مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۸/ شماره ۴/ زمستان ۱۳۸۶/ص ۸۰-۶۵

تاثیر دما، سرعت جابه‌جایی هوا، و روش آماده‌سازی در فرایند خشک‌شدن انگور بیدانهٔ سفید

محمد غلامی‌پرشکوهی، سعید مینایی، علیمحمد برقعی و علیرضا بصیری*

* به ترتیب استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، نشانی: تاکستان، سه راهی شامی شاپ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، تلفن: ۰۹۱۲۳۲۵۳۷۹۸، پیام‌نگار: gholamihassan@yahoo.com؛ دانشیار دانشگاه تربیت مدرس؛ استاد دانشگاه تهران؛ و استادیار سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۸۵/۵/۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۳/۲۶

چکیده

یکی از مهم‌ترین مراحل تولید کشمش، خشک‌کردن انگور است. در این مرحله، رطوبت اولیهٔ محصول به ۱۵ تا ۱۷ درصد بر پایهٔ خشک کاهش می‌یابد. دستیابی به شرایط بهینه در فرایند خشک‌کردن می‌تواند اثر مهمی بر زمان فراوری و بهبود شاخصهای کیفی این محصول داشته باشد. دما، سرعت جابه‌جایی هوای گرم، و روش آماده سازی محصول از عوامل اصلی فرایند خشک‌شدن انگور محسوب می‌شوند و تاثیری مهم در کیفیت محصول نهایی دارند. در این تحقیق، اثر دما در چهار سطح ۵۰، ۶۰، ۷۰، و ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد، سرعت جابه‌جایی هوای گرم در سه سطح ۱، ۲، و۳ متر بر ثانیه و روش آماده‌سازی محصول در چهار سطح: بدون آماده‌سازی، آماده‌سازی با آب داغ، آماده‌سازی با کربنات پتاسیم ۵ درصد و روغن زیتون ۰/۴ درصد، و آماده‌سازی با هیدروکسید سدیم ۰/۵ درصد بر زمان و آهنگ خشک‌شدن انگور بیدانه سفید بررسی شد. ضریب نفوذ و انرژی فعال‌سازی نیز تعیین شد. نتایج نشان داد که پارامترهای دما، سرعت جابه‌جایی هوا، و آماده‌سازی محصول تاثیرات بسیار معنی‌داری بر زمان و متوسط آهنگ خشک‌شدن محصول دارند. تاثیر روش آماده‌سازی بر فرایند خشک‌شدن انگور بسیار زیاد است و در برخی دماها، زمان خشک‌شدن را تا ۶۹ درصد کاهش می‌دهد. افزایش دما نیز در برخی از روش‌های آماده‌سازی تا ۶۶ درصد زمان خشک‌شدن را کاهش می‌دهد. افزایش سرعت جابه‌جایی هوای گرم نیز می‌تواند تا حدود ۸/۶ درصد زمان خشک‌شدن محصول را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی

آماده‌سازی، انگور، خشک‌شدن، دما، سرعت جابه‌جایی هوا

مقدمه

درخت انگور که در ایران به نام‌های مو یا تاک شناخته می‌شود بیش از ده گونهٔ مختلف دارد که سه واریتهٔ مهم آن عبارت‌اند از انگور بیدانهٔ سفید[1]، انگور بیدانهٔ قرمز[2]، و موسکای اسکندریه[3]. یکی از فراورده‌های مهم انگور کشمش است. این محصول در صادرات خشکبار کشور سهم مهمی دارد. از کل سهم بازار جهانی کشمش، ایران پس از ترکیه، ایالات متحده آمریکا، و آمریکای جنوبی در مقام چهارم کشورهای صادرکننده این محصول قرار دارد. نظر به اهمیت کشمش در صادرات، تعیین بهترین روش تهیه و تولید این محصول و عوامل مؤثر در مرغوبیت و ارتقای کیفیت آن اهمیت ویژه‌ای دارد (Zarrabi, 1998).

در اکثر مناطق انگورخیز کشور، برای تهیهٔ کشمش به طریق سنتی از ورزن یا بارگاه استفاده می‌شود. ورزن یا بارگاه محیطی است برای خشک‌کردن انگور در هوای آزاد و دور از جاده‌های خاکی یا اصطبل حیوانات در این روش، مدت زمان لازم برای خشک‌کردن طولانی است (بین ۵ تا ۱۵ روز)، مواد زائد مخصوصاً گرد و خاک به آن اضافه

1- Thompson Seedless 2- Black Currant 3- Muscat of Alexandariun

می‌شود، و در برخی مناطق که پاییز زودرس دارند کیفیت کشمش در اثر پوسیدگی کاهش می‌یابد. امروزه برای تهیهٔ سریع کشمش با کیفیت بهتر که عاری از مواد زائد باشد، از دستگاه‌های خشک‌کن استفاده می‌شود که از آن میان یکی خشک‌کن‌های هدایتی اجباری[1] (خشک‌کن با جریان هوای داغ) و دیگری خشک‌کن‌های خورشیدی است. برای کوتاه‌کردن مدت زمان خشک‌شدن و بالابردن کیفیت کشمش حاصل، باید فرایند خشک‌کردن بهینه‌سازی شود و خشک‌کن‌های مربوطه طراحی، ساخته، یا بهینه‌سازی شوند. در این میان پارامترهای مختلفی چون دما، سرعت جابه‌جایی هوای گرم، و روش آماده‌سازی بر کیفیت و زمان خشک‌شدن انگور تاثیر می‌گذارند که بسته به رقم و شرایط محیطی منطقه، شدت تاثیرات این پارامترها متفاوت است. تحقیقات نشان می‌دهد که دما بیشترین تاثیر و سرعت هوا کمترین تاثیر را بر زمان خشک‌شدن انگور می‌گذارد (Berna *et al*., 1991; Eissen *et al*., 1985). ضرابی (Zarrabi, 1998) پارامترهای آماده‌سازی، دما، و سرعت جابه‌جایی هوا را بر شدت خشک‌شدن انگور بی‌دانهٔ سفید مرغوب، بررسی و از میان محلول‌های آماده‌سازی به کار برده شده، محلول ۵ درصد کربنات پتاسیم با ۲ درصد روغن سبزه با زمان تماس ۵ دقیقه را پیشنهاد کرد و گفت که دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد بهترین دما برای خشک‌شدن انگور سفید است.

وازکوز و همکاران، آهنگ خشک‌شدن انگور (رقم Muscatel) را در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۲۲ درصد با روش‌های آماده‌سازی مختلف تعیین کردند و نتیجه گرفتند که آماده‌سازی در مدت زمان ۳ دقیقه همراه با محلول ۷ درصد کربنات پتاسیم و روغن زیتون ۰/۴ درصد در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد مدت زمان خشک‌کردن را از ۸۰ به ۲۰ ساعت کاهش می‌دهد. در این تحقیق، ضریب نفوذ در محدوده $(1/2\text{-}2/8)\times 10^{-10}$ متر مربع بر ثانیه تعیین شد (Vazquez, 2000).

