

بررسی اثر پیش تیمارهای مختلف در خشک کردن لایه نازک انگور و رنگ کشمش حاصل

اعظم ایوبی^{۱*}، ناصر صداقت^۲، مهدی کاشانی نژاد^۳

۱- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
*نویسنده مسئول (mayoubi80@yahoo.com)

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۰۳

واژه های کلیدی

انگور

پیش تیمار

خشک کردن لایه نازک

ضریب نفوذ

کشمش

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر شرایط خشک کردن لایه نازک (دمای خشک کردن در سه سطح (۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد)، سرعت جریان هوا در دو سطح (۱/۵ و ۲/۵ متر بر ثانیه) و پیش تیمار آماده سازی در چهار سطح (کربنات پتاسیم و روغن سبزه، روغن زیتون، آب داغ و بدون پیش تیمار آماده سازی) بر فرایند خشک کردن انگور در خشک کن کابینتی و رنگ کشمش حاصل انجام شد. شش مدل ریاضی خشک شدن بر داده های آزمایش برآزش شد و انتخاب بهترین مدل بر اساس ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب انحراف نسبی متوسط (P) صورت گرفت. نتایج نشان داد که پارامترهای دما، سرعت هوا و پیش تیمار آماده سازی اثرات معنی داری بر شدت خشک شدن انگور و رنگ کشمش داشتند. در بین مدل های مورد مطالعه مدل های دوجمله ای و پیچ، توانایی بیشتری را در ارزیابی و توصیف رفتار خشک کردن انگور نشان دادند. مقادیر ضریب نفوذ موثر در شرایط مختلف از 10^{-11} تا $4/6274 \times 10^{-11}$ و $8/6541 \times 10^{-11}$ متر مربع بر ثانیه متغیر بود و مقدار انرژی فعال سازی فرایند خشک کردن $13470/83$ ژول بر مول به دست آمد. مطلوب ترین مقادیر روشنایی و قرمزی مربوط به کشمش خشک شده در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و بیشترین مقادیر زردی مربوط به کشمش خشک شده در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد بود. تأثیر سرعت جریان هوا تنها بر قرمزی معنی دار شد. افزایش سرعت جریان هوا کاهش قرمزی را به دنبال داشت. در بین پیش تیمارهای به کار رفته، پیش تیمار کربنات پتاسیم و روغن سبزه باعث رنگ بهتر کشمش شد.

مقدمه

تن، انگور در جهان تولید می شود که ایران با تولید حدود سه میلیون تن، یازدهمین تولیدکننده این میوه در جهان به شمار می رود. سطح زیر کشت انگور در ایران حدود ۳۱۰ هزار هکتار است^۱ و بر اساس آخرین آمار سازمان خوار و بار و کشاورزی جهانی (فائو) در

با توجه به بالا بودن سطح زیر کشت و میزان تولید، انگور و فرآورده های آن و به ویژه کشمش بعد از پسته و خرما در ردیف بزرگ ترین اقلام صادراتی غیرنفتی کشور قرار می گیرند. تا قبل از جنگ جهانی دوم، ایران بزرگ ترین و مهم ترین کشور تولیدکننده کشمش در جهان بوده است. سالانه حدود ۶۸ میلیون

۱- گزارش خبرگزاری دانشجویان ایران (ایسنا)، (۲۷ آذر ۱۳۹۱)

رشیدی، ۱۳۸۸). مطالعه اثرات روش‌های آماده‌سازی بر روی روند خشک کردن انگور و شاخص‌های کیفی فرآورده نهایی توسط Pangavhane و همکاران (۱۹۹۹) بر تأثیر معنی‌دار آماده‌سازی انگور با محلول هیدروکسید سدیم بر افزایش شدت خشک کردن انگور در مقایسه با روش‌های دیگر به کار رفته دلالت داشت (Pangavhane et al., 1999). ضرابی (۱۳۷۷) محلول ۵ درصد کربنات پتاسیم با ۲ درصد روغن سبزه^۱ با زمان تماس ۵ دقیقه را به عنوان بهترین محلول آماده‌سازی و دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد را به عنوان بهترین دما برای خشک شدن انگور بی‌دانه سفید پیشنهاد کرد (ضرابی و همکاران، ۱۳۷۷). بررسی Vazquez و همکاران (۲۰۰۰)، بر تأثیر روش‌های آماده‌سازی بر آهنگ خشک شدن انگور رقم موسکاتل^۲ نشان داد که استفاده از پیش‌تیمار آماده‌سازی مدت زمان خشک کردن را از ۸۰ به ۲۰ ساعت کاهش داد (Vazquez et al., 2000). Pahlavanzadeh و همکاران (۲۰۰۲) گزارش نمودند که کمترین زمان خشک کردن و بهترین کیفیت انگور سلطانی (شاهانی) خشک شده مربوط به نمونه تیمار شده با محلول کربنات پتاسیم ۵ درصد در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد بوده است (Pahlavanzadeh et al., 2002). نتایج مطالعه اثرات تیمارهای آماده‌سازی بر روی شدت خشک کردن انگور بی‌دانه، توسط Pala و Doymaz (۲۰۰۲) نشان داد که آهنگ خشک شدن انگور در تیمار محلول کربنات پتاسیم ۰/۵ کیلوگرم در ۱۰ لیتر آب و ۰/۲ کیلوگرم اولئات در دمای محیط و به مدت یک دقیقه بیشتر از سایر تیمارها بود (Doymaz & Pala, 2002). نتایج بررسی Sawhney و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که در میان سه مدل مورد مطالعه (پیچ، نمایی یک جمله‌ای و دوجمله‌ای) مدل پیچ، مناسب‌ترین مدل برای توصیف رفتار خشک کردن انگور تامسون بی‌دانه بود (Sawhney et al., 2009). نتایج مطالعه غلامی پرشکوهی و رشیدی (۱۳۸۸) نشان داد که که پارامترهای دما، سرعت جابجایی هوا و آماده‌سازی

