in thin layers. In this research the effect of air flow rates and different modes of drying were investigated on moisture reduction trend for grapes. Uniformity of drying processes on trays was also evaluated. Tree levels of air flow rates (0.085, 0.126 and 0.171 m^3/s), two modes of drying processes (indirect and mixed), five sampling spots on the lower tray, three samples on the upper tray and two samples on the trays were selected. The solar dryer was tested in Sep. and Oct. in agriculture engineering dept. Shiraz University. ASKARI (KHALILI) cultivar grape with an average initial moisture content of 78% (wb) was chosen. The moisture content of the products was reduced to an average of 15% (wb) within 4-5 day each from 10 to 16 o'clock with an average solar intensity of 870W/m^2. Statistical analysis showed that both airflow rate and mode of drying application were significantly affecting the rate of moisture removal from the products. Uniformity of the dried products on the trays was also proved but the average moisture content of the grapes was significantly different.

Key words: Solar collectors, Mix and Indirect solar dryer, Thin layers

Archive of SID

*. Corresponding authors Email: mojtaba dadashzadeh@yahoo.com
1. Contribution from College of Agriculture , shiraz University

www.SID.ir