پنگوانه و همکاران (Pangavhane *et al*., 1999)، اثر روش‌های آماده‌سازی را بر روند خشک‌کردن انگور و شاخص‌های کیفی فراورده نهایی بررسی کردند. آزمایش‌ها در یک خشک‌کن با دمای هوای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و سرعت جابه‌جایی ۰/۵ متر بر ثانیه و تیمارهای آماده‌سازی مختلف اجرا شد. نتایج نشان داد که روش آماده‌سازی انگور با محلول هیدروکسید سدیم، شدت خشک‌کردن انگور را در مقایسه با روش‌های دیگر به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد.

روش‌های آماده‌سازی انگور و تاثیرات آنها بر رنگ فراورده نهایی را مکللیان و همکاران (Mclellan *et al*., 1995) مقایسه کردند و نتایج آزمایش‌ها نشان داد که آماده‌سازی با عسل باعث ایجاد رنگ زرد در فراوردهٔ نهایی می‌شود و رنگ روشن‌تری نسبت به کاربرد محلول سولفوریک به محلول می‌دهد.

اثر تیمارهای آماده‌سازی را بر شدت خشک‌کردن انگور بی‌دانه دویماز و پالا بررسی کردند. نتایج نشان داد که آهنگ خشک‌شدن انگور در تیمار محلول کربنات پتاسیم (۰/۵ کیلوگرم کربنات پتاسیم در ۱۰ لیتر آب) و ۰/۲ کیلوگرم اتیل‌اولئات در دمای محیط و به مدت یک دقیقه، بیشتر از سایر تیمارها است (Doymaz & Pala, 2002).

اثر دما، سرعت جابه‌جایی هوا در خشک‌کن، و تیمارهای آماده‌سازی بر آهنگ فرایند خشک‌کردن انگور بی‌دانه و شاخص‌های کیفی فراورده نهایی در خشک‌کن‌های خورشیدی را ازین و همکاران (Eissen *et al*., 1985) بررسی کردند. آزمایش‌های این محققان نشان داد که

1- Forced (air) Convection

شرایط بهینه در خشک‌کردن انگور عبارت‌اند از: دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد هوا در داخل خشک‌کن، سرعت ۰/۲۵ و ۰/۵ متر بر ثانیه هوا، و آماده‌سازی در محلول ۲/۵ درصد کربنات پتاسیم و ۲ درصد روغن سولتافین.

در این تحقیق تاثیر پارامترهای دما، سرعت جابه‌جایی هوا، و روش آماده‌سازی محصول بر زمان و آهنگ خشک‌شدن انگور بیدانهٔ سفید بررسی و مقادیر ضریب نفوذ و انرژی فعالسازی تعیین می‌شود.

مواد و روش‌ها

مواد

آزمایش‌ها روی انگور بیدانهٔ سفید اجرا شد. انگور مورد نیاز از منطقهٔ تاکستان قزوین تهیه شد. رطوبت اولیه انگور در حدود (۷۵-۷۰) درصد بر پایهٔ تر و قطر دانه‌های آن در حدود (۱/۳-۱/۱) سانتی‌متر بود. میزان متوسط قند انگور ۲۶/۱۶ درصد اندازه‌گیری شد. انگورها در سردخانه و دمای حدود ۱±۴ درجه سانتی‌گراد در مدت آزمایش نگهداری شدند.

برای اجرای عملیات خشک‌کردن، از سه خشک‌کن آزمایشگاهی ثابت (از نوع کیلن[1]) استفاده شد. این خشک‌کن‌ها در ایران ساخته شده‌اند و در مجتمع تحقیقاتی عصر انقلاب (سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران) قرار دارند (شکل ۱، طرح این خشک‌کن آزمایشگاهی را نشان می‌دهد). این این خشک‌کن که برای خشک‌کردن میوه‌ها و سبزی‌ها مناسب است یک صفحه مشبک دارد که در آن جریان هوا را به صورت متقاطع و از زیر به محصول در حال خشک‌شدن می‌دمد. هر خشک‌کن ۴۰ سانتی‌متر طول، ۴۰ سانتی‌متر عرض و ۱۶۵ سانتی‌متر ارتفاع دارد. قسمت نمونه‌گیر از کف دستگاه حدود ۱۰۰ سانتی‌متر و تا سقف خشک‌کن حدود ۶۰ سانتی‌متر فاصله دارد. هر خشک‌کن دو منبع حرارتی مستقل دارد که یکی با کامپیوتر و دیگری دستی کنترل می‌شود. یک دمنده که در زیر المنت‌ها قرار دارد جریان هوا را کنترل می‌کند. میزان هوادهی این دمنده ۲۲۰-۱۸۰ متر مکعب بر ساعت و با یک دیمر قابل تنظیم است. در فاصله‌ای حدود ۴۰ سانتی‌متر بالاتر از ظرف نمونه، دریچه‌هایی برای خروج هوای مرطوب تعبیه شده است. برای اندازه‌گیری دما دو حسگر دما در قسمت زیرین و رویی سطح حامل نمونه تعبیه شده است و دمای هوا را قبل و بعد از تماس با نمونه‌های آزمایش اندازه‌گیری می‌کنند.

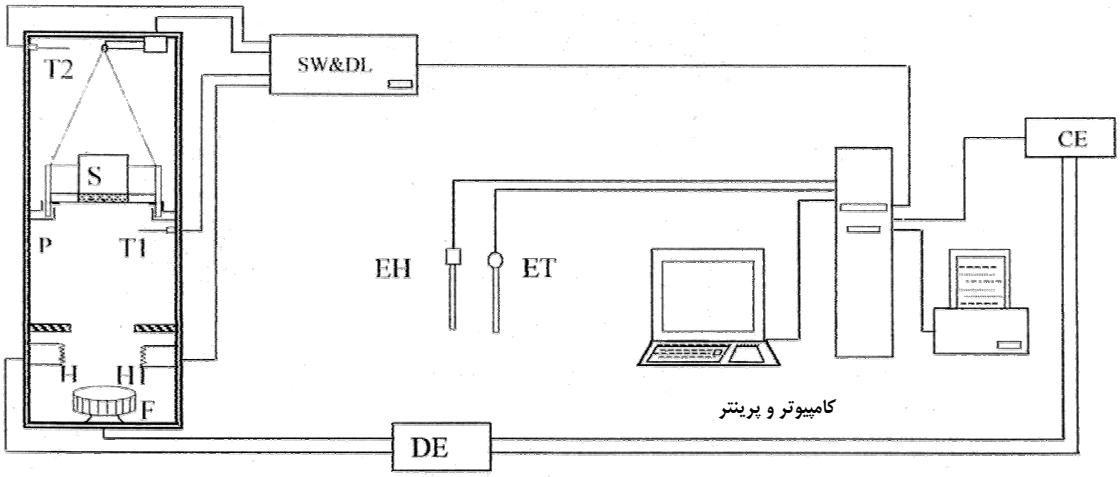
برای اندازه‌گیری سرعت جابه‌جایی هوای گرم در خشک‌کن از دستگاه سرعت‌سنج هوا[2] مدل AM-4201 شرکت لوترون[3] استفاده شد. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری سرعت عبور هوا را تا ۲۰ متر بر ثانیه داراست. برای تنظیم سرعت هوای ورودی، ابتدا پروانه دستگاه سرعت‌سنج هوا در محل عبور هوا قرار داده و سرعت عبور هوا از طریق دستگاه قرائت شد. پس از آن با استفاده از دیمر مربوطه به دمنده دستگاه خشک‌کن، سرعت عبور هوا به میزان دلخواه تنظیم شد.