سال ۲۰۱۲ ایران با صادرات ۱۳۴۰۵۹ تن کشمش و اختصاص سهم ۱۸ درصدی از صادرات این محصول، بعد از ترکیه و آمریکا، سومین صادرکننده کشمش در دنیا به شمار می‌رود. اما بررسی وضعیت کشمش ایران در بازارهای جهانی طی سال‌های گذشته نشان می‌دهد که به دلیل عدم انطباق کیفیت این محصول با استانداردهای جهانی، کشمش تولیدی در ایران در بازارهای بین‌المللی با قیمتی بسیار پایین به فروش می‌رسد. فرایند خشک کردن انگور، یکی از مهم‌ترین مراحل فرآوری کشمش و از جمله عوامل مؤثر بر کیفیت کشمش می‌باشد. در اکثر مناطق انگورخیز کشور، کشمش به روش سنتی تهیه می‌شود. در این روش، مدت زمان لازم برای خشک کردن طولانی است و مواد زائد مخصوصاً گرد و خاک به محصول اضافه می‌شود. به علاوه در برخی مناطق که پاییز زودرس دارند کیفیت کشمش در اثر شرایط نامساعد جوی کاهش می‌یابد و بخشی از محصول در اثر پوسیدگی از بین می‌رود. اگرچه امروزه برای تهیه سریع کشمش با کیفیت بهتر از دستگاه‌های خشک-کن (خشک‌کن‌های با جریان هوای داغ و خشک‌کن‌های خورشیدی) استفاده می‌شود (غلامی پرشکوهی و رشیدی، ۱۳۸۸)، اما کشمش تولیدی با این روش برخی از صفات کیفی مطلوب کشمش سنتی را نداشته و با پذیرش کم مصرف‌کننده مواجه است. دستیابی به شرایط بهینه در فرایند خشک کردن صنعتی می‌تواند اثر مهمی بر زمان فرآوری و بهبود شاخص‌های کیفی این محصول داشته باشد. خشک-کن‌های مداوم و غیرمداوم صنعتی بر اساس نتایج به دست آمده از خشک کردن لایه نازک، طراحی می‌شوند (کاشانی‌نژاد، ۱۳۸۲؛ Aghbashlo et al., 2008; Barbosa-candvas & Vega-Mercado et al., 1996). خشک کردن لایه نازک در شرایط متفاوت تغییرات ساختاری و فیزیکی مختلفی را در مواد غذایی ایجاد می‌کند (شفافی زوزیان، ۱۳۸۶؛ Barbosa-candvas & Vega-Mercado et al., 1996). پارامترهای دما، سرعت جابجایی هوای گرم و روش آماده‌سازی اولیه انگور، از جمله عوامل اصلی مؤثر بر فرایند خشک شدن انگور محسوب شده و نقش مهمی را در کیفیت محصول نهایی ایفا می‌کنند (غلامی پرشکوهی و

۱- روغن سبزه یک مایع شفاف به رنگ زرد کم رنگ است که طی دو مرحله از اسید چرب کلزا حاصل می‌شود. از ترکیب این روغن با کربنات پتاسیم تیزاب تهیه می‌گردد.

2- Muscatel

خوراکی^۱ و روغن زیتون اوپلا برای تهیه محلول‌های پیش تیمار آماده‌سازی استفاده شد. محتوای قند انگور (شاخص بریکس) به کمک رفاکتومتر دستی، قطر حبه‌های انگور به وسیله کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی-متر و رطوبت اولیه انگور طبق روش استاندارد ملی ایران شماره ۶۷۲ (روش اندازه‌گیری رطوبت در خشکبار) توسط آون تحت خلاء در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد تعیین شد. میانگین شاخص بریکس برای حبه‌های انگور برابر $1 \pm 24/1$ درصد، میانگین رطوبت اولیه انگور 2 ± 77 درصد و میانگین قطر حبه‌های انگور برابر $0/1 \pm 1/16$ سانتی‌متر بود. جهت خشک کردن نمونه‌ها از خشک‌کن غیرمداوم کابینتی مجهز به سه سینی مشبک ساخت شرکت طب سروش مشهد استفاده شد. برای کنترل دمای دستگاه، از ترموکوپل K در طراحی دستگاه استفاده شده بود. گردش هوا در دستگاه از طریق دمنده‌های سانتریفوژی انجام می‌شد. سرعت هوا در این دستگاه ثابت و معادل ۱/۵ متر بر ثانیه بود. برای ایجاد سرعت ۲/۵ متر بر ثانیه از یک دمنده کمکی مدل VMA.10S2S و دیمر برای تنظیم سرعت هوا استفاده شد. سرعت هوا با استفاده از سرعت‌سنج تستو^۲ کنترل می‌گردید.

روش‌ها

خشک کردن

پیش تیمارهای مورد استفاده در مرحله خشک کردن شامل پیش تیمار با محلول آبی ۲/۵ درصد وزنی/وزنی کربنات پتاسیم و ۲ درصد روغن سبزه به مدت ۳ دقیقه غوطه‌وری در دمای محیط (P1)، پیش تیمار با محلول آبی ۲ درصد روغن زیتون به مدت ۴ دقیقه غوطه‌وری در دمای محیط (P2)، پیش تیمار با آب داغ با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲/۵ دقیقه غوطه‌وری (P3) و شاهد (بدون پیش تیمار آماده‌سازی) (P4) بودند. لازم به ذکر است که از آب مقطر برای تهیه تمام محلول‌های آماده‌سازی استفاده شد. قبل از شروع هر آزمایش خشک کردن، انگور از یخچال خارج شده و تا رسیدن دمای آن به دمای ۲۵

محصول اثرات بسیار معنی‌داری بر زمان و متوسط آهنگ خشک شدن انگور بی‌دانه قرمز داشتند (غلامی پرشکوهی و رشیدی، ۱۳۸۸).

رنگ یک ویژگی مهم کیفی مواد غذایی و محصولات کشاورزی از جمله کشمش است، به طوری که تغییرات نامطلوب این ویژگی، می‌تواند سبب کاهش کیفیت و بازارپسندی محصول شود. بالا بودن دما یا طولانی شدن زمان خشک کردن در روش‌های متداول خشک کردن با جریان هوا می‌تواند به شدت به رنگ محصول صدمه بزند (Drouzas *et al.*, 1999; Lin *et al.*, 1998). مقایسه روش‌های آماده‌سازی انگور و اثرات آنها بر روی رنگ فرآورده نهایی توسط Mclellan و همکاران (۱۹۹۵) نشان داد که آماده‌سازی با غسل باعث ایجاد رنگ زرد در فرآورده نهایی گردید و رنگ روشن‌تری نسبت به محلول سولفیت باعث شد (Mclellan *et al.*, 1995). روشن‌ترین رنگ با کمترین ارزش نسبت قرمزی به زردی، نمایانگر بهترین رنگ انگور خشک شده است (Canellas *et al.*, 1993). گزارش شده است که افزایش دمای خشک کردن با کاهش روشنی و افزایش قرمزی در محصولات نظیر زرد آلو و انگور همراه بوده است (Karabulut *et al.*, 2007; Serratos *et al.*, 2010).

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر شرایط خشک کردن لایه نازک (دمای خشک کردن در سه سطح ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتیگراد)، سرعت جریان هوا در دو سطح (۱/۵ و ۲/۵ متر بر ثانیه) و پیش تیمار آماده‌سازی در چهار سطح (کربنات پتاسیم و روغن سبزه، روغن زیتون، آب داغ و بدون پیش تیمار آماده‌سازی) بر رفتار خشک شدن انگور رقم عسگری و رنگ کشمش حاصل انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مواد و دستگاه‌ها

انگور رقم عسگری از باغات شهرستان کاشمر تهیه شد و قبل از آماده‌سازی و انجام تحقیق در یخچال آزمایشگاه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. از روغن سبزه پاکسان، کربنات پتاسیم با درجه

1-Food grade

2-Testo

مورد بررسی (۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد) تا رسیدن به یک وزن ثابت، در خشک‌کن خشک شد. سپس مقدار رطوبت نمونه‌ها به روش استاندارد ملی ایران شماره ۶۷۲ تعیین شد. مقدار رطوبت به دست آمده در این مرحله معادل رطوبت تعادلی انگور در شرایط دمایی مورد مطالعه می‌باشد (کاشانی‌نژاد، ۱۳۸۲). لازم به ذکر است که اندازه‌گیری رطوبت تعادلی در سه تکرار انجام شد. مقادیر رطوبت تعادلی کُشمش برای محاسبه نسبت رطوبت (MR) و برازش دادن مدل‌های ریاضی مختلف به نتایج آزمایشات خشک کردن انگور در شرایط مختلف به کار گرفته شد.

مدل‌سازی خشک کردن انگور

در این مطالعه، به منظور تعیین بهترین مدل توصیف‌کننده رفتار خشک کردن انگور، داده‌های خشک کردن انگور در شرایط مختلف با شش مدل ریاضی (لوئیس^۲، هندرسون و پابیس^۳، پیج^۴، پیج اصلاح شده^۵، نمایی دوجمله‌ای^۶ و لگاریتمی^۷) با استفاده از روش رگرسیون غیرخطی و به کمک نرم-افزار Slide write برازش شدند.

جدول ۱- مدل‌های ریاضی مختلف مورد استفاده برای توصیف رفتار خشک کردن انگور

معادله ریاضی	نام مدل
$MR = \exp(-kt)$	لوئیس (نمایی)
$MR = a \exp(-kt)$	هندرسون و پابیس
$MR = \exp(-kt^n)$	پیج
$MR = \exp(-kt)^n$	پیج اصلاح شده
$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-lt)$	نمایی دوجمله‌ای
$MR = a \exp(-kt) + c$	لگاریتمی

جدول ۱ مدل‌های ریاضی مورد بررسی در این پژوهش را نشان می‌دهد. نسبت رطوبت بدون بعد با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

درجه سانتی‌گراد، در محیط آزمایشگاه قرار داده شد. پس از شستشوی اولیه و آماده‌سازی محلول‌های پیش‌تیمار، نمونه‌ها در محلول‌های آماده سازی غوطه‌ور شدند. دماهای ۶۰ درجه سانتی‌گراد (T1)، ۷۰ درجه سانتی‌گراد (T2) و ۸۰ درجه سانتی‌گراد (T3) سطوح متغیر دمای خشک کردن و سرعت‌های ۱/۵ متر بر ثانیه (V1) و ۲/۵ متر بر ثانیه (V2) سطوح متغیر سرعت جریان هوا بودند. قبل از شروع هر مرحله از خشک کردن، دستگاه خشک‌کن زودتر روشن شده و اجازه داده می‌شد تا به شرایط دمایی مورد نظر برسد. دستگاه خشک‌کن، برای پایداری سیستم به مدت یک ساعت در این حالت باقی می‌ماند. سپس ۲۰۰ گرم انگور به صورت یک لایه بر روی سینی‌ها پخش شده و در داخل محفظه خشک‌کن قرار داده شد. در طی فرایند خشک کردن دما در محل قرار گرفتن نمونه‌های انگور به طور دستی به وسیله دماسنج نیز کنترل می‌شد. نمونه‌ها به طور مداوم در فواصل زمانی معین توسط ترازوی دیجیتال با دقت ± 0.01 گرم توزین می‌شدند. فرآیند خشک کردن به محض رسیدن مقدار رطوبت نمونه‌ها به ۱۳ درصد (بر پایه وزن مرطوب) متوقف شد. پس از خشک کردن، نمونه‌های خشک شده در بسته‌های سه لایه (PE/PA/PE)^۱ با ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر مربع بسته‌بندی شده و تا انجام آزمون‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و در تاریکی نگهداری شدند.