با استفاده از دماسنج و رطوبت سنج مدل HT-3003 شرکت لوترون، در طول آزمایش‌ها تغییرات دمای آزمایشگاه و رطوبت نسبی هوای محیط اندازه‌گیری شد.

وسایل آزمایشگاهی مورد نیاز، علاوه بر وسایل معمول، عبارت بودند از آون خلاء با قابلیت ایجاد فشار مطلق تا ۱۵۰ میلی بار، دماسنج جیوه‌ای، پتری‌دیش، ظروف پلاستیکی، و هیتر برقی.

مواد شیمیایی مورد نیاز عبارت بودند از: کربنات پتاسیم، هیدروکسید سدیم، و روغن زیتون.

1- Kiln Dryer 2- Anemometer 3- Lutron



شکل ۱- طرح خشک‌کن آزمایشگاهی

(F) فن، (H) مولد گرما، (S) صفحه مشبک حامل نمونه، (T_1) دماسنج قبل از صفحه مشبک حامل نمونه، (T_2) دماسنج بعد از صفحه مشبک حامل نمونه، (SW) کلیدهای فرمان، (DL) ثبات داده‌ها (دیتالاگر)، (CE) سیستم کنترل الکترونیکی، (DE) سیستم راه‌انداز الکترونیکی، (EH) حسگر اندازه‌گیری رطوبت محیط، (ET) حسگر اندازه‌گیری دمای محیط، و (P) پارافین.

روش‌ها

آزمایش‌های خشک‌کردن

در این تحقیق اثر عوامل مختلف شامل آماده‌سازی، سرعت جریان و دمای هوای گرم خشک‌کن، بر انگور بیدانه سفید بررسی شد. تیمارهای آزمایش شامل، آماده‌سازی در ۴ سطح، دما در ۴ سطح و سرعت هوا در ۳ سطح بود. تیمارهای آماده‌سازی به کار گرفته‌شده عبارت‌اند از:

۱- تیمار شاهد (بدون آماده‌سازی) [P_1]، ۲- تیمار آب داغ با دمای ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۱۵۰ ثانیه [P_2] (Ramhormozian, 2000)، ۳- تیمار کربنات پتاسیم ۵ درصد و روغن زیتون ۰/۴ درصد در دمای محیط و زمان ۵ دقیقه [P_3] (Zarrabi, 1998)، و ۴- تیمار هیدروکسید سدیم ۰/۵ درصد در دمای ۹۳ درجهٔ سانتی‌گراد و زمان ۵ ثانیه و شستشو با آب سرد حدود ۵ دقیقه [P_4] (Pangavhane *et al*., 1999).

متغیر دمای خشک‌کن در چهار سطح ۵۰، ۶۰، ۷۰، و ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد و متغیر سرعت هوا نیز دارای سه سطح ۱، ۲، و ۳ متر بر ثانیه بود. پس از آماده‌سازی، انگورها به مدت ۲ ساعت در دمای محیط قرار داده شدند تا به حالت تعادل با محیط برسند. حدود ۱۲۵-۱۲۰ گرم از هر نمونه روی سینی‌های خشک‌کن به صورت تک‌لایه قرار داده شد. سینی‌ها در داخل خشک‌کن گذاشته شدند. عملیات داده‌برداری (وزن‌کشی نمونه‌ها) در فواصل ۳۰ دقیقه با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱± گرم اجرا و نتایج آن از ابتدا تا انتهای فرایند ثبت شد. این عمل تا زمانی ادامه یافت که رطوبت محصول به حدود ۱۵ درصد برسد.

آزمایش‌ها در سه تکرار (آزمایش فاکتوریل و طرح کاملاً تصادفی) اجرا و از خشک‌کن آزمایشگاهی ثابت استفاده شد.

پس از پایان آزمایش خشک‌کردن برای هر تیمار در سه تکرار نمونه‌گیری آغاز شد و نمونه‌ها با ترازوی مذکور توزین و با استفاده از آون تحت خلا در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۵۰ میلی بار به مدت ۸ ساعت قرار داده شدند (Tsami *et al.*, 1990). نمونه‌ها پس از خشک‌شدن کامل بار دیگر توزین شدند و با استفاده از رابطهٔ ۱، رطوبت تعادلی نمونه بر مبنای خشک تعیین گردید. با میانگین‌گیری از سه رطوبت به دست آمده، رطوبت تیمار آزمایش در پایان فرایند آزمایش تعیین شد. پس از تعیین رطوبت تیمار در پایان آزمایش، وزن خشک تیمار از رابطهٔ ۱ محاسبه شد و با استفاده از همان رابطه با در دست داشتن وزن تیمار آزمایش در فواصل زمانی ذکر شده مقدار رطوبت در زمان‌های بالا به دست آمد.

$$M_e = \frac{M_w - M_d}{M_d} \qquad (1)$$

که در آن، M_e= رطوبت تعادلی (بر حسب درصد بر پایهٔ خشک)؛ M_w= وزن نمونه تر (بر حسب کیلوگرم)؛ و M_d= وزن نمونهٔ خشک (بر حسب کیلوگرم) است.

محاسبه آهنگ خشک‌شدن

اختلاف وزن نمونه در دو زمان و پی در پی در واقع مقدار آبی را نشان می‌دهد که از جسم خارج شده است که از این طریق آهنگ خشک‌شدن را می‌توان به دست آورد. مقدار آب از جسم خارج شده را بر وزن ماده خشک تقسیم می‌کنند. با تقسیم‌کردن عدد به دست آمده بر واحد زمان مورد استفاده در اندازه‌گیری (مثلاً ۳۰ دقیقه) آهنگ خشک‌شدن بر حسب کیلوگرم آب بر کیلوگرم مادهٔ خشک است. در این آزمایش، با میانگین‌گیری از مجموع اعداد به دست آمده در زمان‌های مختلف فرایند، متوسط آهنگ خشک‌شدن برای هر تیمار حاصل و از آن برای تجزیه و تحلیل‌های آماری استفاده شد. با توجه به منابع و تحقیقات پیشین، مبنای محاسبات و متوسط آهنگ خشک‌شدن در این تحقیق، زمان رسیدن رطوبت انگور به میزان حدود ۱۶ درصد بر پایهٔ خشک است (Riva & Peri, 1983; Sawheny *et al.*, 1999; Tulasidas *et al.*; 1993).

تعیین ضریب نفوذپذیری و انرژی فعال‌سازی

ضریب نفوذ از شیب خط حاصل از رسم رطوبت بی‌بعد ($MR = (M-M_e)/(M_o-M_e)$) بر حسب زمان در یک نمودار نیمه‌لگاریتمی محاسبه شد. شیب خط حاصل که برابر با $\frac{\pi^2 D}{r^2}$ است با رگرسیون خطی محاسبه و از آنجا ضریب نفوذ (D) محاسبه شد. انرژی فعال‌سازی[1] نیز از شیب خط حاصل از لگاریتم $\frac{D}{r^2}$ بر حسب $\frac{1}{T}$ محاسبه شد (Tavakkolipour, 2001; Tulasidas *et al.*, 1993).