رطوبت تعادلی

میزان رطوبت تعادلی یکی از مهم‌ترین عوامل در صنعت خشک کردن محصولات کشاورزی و مواد غذایی می‌باشد. در تحقیقات برای تعیین رطوبت تعادلی دو روش دینامیک و استاتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به طولانی بودن زمان تعادل، در روش استاتیک و بالا بودن احتمال کپک زدن نمونه‌ها در این روش، در مطالعه حاضر برای تعیین مقدار رطوبت تعادلی انگور در دماهای مورد استفاده از روش دینامیکی (استفاده از جریان هوا) استفاده شد. بدین منظور ۱۰۰ گرم نمونه انگور در هر یک از دماهای

2- Lewis

3- Henderson and Pabis

4- Page

5- Modified Page

6- Two-term

7- Logarithmic

1-Polyethylene/ Polyamid/ Polyethylene

تعیین ضریب نفوذ مؤثر

مشخصات خشک شدن محصولات بیولوژیکی با استفاده از قانون دوم نفوذ فیک توصیف می‌شود. Crank (۱۹۷۵) این معادله را برای اجسام صفحه‌ای، کروی و استوانه‌ای شکل حل کرده است. با فرض این که توزیع رطوبت اولیه یکنواخت باشد و از تغییرات ضریب نفوذ، حجم و دانسیته صرف نظر شود می‌توان برای تعیین ضریب نفوذ مؤثر هر حبه انگور از معادله ۴ که برای اجسام صفحه‌ای صدق می‌کند استفاده کرد:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L_0^2}\right) \quad (4)$$

که D_{eff} ضریب نفوذ مؤثر بر حسب مترمربع بر ثانیه و L_0 نیم بعد صفحه بر حسب متر می‌باشد. L_0 برای انگور به وسیله کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد ($L_0 = 0.58 \text{ cm}$). برای زمان‌های خشک شدن طولانی، معادله ساده‌تر شده (معادله ۵) و جملات در سری نامحدود سریعاً همگرا شده و در بیشتر موارد با اولین جمله سری تقریب زده شده و به صورت لگاریتمی نوشته می‌شود (Tutuncu & Labuza, 1996):

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{D_{eff} t \pi^2}{4L_0^2} \quad (5)$$

ضریب نفوذ مؤثر رطوبت با رسم داده‌های خشک شدن آزمایشی به صورت $\ln MR$ در مقابل زمان خشک شدن تعیین شد که نمودار یک خط مستقیم با شیب $(\pi^2 D_{eff} / 4L_0^2)$ داد. شیب خط با استفاده از آنالیز رگرسیون تعیین شد.

محاسبه انرژی فعال سازی

معمولاً تابعیت ضریب نفوذ مؤثر رطوبت از دما با رابطه آرنیوس بیان می‌گردد (معادله ۶):

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (6)$$

که در این معادله D_0 ضریب نفوذ در دمای مبنا، E_a انرژی فعال سازی (KJ/mol)، R ثابت جهانی گازها و T دمای مطلق می‌باشد (Aghbashlo et al., 2008). با گرفتن لگاریتم از طرفین، معادله ۷ به دست می‌آید.

$$\ln D_{eff} = \ln D_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (7)$$

برای محاسبه انرژی فعال سازی، نمودار $\ln D_{eff}$ در

$$MR = \frac{(M - M_e)}{(M_0 - M_e)} \quad (1)$$

که در آن MR نسبت رطوبت بدون بعد، M مقدار رطوبت محصول در هر زمان، M_e مقدار رطوبت تعادلی و M_0 مقدار رطوبت اولیه انگور است. برای ارزیابی برازش مدل‌های مورد مطالعه، از آماره ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و ضریب انحراف نسبی متوسط یا همان میانگین درصد اختلاف بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده (P) استفاده شد. بالاترین مقادیر R^2 و پایین‌ترین مقادیر $RMSE$ و P نشان‌دهنده مناسب‌ترین مدل می‌باشد. $RMSE$ با استفاده از معادله ۲ و P نیز با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2} \quad (2)$$

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|MR_{exp,i} - MR_{pre,i}|}{MR_{exp,i}} \quad (3)$$

که در اینجا $MR_{exp,i}$ ، آماره نسبت رطوبت آزمایشی و $MR_{pre,i}$ ، آماره نسبت رطوبت پیش‌بینی شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد (کاشانی‌نژاد، ۱۳۸۲؛ Doymaz, 2009). پس از تعیین بهترین مدل، به منظور به دست آوردن معادلات عمومی پیش‌گویی‌کننده مشخصات خشک کردن انگور در شرایط مورد آزمایش، ضرایب یا ثابت‌های معادله مورد نظر با استفاده از رگرسیون چند متغیره و با استفاده از نرم افزار SigmaStat نسخه 1.0.0.4 به متغیرهای مورد استفاده در فرایند خشک کردن ربط داده شد. از پارامتر نیمه عمر حذف رطوبت^۳ به عنوان یک متغیر وابسته برای بررسی شدت خشک شدن انگور استفاده شد. نیمه عمر حذف رطوبت زمان لازم برای خروج نیمه اول آب آزاد یعنی $1/2(M_0 - M_e)$ را نشان می‌دهد و با زمان لازم برای رسیدن مقدار MR به عدد ۰/۵ در فرایند خشک کردن معادل می‌باشد. متغیرهایی که نیمه عمر حذف رطوبت را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار دهند بر ضرایب مدل‌های خشک کردن نیز مؤثر خواهند بود (کاشانی‌نژاد، ۱۳۸۲).