لازم به یادآوری است که MR= رطوبت بی‌بعد؛ M= مقدار رطوبت (بر حسب درصد بر پایهٔ خشک)؛ M_o= رطوبت اولیه (بر حسب درصد بر پایهٔ خشک)؛ D= ضریب نفوذ (بر حسب متر مربع بر ثانیه)؛ r= شعاع (بر حسب متر)؛ و T= دما (بر حسب کلوین) هستند.

نتایج و بحث

فرایند خشک‌کردن انگور بیدانهٔ سفید

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های آزمایش اندازه‌گیری زمان و متوسط آهنگ خشک‌کردن انگور بیدانهٔ سفید در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. از تجزیه و تحلیل داده‌ها نتیجه‌گیری

1- Activation Energy

شد که تغییر پارامترهای دما، سرعت جابه‌جایی هوا، و روش آماده‌سازی محصول تاثیرات بسیار معنی‌داری بر زمان و متوسط آهنگ خشک‌شدن در سطح ۱ درصد دارند. همچنین، تمام آثار متقابل بین متغیرهای دما، سرعت جابه‌جایی هوا، و آماده‌سازی محصول بر زمان و آهنگ خشک‌شدن در سطح ۱ درصد معنی‌دار هستند. مشابه این نتیجه را قبلاً ضرابی (Zarrabi, 1998) برای روش‌های دیگر آماده‌سازی و دماهای دیگر گزارش کرده بود.

جدول ۱- نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های زمان خشک‌شدن انگور بیدانهٔ سفید

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	SS	MS	F
دما	۳	۱۰۰۸۵۱۰۰۰	۳۳۶۱۷۱۰۰	۸۰۶۰۰۴**
سرعت هوا	۲	۴۳۱۲۱۴	۲۱۵۶۰۷	۵۱۶۹ **
روش آماده‌سازی	۳	۲۰۱۶۷۷۰۰	۶۷۲۲۵۶۹	۱۶۱۱۸۰**
دما × سرعت هوا	۶	۱۸۵۶۰۳	۳۰۹۳۴	۷۴۲ **
دما × روش آماده‌سازی	۹	۲۴۱۴۶۹۰۰	۲۶۸۲۹۹۲	۶۴۳۲۷ **
سرعت هوا × آماده‌سازی	۶	۲۷۱۶۵	۴۵۲۸	۱۰۹**
دما × سرعت هوا × آماده‌سازی	۱۸	۱۹۱۳۴	۱۰۶۳	۲۵ **
خطا	۹۶	۴۰۰۴	۴۲	
کل	۱۴۳	۱۴۵۸۳۲۷۲۰		

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس داده‌های متوسط آهنگ خشک‌شدن انگور بیدانه سفید

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	SS	MS	F
دما	۳	۴/۵۵۱۹	۱/۵۱۷۳۰	۱۰۷۷۹/۰۳**
سرعت هوا	۲	۰/۰۳۲۳۸	۰/۰۱۶۱۹	۱۱۵/۰۱ **
روش آماده‌سازی	۳	۰/۷۲۱۱۵	۰/۲۴۰۳۸	۱۷۰۷/۷۰ **
دما × سرعت هوا	۶	۰/۰۱۰۱۷	۰/۰۰۱۷	۱۲/۰۴**
دما × روش آماده سازی	۹	۰/۲۰۵۷۰	۰/۰۲۲۸۶	۱۶۲/۳۷**
سرعت × روش آماده سازی	۶	۰/۰۰۵۵۳	۰/۰۰۰۹۲	۶/۵۵**
دما × سرعت هوا × آماده سازی	۱۸	۰/۰۱۰۴۶	۰/۰۰۰۵۸	۴/۱۳**
خطا	۹۶	۰/۰۱۳۵۱	۰/۰۰۰۱۴	
کل	۱۴۳	۵/۵۵۰۸		

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

با مقایسهٔ میانگین‌ها، دیده می‌شود که افزایش دما در کلیهٔ سطوح سرعت هوا و روش‌های آماده‌سازی محصول موجب تسریع آهنگ و کاهش زمان خشک‌شدن انگور می‌شود. بیشترین تاثیر افزایش دما در تسریع آهنگ و کاهش زمان خشک‌شدن مربوط به افزایش دمای خشک‌کن از ۵۰ به ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد است که در اغلب موارد حتی بیش از ۵۱ درصد زمان خشک‌شدن را کاهش می‌دهد. همچنین، تاثیر افزایش دمای خشک‌کن از ۶۰ به ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد، در تسریع آهنگ و کاهش زمان خشک‌شدن بیشتر از تاثیر افزایش دما از ۷۰ به ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد است. دلیل آن این است که با افزایش دما، سطح رویی میوه به سرعت خشک و در آن چروکیدگی ایجاد می‌شود. این چروکیدگی، منافذ سطحی را کوچک‌تر می‌کند که در نتیجهٔ آن رطوبت درون ماده نمی‌تواند به سرعت خارج شود.

برای نشان دادن تاثیر تغییرات دما، منحنی تغییرات رطوبت در روش آماده‌سازی P_3 و سرعت جابه‌جایی هوای ۲ متر بر ثانیه در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که افزایش دما موجب کاهش زمان خشک‌کردن می‌شود. این مسئله برای آهنگ خشک‌شدن در شکل ۳ نشان داده شده است. سریع‌ترین آهنگ خشک‌شدن مربوط به دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد است.

جدول ۳- آزمون مقایسه میانگین زمان خشک‌شدن (دقیقه) انگور بیدانه سفید

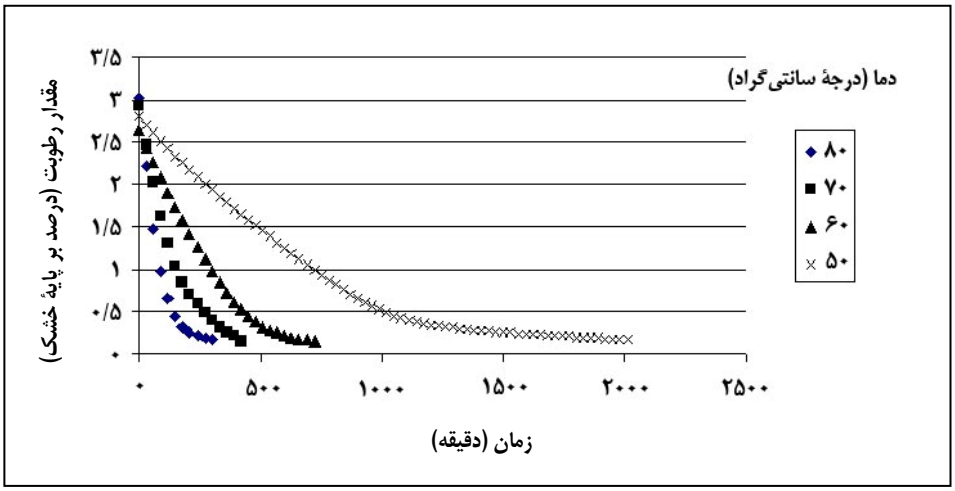
روش آماده سازی	سرعت هوا	دما (درجهٔ سانتی‌گراد)			
محصول	(متر بر ثانیه)	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
P_1	۱	^{38}۴۳۲۹	^{29}۱۵۴۶	^{16}۶۳۰	^{10}۴۳۸
	۲	^{37}۴۱۵۱	^{28}۱۴۰۰	^{15}۵۸۸	^{9}۴۰۸
	۳	^{36}۳۹۹۵	^{25}۱۲۹۰	^{16}۵۶۸	^{6}۳۴۶
P_2	۱	^{35}۲۳۶۲	^{23}۱۰۹۵	^{13}۵۰۲	^{5}۳۲۴
	۲	^{34}۲۳۱۰	^{22}۱۰۲۸	^{12}۴۷۸	^{4}۳۰۳
	۳	^{33}۲۱۵۳	^{21}۹۶۱	^{10}۴۳۸	$^{2\ 3}$۲۸۵
P_3	۱	^{32}۲۱۳۲	^{20}۷۷۴	^{11}۴۶۱	^{5}۳۲۷
	۲	^{31}۲۰۱۰	^{18}۶۹۴	^{9}۴۱۸	$^{3\ 4}$۲۹۷
	۳	^{30}۱۸۴۵	^{17}۶۵۰	^{8}۳۸۲	^{2}۲۷۴
P_4	۱	^{27}۱۳۸۱	^{19}۷۱۵	^{8}۳۹۴	^{1}۲۴۳
	۲	^{26}۱۳۱۲	^{16}۶۱۷	^{8}۳۸۵	^{1}۲۳۹
	۳	^{24}۱۱۷۲	^{14}۵۵۶	^{7}۳۶۵	^{1}۲۲۹