1-Coefficient of determination

2-Root Mean Square Error

3-Time of half response

آنالیز آماری

به منظور ارزیابی اثر متغیرهای مورد بررسی (دما، سرعت هوا و پیش تیمار آماده‌سازی) بر زمان خشک شدن انگور، نیمه عمر حذف رطوبت و نیز بر رنگ کشمش (مولفه‌های روشنی (L^*), قرمزی (a^*) و زردی (b^*)) از روش آنالیز واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل استفاده شد. داده‌های به دست آمده به کمک نرم افزار Mstat-C تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

بحث و نتایج

اثر دما، سرعت هوا و پیش تیمار آماده‌سازی بر نسبت رطوبت

اثرات دما، سرعت جریان هوا و پیش تیمار آماده‌سازی بر نسبت رطوبت به ترتیب در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ آمده است. با افزایش دمای خشک کردن در یک سرعت هوای ثابت و برای یک پیش تیمار معین، سرعت کاهش نسبت رطوبت طی زمان خشک شدن، افزایش یافت. این نتایج با نتایج تحقیقات Pahlavanzadeh و همکاران (۲۰۰۲) و Sawhney و همکاران (۲۰۰۹) بر روی انگور مطابقت دارد. مشخص شده است که افزایش دمای خشک کردن پتانسیل تبخیر را افزایش داده و سبب کاهش زمان خشک شدن انگور شده است (Bennamoun & Belhamri, 2006). بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق برای هر پیش تیمار در یک دمای خشک کردن ثابت، با افزایش سرعت جریان هوا و در نتیجه افزایش سرعت خشک شدن، روند کاهش نسبت رطوبت تسریع شده است. Sawhney و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان دادند که افزایش سرعت هوای خشک کردن، سرعت کاهش نسبت رطوبت در انگور را افزایش داده است.

مقابل $1/T$ رسم شد و با استفاده از روش آنالیز رگرسیون، شیب این خط (E_a/RT) محاسبه گردید.

رنگ (مولفه‌های L^* (روشنایی)، a^* (قرمزی) و b^* (زردی))

در این پژوهش، برای استخراج مولفه‌های رنگی از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور، نمونه‌ها در محفظه‌ای به رنگ مشکی با اندازه ابعاد $0/5 \times (عرض) \times 0/5 \times (طول) \times 0/8 \times (ارتفاع)$ متر مکعب قرار گرفتند که برای نورپردازی فضا در آن از سه لامپ فلوروسنت (10W, 6500K) به طول ۴۰ سانتی‌متر استفاده شده بود. تصویرگیری با استفاده از دوربین کنون مدل EOS 1000D ساخت کشور تایوان انجام گرفت که از طریق پورت USB به رایانه متصل بود. دوربین در فاصله ۲۰ سانتی‌متری نمونه‌ها و موازی با آنها بر روی پایه ثابت بود و جهت تصویرگیری از نرم‌افزار اکس زوم براوسر EX 5.0^۱ استفاده شد. سایر ویژگی‌های دوربین برای تصویربرداری در جدول ۲ بیان شده است.

جدول ۲- تنظیمات دوربین برای تصویربرداری

ویژگی	وضعیت
Flash	Off
Zoom	Off
ISO velocity	100
White balance	Fluorescence H
Aperture AV	F/4.5
Macro	On
Shutter speed	1/10 s

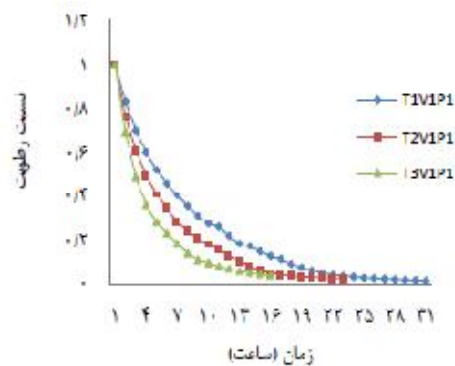
برای تعیین پارامترهای رنگی، پس از به دست آوردن تصاویر با اندازه پیکسل و رزولوشن و فرمت JPEG و در فضای رنگی RGB، تصاویر گرفته شده به وسیله نرم‌افزار فتوشاپ^۲ و برنامه‌های تحت ایمج جی^۳ به تصاویر $L^*a^*b^*$ تبدیل شدند (Sedaghat & Zahedi, 2012).