در هر ستون میانگین‌های دارای اعداد لاتین مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند. تعداد گروه‌ها از تعداد حروف الفبای انگلیسی بیشتر بود و از این رو عدد به کار گرفته شد.

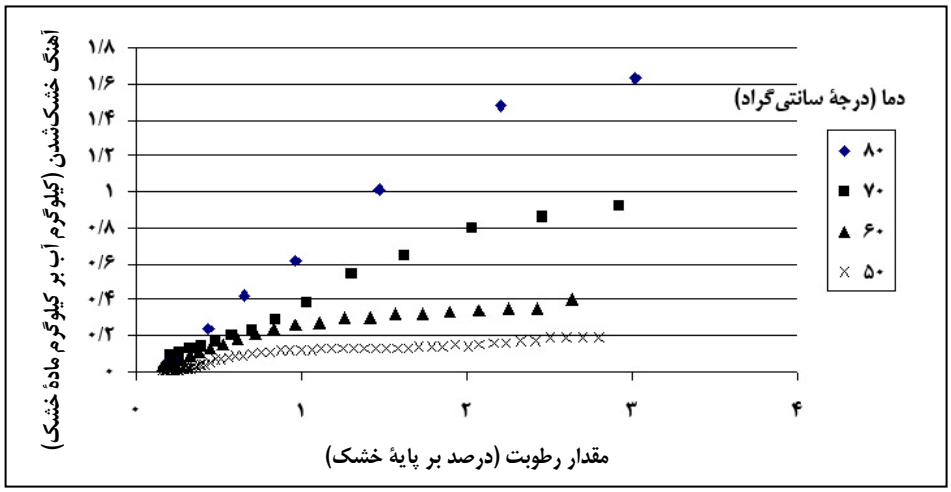
جدول ۴- آزمون مقایسه میانگین آهنگ خشک‌شدن (کیلوگرم آب بر کیلوگرم مادهٔ خشک) انگور بیدانه سفید (دانکن ۱ درصد)

روش آماده‌سازی محصول	سرعت هوا (متر بر ثانیه)	دما (درجهٔ سانتی‌گراد) ۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
P_1	۱	[1] ۰/۰۳۰	[3 4] ۰/۱۰۷	[8 9] ۰/۲۳۲	[13] ۰/۳۶۷
	۲	[1] ۰/۰۳۲	[4 5] ۰/۱۲۳	[9 10 11] ۰/۲۵۵	[13 14] ۰/۳۷۶
	۳	[1] ۰/۰۳۵	[4 5 6] ۰/۱۲۶	[10 11] ۰/۲۶۰	[16] ۰/۴۳۴
P_2	۱	[2] ۰/۰۶۸	[5 6] ۰/۱۴۶	[11] ۰/۲۷۶	[17] ۰/۴۷۵
	۲	[2] ۰/۰۶۹	[5 6] ۰/۱۴۷	[12] ۰/۳۰۹	[17 18] ۰/۴۸۷
	۳	[2] ۰/۰۷۳	[6] ۰/۱۵۲	[12] ۰/۳۲۹	[17 18] ۰/۴۹۷
P_3	۱	[2] ۰/۰۷۴	[7] ۰/۲۰۱	[12] ۰/۳۳۲	[18] ۰/۵۱۱
	۲	[2] ۰/۰۷۹	[7 8] ۰/۲۰۸	[14 15] ۰/۳۹۵	[19] ۰/۵۷۳
	۳	[2 3] ۰/۰۸۳	[8 9] ۰/۲۲۹	[16] ۰/۴۳۴	[20] ۰/۶۱۲
P_4	۱	[4] ۰/۱۱۶	[7 8 9] ۰/۲۲۷	[15 16] ۰/۴۰۹	[21] ۰/۷۴۱
	۲	[4 5 6] ۰/۱۲۵	[9 10] ۰/۲۳۶	[16] ۰/۴۳۳	[21] ۰/۷۴۲
	۳	[4 5 6] ۰/۱۳۵	[11] ۰/۲۷۵	[17] ۰/۴۷۲	[21] ۰/۷۵۱

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف لاتین مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

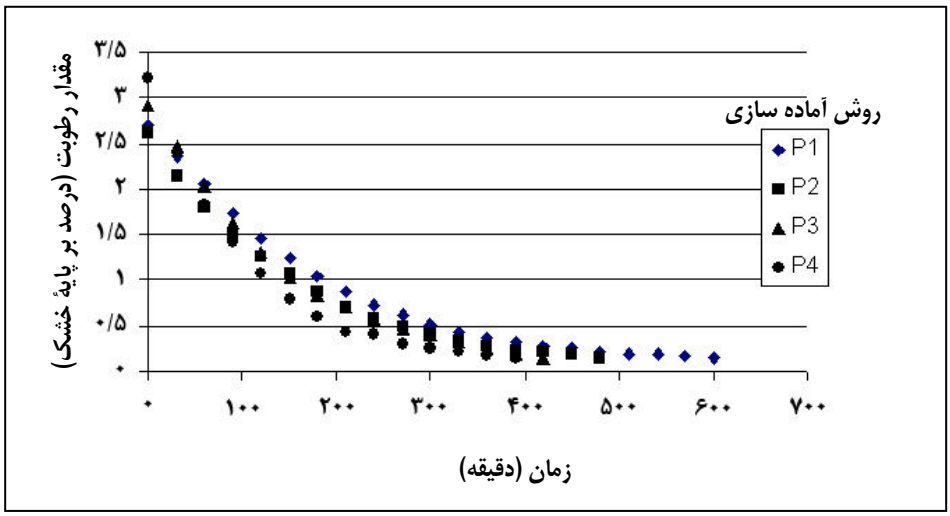


شکل ۲- روند تغییرات رطوبت انگور بیدانهٔ سفید ناشی از تغییرات دما در روش آماده‌سازی P_3 و سرعت جابه‌جایی هوای ۲ متر بر ثانیه

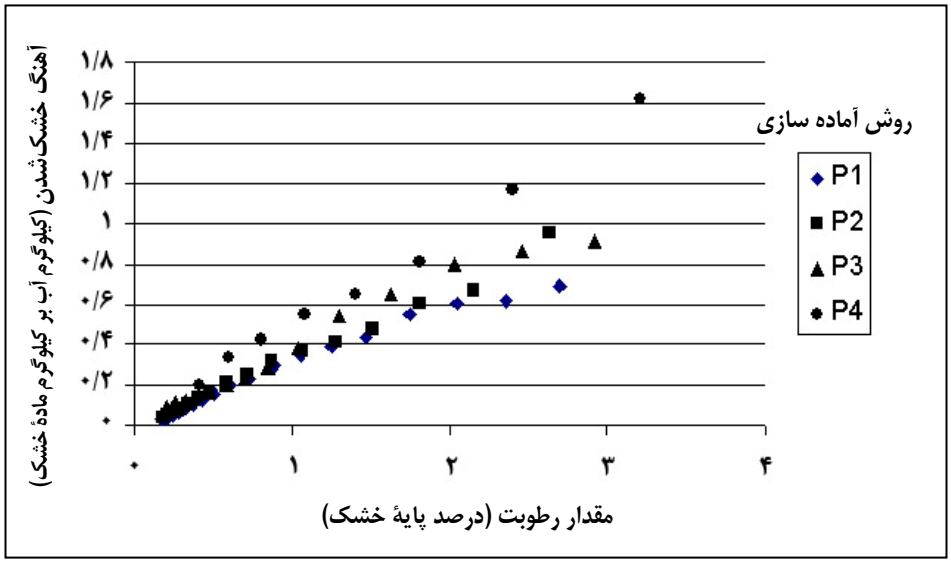


شکل ۳- روند تغییرات آهنگ خشک‌شدن انگور بیدانه سفید ناشی از تغییرات دما در روش آماده‌سازی P_3 و سرعت جابه‌جایی هوای ۲ متر بر ثانیه

با توجه به جدول مقایسهٔ میانگین‌ها، آماده‌سازی محصول در تمامی دماها موجب تسریع معنی‌دار آهنگ و کاهش زمان خشک‌شدن انگور می‌شود. در کلیهٔ دماها و سرعت‌ها، روش آماده‌سازی P_4 نسبت به P_3، P_3 نسبت به P_2، و P_2 نسبت به P_1 تاثیر بیشتری بر تسریع آهنگ و کاهش زمان خشک‌شدن نسبت به بقیه تیمارها داشته است. که دلیل آن تاثیر بیشتر آماده‌سازی P_4 در حل شدن پوسته مومی و دیواره سلولی است. در تمامی سرعت‌های جابه‌جایی هوا، اثر تیمار آماده‌سازی نسبت به تیمار شاهد در کاهش زمان خشک‌شدن و افزایش آهنگ خشک‌شدن، با کاهش دما بیشتر می‌شود. برای نشان‌دادن تاثیر روش آماده‌سازی، منحنی تغییرات رطوبت در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد و سرعت جابه‌جایی هوا ۲ متر بر ثانیه در شکل ۴ نشان داده شده است.

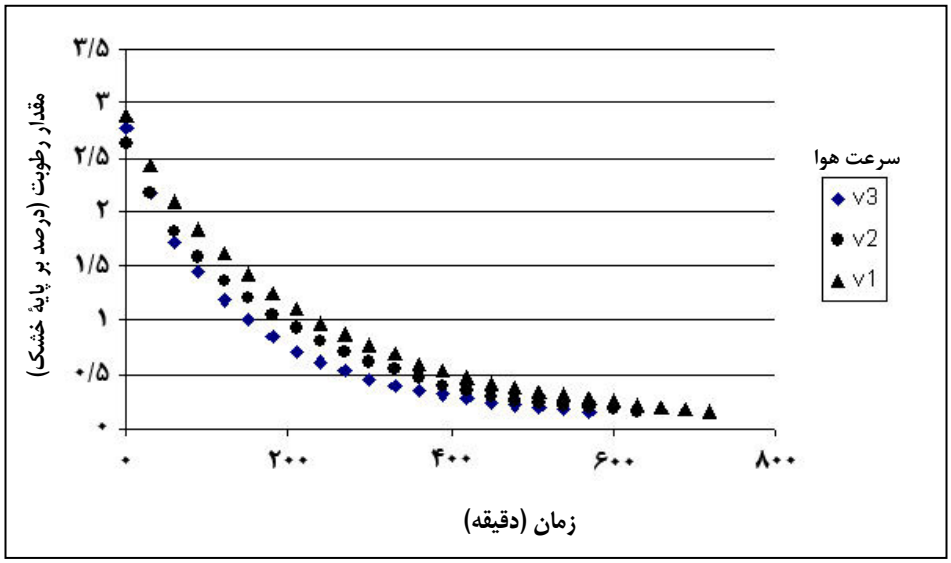


شکل ۴- تاثیر روش آماده‌سازی بر روند تغییرات رطوبت انگور بیدانهٔ سفید در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد و سرعت جابه‌جایی هوای ۲ متر بر ثانیه

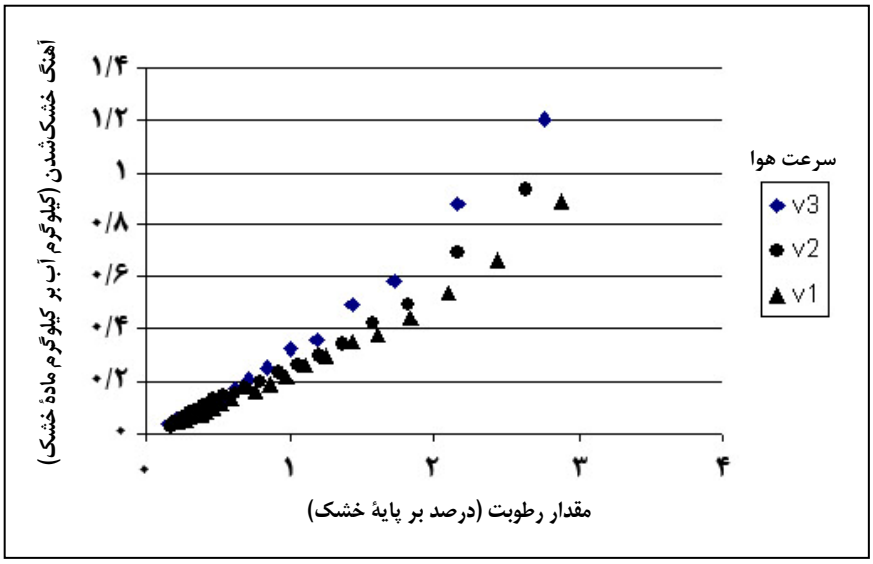


شکل ۵- تاثیر روش آماده‌سازی بر روند تغییرات آهنگ خشک‌شدن انگور بیدانه سفید در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد و سرعت جابه‌جایی هوای ۲ متر بر ثانیه