1-Canon
2-ZoomBrowser EX 5.0
3-Adobe Photoshop software
4-Image J

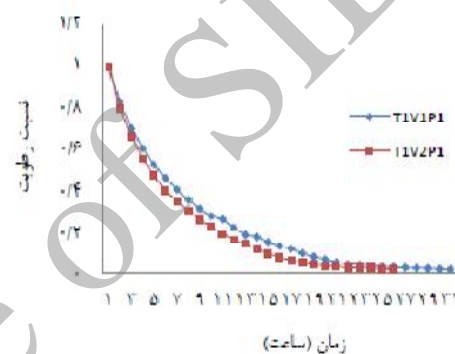
نتایج این تحقیق همچنین بر تأثیر پیش تیمار آماده-سازی بر تغییرات نسبت رطوبت انگور دلالت داشت. در یک دما و سرعت هوای خشک کردن ثابت، در بین پیش تیمارهای به کار رفته، پیش تیمار آماده-سازی کربنات پتاسیم و روغن سبزه بیشترین تأثیر را بر تسریع روند کاهش نسبت رطوبت گذاشت. برخی از میوه‌ها نظیر انگور، آلو، گیلان و حبه‌ها دارای پوستی سفت هستند. برای آب‌گیری موفق این میوه‌ها باید قبل از خشک کردن از طریق ایجاد ترک، منافذی در لایه مومی پوست آنها ایجاد شود. بدین منظور از روش‌های شیمیایی، حرارتی یا مکانیکی به عنوان پیش تیمار آماده‌سازی استفاده می‌شود (Doymaz and Kocayigit, 2011). کوتیکول مومی، مانع اصلی مقاومت‌کننده و کنترل‌کننده انتشار رطوبت در انگور است. استفاده از پیش تیمار آماده‌سازی سبب حل شدن ترکیبات لایه مومی سطح انگور و تغییر ساختار این لایه می‌شود و در نتیجه مقاومت این لایه به نفوذ آب کاهش یافته و سرعت خشک شدن انگور افزایش می‌یابد (Dimatteo et al., 2000; Pangavhane et al., 1999). طبق گزارشات، پیش تیمار حرارتی نیز بر نفوذپذیری غشاء سلولی تأثیر می‌گذارد. به نظر می‌رسد که استفاده از پیش تیمار آب داغ شبکه سلولی را از بین می‌برد و لایه‌های میانی ساختمان میوه را از هم جدا می‌کند (Gerschenson et al., 2001). نتایج بررسی Telis و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان‌دهنده تأثیر پیش تیمار آماده‌سازی کربنات پتاسیم و روغن زیتون بر شدت کاهش نسبت رطوبت انگور بوده است (Telis et al., 2006).

مدل‌سازی خشک کردن انگور

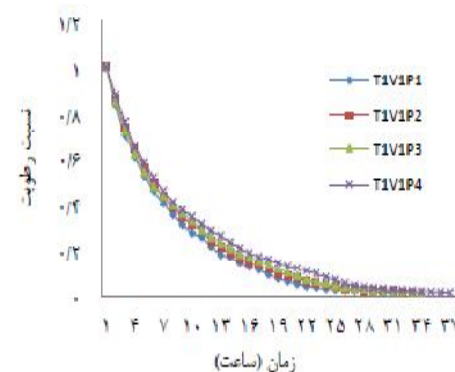
به منظور ارزیابی مدل‌های خشک کردن انگور پس از محاسبه نسبت رطوبت، شش مدل خشک کردن لایه نازک (لوئیس، هندرسون و پایس، پیچ، پیچ اصلاح شده، نمایی دو جمله‌ای و لگاریتمی) به داده‌های آزمایشگاهی برازش شدند. معیارهای R^2 ، RMSE و P برای مقایسه و ارزیابی این مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج برازش نشان داد که تمامی مدل‌های مورد بررسی R^2 بالاتر از ۰/۹۸ داشتند. در بین این مدل‌ها، مدل‌های نمایی دو جمله‌ای و پیچ بالاترین مقادیر R^2 را نشان دادند. مقایسه RMSE و ضریب P حاصل از مدل-



شکل ۱- اثر دما بر نسبت رطوبت (T1 دمای ۶۰ درجه سانتی-گراد، T2 دمای ۷۰ درجه سانتی-گراد، T3 دمای ۸۰ درجه سانتی-گراد، V1 سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه و P1 پیش تیمار آماده-سازی کربنات پتاسیم و روغن سبزه)



شکل ۲- اثر سرعت هوا بر نسبت رطوبت (T1 دمای ۶۰ درجه سانتی-گراد، V1 سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه، V2 سرعت هوای ۲/۵ متر بر ثانیه و P1 پیش تیمار آماده‌سازی کربنات پتاسیم و روغن سبزه)



شکل ۳- اثر پیش تیمار آماده‌سازی در دمای ۶۰ درجه سانتی-گراد بر نسبت رطوبت (T1 دمای ۶۰ درجه سانتی-گراد، V1 سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه، P1 پیش تیمار آماده‌سازی کربنات پتاسیم و روغن سبزه، P2 پیش تیمار آماده‌سازی روغن زیتون، P3 پیش تیمار آماده‌سازی آب داغ، P4 شاهد)

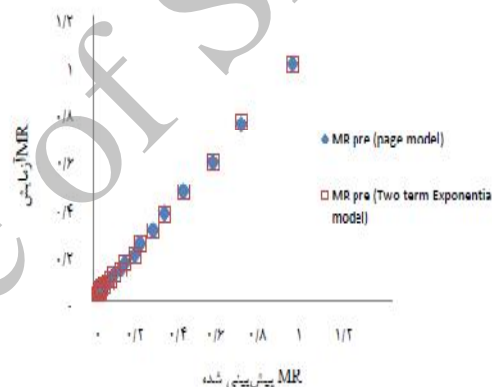
تیمار آماده‌سازی با افزایش ضریب k همراه بوده است به طوری که کمترین مقدار ضریب k مربوط به نمونه شاهد در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه بوده است. با افزایش دمای هوای داغ ضریب n کاهش یافت. تأثیر افزایش سرعت هوا بر ضریب n در دماهای مختلف متفاوت بود. استفاده از پیش‌تیمار آماده‌سازی نیز بر ضریب n موثر بود، کمترین مقادیر ضریب n مربوط به پیش‌تیمار آب داغ بوده است.

جدول ۳- ضرایب مدل پیچ برای تیمارهای مختلف

کد نمونه	K	N
T1V1P1	۰/۱۷۸۹	۰/۹۱۱۴
T1V1P2	۰/۱۵۶۴	۰/۹۳۱۵
T1V1P3	۰/۱۷۰۶	۰/۸۸۱۵
T1V1P4	۰/۱۵۰۷	۰/۸۹۷۸
T1V2P1	۰/۳۱۰۱	۰/۹۱۶۸
T1V2P2	۰/۱۷۹۵	۰/۹۳۶۹
T1V2P3	۰/۱۸۵۷	۰/۹۱۵۵
T1V2P4	۰/۱۶۳۳	۰/۹۰۹۰
T2V1P1	۰/۲۶۷۵	۰/۸۶۴۳
T2V1P2	۰/۲۳۸۸	۰/۸۸۸۳
T2V1P3	۰/۲۵۱۶	۰/۸۵۲۳
T2V1P4	۰/۱۹۸۵	۰/۸۹۲۹
T2V2P1	۰/۲۹۲۸	۰/۸۸۴۶
T2V2P2	۰/۲۸۵۵	۰/۸۶۱۲
T2V2P3	۰/۳۱۰۵	۰/۷۹۷۱
T2V2P4	۰/۲۲۹۰	۰/۸۶۳۴
T3V1P1	۰/۴۰۱۹	۰/۸۰۸۸
T3V1P2	۰/۳۵۹۶	۰/۸۴۴۶
T3V1P3	۰/۳۸۳۴	۰/۷۹۹۳
T3V1P4	۰/۳۳۰۹	۰/۸۲۳۴
T3V2P1	۰/۴۱۹۰	۰/۸۰۲۱
T3V2P2	۰/۳۸۲۰	۰/۸۲۵۷
T3V2P3	۰/۴۰۴۳	۰/۷۸۸۹
T3V2P4	۰/۳۳۶۳	۰/۸۲۷۸

T1 دمای ۶۰، T2 دمای ۷۰ و T3 دمای ۸۰ درجه سانتیگراد، V1 سرعت ۱/۵ و V2 سرعت ۲/۵ متر بر ثانیه، P1 پیش‌تیمار کرنات پتاسیم و روغن سبزه، P2 پیش‌تیمار روغن زیتون، P3 پیش‌تیمار آب داغ، P4 شاهد (بدون پیش‌تیمار آماده‌سازی)

های مختلف نیز نشان داد که کمترین مقادیر RMSE و ضریب P مربوط به مدل‌های دوجمله‌ای و پیچ می‌باشد. بنابراین مدل‌های دوجمله‌ای و پیچ نسبت به سایر مدل‌های مورد مطالعه توانایی بیشتری را در ارزیابی و توصیف رفتار خشک کردن انگور داشتند. نتایج بررسی Sawhney و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان داد که از میان سه مدل مورد بررسی (پیچ، نمایی یک جمله‌ای و دوجمله‌ای) مدل پیچ، مناسب‌ترین مدل برای توصیف رفتار خشک کردن انگور بی‌دانه تامسون بوده است (Sawhney et al., 2009). توانایی مدل پیچ در توصیف رفتار خشک کردن انگور در تحقیقات Pala و Doymaz (۲۰۰۲)، Margaris و Ghiaus (۲۰۰۷) و Zomorodian و Dadashzadeh (۲۰۰۹) نیز گزارش شده است.



شکل ۴- نمایش مقادیر MR آزمایش در برابر MR پیش‌بینی شده از مدل‌های پیچ و دوجمله‌ای برای تیمار T2V2P1 (T2 دمای ۷۰ درجه سانتیگراد، V2 سرعت هوای ۲/۵ متر بر ثانیه، P1 پیش‌تیمار آماده‌سازی کرنات پتاسیم و روغن سبزه)

شکل ۴ منحنی مقادیر MR آزمایش در برابر MR پیش‌بینی شده از مدل‌های پیچ و دوجمله‌ای برای تیمار T2V2P1 (T2 دمای ۷۰ درجه سانتیگراد، V2 سرعت هوای ۲/۵ متر بر ثانیه، P1 پیش‌تیمار آماده‌سازی کرنات پتاسیم و روغن سبزه) و جدول ۳ ضرایب مدل پیچ برای تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود، دمای خشک کردن، سرعت جریان هوا و نوع پیش‌تیمار آماده‌سازی بر مقدار ضرایب مدل پیچ مؤثر بوده است. افزایش دمای هوای خشک‌کن، افزایش سرعت هوای خشک‌کن و نیز استفاده از پیش-

معادلات عمومی به دست آمده مؤید تابعیت ضرایب مدل پیچ به دما و سرعت جریان هوای خشک‌کن می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود نوع پیش تیمار آماده‌سازی مورد استفاده برای انگور نیز بر ضرایب به دست آمده برای این معادلات تأثیرگذار بوده است.

برای هر یک از پیش تیمارهای آماده‌سازی مورد بررسی با استفاده از روش آنالیز رگرسیون چند متغیره ارتباط بین ضرایب معادله پیچ و متغیرهای دما و سرعت جریان هوا مورد ارزیابی قرار گرفت و معادلات عمومی پیش‌گویی‌کننده مشخصات خشک کردن انگور در شرایط مورد آزمایش به دست آمد (جدول ۴ و ۵).