سرعت جابه‌جایی هوا در تمامی دماها جز دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد نیز موجب تسریع معنی‌دار آهنگ و کاهش زمان خشک‌شدن انگور می‌شود. در روش‌های آماده‌سازی P_1 و P_3 افزایش سرعت از ۱ به ۲ و در روش‌های آماده‌سازی P_2 و P_4 افزایش سرعت از ۲ به ۳ متر بر ثانیه دارای بیشترین تاثیر در تسریع آهنگ و کاهش زمان خشک‌شدن بوده است. دلیل آن را می‌توان به مواد مورد استفاده در روش آماده‌سازی نسبت داد. برای نمونه، تاثیر سرعت جابه‌جایی هوای گرم در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و روش آماده سازی P_4 بر فرایند خشک‌شدن انگور بیدانهٔ سفید در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶- تاثیر سرعت جابه‌جایی هوا بر روند تغییرات رطوبت انگور بیدانه سفید در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و روش آماده‌سازی P_4



شکل ۷- تاثیر سرعت هوا بر روند تغییرات آهنگ خشک‌شدن انگور بیدانهٔ سفید در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد و روش آماده‌سازی P_4

تعیین ضریب نفوذپذیری انگور بیدانهٔ سفید

ضرایب نفوذ در سطوح مختلف دما، سرعت هوا، و آماده‌سازی در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود با افزایش دما در تمامی آماده‌سازی‌ها و سرعت‌ها، ضریب نفوذ بیشتر می‌شود. و نیز ضریب نفوذ با افزایش سرعت هوا افزایش می‌یابد. ضریب نفوذ در آماده‌سازی P_4 بیشتر از P_3، P_3 بیشتر از P_2، و P_2 بیشتر از P_1 است.

تاثیر دما بر ضریب نفوذ در سطوح مختلف سرعت هوا و آماده سازی بررسی شد که نتایج آن از معادلهٔ آرنیوس پیروی می‌کند. جدول ۶ نشان می‌دهد که مقدار R^2 تمامی مدل‌ها از ۹۵ درصد بالاتر است که نتیجه برازش خوب معادلهٔ آرنیوس است. در همان جدول مقدار انرژی فعال‌سازی محاسبه‌شده، نیز آمده است. مقدار انرژی فعال‌سازی در روش آماده‌سازی P_4 از روش‌های دیگر آماده‌سازی کمتر است. دلیل آن می‌تواند تاثیر بیشتر این مادهٔ آماده‌سازی در حل‌کردن پوستهٔ مومی و دیوارهٔ سلولی حبه‌های انگور باشد که سبب می‌شود مقدار این انرژی کاهش یابد.

جدول ۵- ضرایب نفوذ انگور بیدانه سفید در دماها، سرعت‌ها و روش‌های آماده‌سازی تحت بررسی

		آماده‌سازی P_4		آماده‌سازی P_3		آماده‌سازی P_2		آماده‌سازی P_1	
دما (درجهٔ سانتی‌گراد)	سرعت هوا (متر بر ثانیه)	$\frac{D}{r^2}\times10^6$ (یک بر ثانیه)	R^2	$\frac{D}{r^2}\times10^6$ (یک بر ثانیه)	R^2	$\frac{D}{r^2}\times10^6$ (یک بر ثانیه)	R^2	$\frac{D}{r^2}\times10^6$ (یک بر ثانیه)	R^2
	۱	۴/۳۴	۰/۹۷۲	۳/۱۲	۰/۹۹۵	۲/۴۱	۰/۹۹۲	۱/۳۵	۰/۹۹۹
۵۰	۲	۴/۳۴	۰/۹۷۷	۳/۲۶	۰/۹۹۱	۲/۶۳	۰/۹۹۱	۱/۴	۰/۹۹۸
	۳	۴/۹	۰/۹۸۴	۳/۴۹	۰/۹۹۵	۱۲/۰۶	۰/۹۹۳	۱/۴۲	۰/۹۹۹
	۱	۷/۹۴	۰/۹۹۸	۸/۰۴	۰/۹۹۴	۵/۰۷	۰/۹۸۹	۴/۰۹	۰/۹۹۸
۶۰	۲	۹/۱۲	۰/۹۹۸	۸/۹۵	۰/۹۸۳	۵/۵۷	۰/۹۹۹	۴/۳۷	۰/۹۹۵
	۳	۱۰/۱۳	۰/۹۵۷	۹/۴۶	۰/۹۸۹	۵/۶۷	۰/۹۹۳	۴/۸	۰/۹۸۰
	۱	۱۴/۸۳	۰/۹۹۹	۱۳/۲۶	۰/۹۹۱	۱۰/۶۲	۰/۹۸۲	۹/۳۰	۰/۹۶۴
۷۰	۲	۱۵/۵۷	۰/۹۹۹	۱۳/۴۲	۰/۹۹۲	۱۱/۸۹	۰/۹۹۹	۹/۳۲	۰/۹۶۴
	۳	۱۵/۷۵	۰/۹۹۷	۱۵/۲	۰/۹۷۸	۱۲/۴۱	۰/۹۹۸	۱۰/۰۸	۰/۹۹۸
	۱	۲۴/۱۸	۰/۹۹۹	۱۷/۹۸	۰/۹۹۶	۱۶/۸۹	۰/۹۷۶	۱۳/۴۷	۰/۹۹۵
۸۰	۲	۲۴/۳۲	۰/۹۹۵	۱۹/۹۲	۰/۹۸۶	۱۸/۲۹	۰/۹۹۸	۱۴/۰۳	۰/۹۹۸
	۳	۲۴/۶۰	۰/۹۹۲	۲۲/۱۲	۰/۹۹۱	۱۹/۴۷	۰/۹۸۴	۱۶/۶۸	۰/۹۹۶

جدول ۶- برازش ضرایب نفوذ با معادلهٔ آرنیوس و مقدار انرژی فعالسازی انگور بیدانهٔ سفید

آماده‌سازی	سرعت هوا (متر بر ثانیه)	مدل	R^2	انرژی فعال سازی (کیلوژول بر کیلوگرم)
P_1	۱	$\ln\frac{D}{r^2}=3.33-\frac{8860.7}{T}$	۰/۹۶۶	۴۰۹۲/۷
	۲	$\ln\frac{D}{r^2}=3.32-\frac{8802.1}{T}$	۰/۹۶۷	۴۰۶۵/۶
	۳	$\ln\frac{D}{r^2}=3.38-\frac{9327.2}{T}$	۰/۹۷۲	۴۳۰۸/۲
P_2	۱	$\ln\frac{D}{r^2}=3.19-\frac{7541.4}{T}$	۰/۹۹۴	۳۴۸۳/۳
	۲	$\ln\frac{D}{r^2}=3.23-\frac{7829.7}{T}$	۰/۹۸۸	۳۶۱۶/۵
	۳	$\ln\frac{D}{r^2}=3.22-\frac{7767.1}{T}$	۰/۹۹۱	۳۵۸۷/۶

ادامه جدول ۶-

آماده‌سازی	سرعت هوا (متر بر ثانیه)	مدل	R^2	انرژی فعال سازی (کیلوژول بر کیلوگرم)
P_3	۱	$\ln\frac{D}{r^2}=3.08-\frac{6609.2}{T}$	۰/۹۵۲	۳۰۵۲/۷
	۲	$\ln\frac{D}{r^2}=3.09-\frac{6699.4}{T}$	۰/۹۴۹	۳۰۹۴/۴
	۳	$\ln\frac{D}{r^2}=3.12-\frac{6903.8}{T}$	۰/۹۵۶	۳۱۸۸/۸
P_4	۱	$\ln\frac{D}{r^2}=3.12-\frac{6858.4}{T}$	۰/۹۹۸	۳۱۶۷/۸
	۲	$\ln\frac{D}{r^2}=3.08-\frac{6529.3}{T}$	۰/۹۹۲	۳۰۱۵/۸
	۳	$\ln\frac{D}{r^2}=3.01-\frac{6045.4}{T}$	۰/۹۸۹	۲۷۹۲/۳

نتیجه‌گیری

با بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از این تحقیق، موارد زیر توصیه می‌شود:

- متغیرهای دما، سرعت جابه‌جایی هوا، و روش آماده‌سازی محصول، تاثیرات بسیار معنی‌داری بر زمان و آهنگ خشک‌شدن محصول دارند. همچنین تاثیرات متقابل بین متغیرهای دما، سرعت هوا، و روش آماده‌سازی محصول بر زمان و آهنگ خشک‌شدن بسیار معنی‌دار است.
- تاثیر روش آماده‌سازی بر فرایند خشک‌شدن انگور بسیار بالاست. در میان آماده‌سازی‌های مورد استفاده در آزمایش، روش آماده‌سازی با هیدروکسید سدیم ۰/۵ درصد در دمای ۹۳ درجهٔ سانتی‌گراد (P_4) نسبت به دیگر روش‌ها تاثیر بیشتری بر تسریع آهنگ و کاهش زمان خشک‌شدن نشان می‌دهد.
- تاثیر روش آماده‌سازی با کربنات پتاسیم ۵ درصد و روغن زیتون ۰/۴ درصد (P_3) بر آهنگ و کاهش زمان خشک‌شدن، بیشتر از روش آماده‌سازی با آب داغ (P_2) است.
- تاثیر دما بر فرایند خشک‌کردن انگور بسیار زیاد است و افزایش آن موجب کاهش زمان و افزایش آهنگ خشک شدن می‌شود. به طوری که با افزایش دما از ۵۰ به ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد، زمان خشک‌شدن بیش از ۵۱ درصد کاهش می‌یابد.
- افزایش دمای خشک‌کن در مقایسه با سرعت جابجایی هوا تاثیر بیشتری بر کاهش زمان و تسریع آهنگ خشک‌شدن نشان می‌دهد.
- با افزایش دما و سرعت هوا، در تمامی روش‌های آماده‌سازی، ضریب نفوذ بیشتر می‌شود.

- ضریب نفوذ در روش آماده‌سازی با هیدروکسید سدیم ۰/۵درصد در دمای ۹۳ درجهٔ سانتی‌گراد (P_4) بیشتر از سایر روش‌های آماده‌سازی است.
- تاثیر دما بر ضریب نفوذ در سطوح مختلف سرعت و روش آماده‌سازی بررسی شد و نتایج آن از معادلهٔ آرنیوس پیروی می‌کند.
- مقدار انرژی فعال‌سازی تیمارهای آزمایش بین ۲۷۹۲/۳ و ۴۰۹۲/۷ کیلوژول بر کیلوگرم متغیر است.

مراجع

Berna, A., Rossello, C., Canellas, J. and Mulet, A. 1991. Drying kinetics of a Majorican seedless grape uarity. Drying Technol. 91, 455-462.

Doymaz, I. And Pala, M. 2002. The effects of dipping pretreatment on air-drying rates of seedless grapes. J. Food Eng. 52, 423-427.

Eissen, W., Muehlbauer, W. and kutzbach, H. D. 1985. Solar drying of grape. Drying Technol. 3(1): 63-74.

Mclellan, M. R., Kime, R. W., Lee, C. Y. and Long, T. M. 1995. Effect of honey as an antibrowning agent in light raisin processing. J. Food Processing Preservation. 19(1): 1-8.

Pangavhane, D. R., Sawheny, R. L. and Saravardia, P. N. 1999. Effect of various dipping pretreatments on drying kinetics of Thompson seedless grapes. J. Food Eng. 39(2): 211-216.

Ramhormozian, S. 2000. Determination of the effect of pretreatment and parameters of drying on some qualities of raisin. M. Sc. Thesis. Azad University. Tehran. Iran. (in Farsi)

Riva, M. and Peri, C. 1983. A study of grape drying: 1. Effect of dipping treatment on drying rates. Sci. Des Aliments. 3(4): 527-550.

Sawheny, R. L., Pangavhane, D. R. and Saravardia, P. N. 1999. Drying kinetics of single layer Thompson seedless grape under heated ambient air conditions. Drying Technol. 17(1,2): 215-236.

Tavakkolipour, H. 2001. Drying of Foods, Principles & Methods. Ayeeg Pub. (in Farsi)

Tsami, E., Marinos-Kouris, D. and Maroulis, Z. B. 1990. Water sorption isotherms of Raisins, Currants, Figs, Prunes and Apricots. J. Food Sci. 55(6): 1594-1597.

Tulasidas, T. N., Raghavan, G. S. V. and Norris, E. R. 1993. Microwave and convective drying of grape. Trans. ASAE. 36(6): 1861-1865.

Vazquez, G. Chenlo, R. and Costoyas, A. 2000. Effect of various treatments on the drying kinetics of Muscatel grape. Drying Technol. 18(9): 2131-2144.

Zarrabi, M. 1998. Determination of the design parameters in drying grape. M. Sc. Thesis. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. (in Farsi)

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.8 /No.4 /Winter 2008/P: 65-80

Influence of Temperature, Air Velocity and Pretreatments on Drying Thompson Seedless Grapes

M. Gholami Porshokoohi*, S. Minaei, A. M. Borghei and A. Basiri

* Corresponding Author: Assistant Professor, Farm Machinery Department, Islamic Azad University, Takestan, Iran. E-mail: gholamihassan@yahoo.com

Drying is one of the most important steps in raisin processing. During this step, initial moisture content decreases up to 15-17% (db) for suitable storage. Achieving optimum drying conditions can affect the processing time and improve raisin quality. Temperature, air velocity and pretreatment are important factors in the quality of the grape drying process. In this research, the effect of temperature at 50ºC, 60ºC, 70ºC, and 80ºC; air velocity at 1, 2 and 3 m/s, and four pretreatments (hot water, 5% potassium carbonate, 0.4% olive oil, 0.5% sodium hydracids) and no pretreatment were measured. Diffusivity and activation energy of all treatments were determined. The results of ANOVA showed that temperature, air velocity and pretreatment have significant effects on drying time and average drying rate. Pretreatment has a significant effect on the drying process and decreases the drying time up to 69% at some temperature levels. Also, increasing the temperature decreases drying time up to 66% for some pretreatments. Increasing the hot air velocity decreases it about 8.6%.

Key Words: Air Velocity, Drying, Grape, Pretreatment, Temperature