جدول ۴- معادلات عمومی پیش‌گویی‌کننده ضریب K مدل پیچ و مقادیر R² برای پیش تیمارهای مختلف

R ²	معادله	پیش تیمار آماده‌سازی
۰/۹۸۵	$K = -0/51 + 0/108T + 0/245V$	P1
۰/۹۹۴	$K = -0/504 + 0/101T + 0/307V$	P2
۰/۹۸۸	$K = -0/534 + 0/108T + 0/316V$	P3
۰/۹۵۵	$K = -0/416 + 0/0883T + 0/162V$	P4

P1 پیش تیمار کرنات پتاسیم و روغن سبزه، P2 پیش تیمار روغن زیتون، P3 پیش تیمار آب داغ، P4 شاهد (بدون پیش تیمار آماده‌سازی)، دما، V سرعت جریان هوا

جدول ۵- معادلات عمومی پیش‌گویی‌کننده ضریب n مدل پیچ و مقادیر R² برای پیش تیمارهای مختلف

R ²	معادله	پیش تیمار آماده‌سازی
۰/۹۶۲	$n = 1/23 - 0/0543T - 0/0633V$	P1
۰/۹۶	$n = 1/26 - 0/0495T - 0/135V$	P2
۰/۸۰۹	$n = 1/23 - 0/0522T - 0/105V$	P3
۰/۸۹۴	$n = 1/15 - 0/0389T - 0/0463V$	P4

P1 پیش تیمار کرنات پتاسیم و روغن سبزه، P2 پیش تیمار روغن زیتون، P3 پیش تیمار آب داغ، P4 شاهد (بدون پیش تیمار آماده‌سازی)، دما، V سرعت جریان هوا

افزایش دمای خشک کردن و نیز افزایش سرعت هوا کاهش یافت.

اثر دما، سرعت هوا و پیش تیمار آماده‌سازی بر نیمه عمر حذف رطوبت و زمان خشک شدن کشمش

نتایج آنالیز واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تمامی فاکتورهای مورد بررسی و برخی از اثرات متقابل آنها بر نیمه عمر حذف رطوبت بود ($P \leq 0/01$). افزایش دمای خشک کردن و افزایش سرعت هوا نیمه عمر حذف رطوبت را کاهش داد. استفاده از پیش تیمار آماده‌سازی نیز موجب کاهش نیمه عمر حذف رطوبت شد به طوری که بیشترین نیمه عمر حذف رطوبت مربوط به شاهد و کمترین نیمه عمر حذف رطوبت مربوط به پیش تیمار کرنات پتاسیم و روغن سبزه بود. زمان خشک شدن کشمش هم به طور معنی‌داری تحت تأثیر دمای خشک کردن، سرعت هوا و پیش تیمار آماده‌سازی قرار گرفت ($P \leq 0/01$). زمان خشک شدن کشمش با

جدول ۶- اثر دمای خشک کردن، سرعت هوا و پیش تیمار آماده سازی بر نیمه عمر حذف رطوبت و زمان خشک شدن کشمش

فاکتور	سطح	نیمه عمر حذف رطوبت (دقیقه)	زمان خشک شدن (دقیقه)
دما (درجه سانتیگراد)	۶۰	۲۵۶/۹ ^a	۱۸۰/۸ ^a
	۷۰	۱۸۳/۸ ^b	۱۳۷/۹ ^b
	۸۰	۱۲۵/۶ ^c	۱۰۰/۵ ^c
سرعت هوا (متر بر ثانیه)	۱/۵	۱۹۶/۲۵ ^a	۱۴۷/۴ ^a
	۲/۵	۱۸۱/۲۵ ^b	۱۳۳/۰ ^b
پیش تیمار آماده سازی	P1	۱۶۷/۵ ^c	۱۲۴/۹ ^c
	P2	۱۸۵ ^b	۱۳۵/۰ ^b
	P3	۱۷۷/۵ ^{bc}	۱۴۲/۰ ^b
	P4	۲۲۵ ^a	۱۵۷/۰ ^a

P1 پیش تیمار کربنات پتاسیم و روغن سبزه، P2 پیش تیمار روغن زیتون، P3 پیش تیمار آب داغ، P4 شاهد (بدون پیش تیمار آماده سازی) (در هر ستون و برای هر فاکتور، میانگین های دارای حروف مشترک به لحاظ آماری اختلاف معنی داری ندارند)

ضریب نفوذ موثر

بر اساس نتایج به دست آمده، فرایند خشک کردن انگور فقط در مرحله سرعت نزولی رخ داد و نفوذ رطوبت فرایند را کنترل کرده است. نتایج مطالعات محققینی نظیر Sawhney و همکاران (۲۰۰۹)، Azzouz و همکاران (۲۰۰۲) و غلامی و رشیدی (۱۳۸۸) نیز بر خشک شدن انگور در دوره سرعت نزولی دلالت داشت. سرعت اولیه خشک کردن به دلیل تبخیر اولیه آب از نواحی نزدیک سطح بالاتر است و از آنجا که آب برای تبخیر باید از سلول های پارانشیمی فاقد ساختار خارج شده و به سطح بیاید با کاهش مقدار رطوبت، سرعت خشک کردن کاهش می یابد. ناحیه سرعت نزولی بر افزایش مقاومت در برابر انتقال جرم و حرارت به وسیله سلول ها و افزایش ضخامت و سخت شدن سطح پوست و در نتیجه کاهش اثر پدیده نفوذ دلالت دارد (Azzouz et al., 2002).

نتایج بررسی Parin (۲۰۰۴) نیز نشان داد که افزایش دمای خشک کردن سبب افزایش سرعت خشک شدن کنگر پیش تیمار شده با محلول اسید آسکوربیک و بی سولفیت سدیم شد. نتایج آنالیز واریانس حاکی از آن است که استفاده از پیش تیمار آماده سازی نیز با کاهش زمان خشک شدن انگور همراه بوده است. کمترین زمان خشک شدن به پیش تیمار آماده سازی کربنات پتاسیم و روغن سبزه مربوط بود. طی خشک کردن انگور، ضخامت کوتیکول مومی به دلیل پدیده چروکیدگی افزایش یافته و در نتیجه نفوذ پذیری آب کاهش می یابد. پیش تیمار شیمیایی انگور مقاومت پوست را کاهش داده و نفوذ آب در کوتیکول مومی را بهبود می بخشد (Ponting & McBean, 1970). Dimatteo و همکاران (۲۰۰۰) بیان نمودند که غوطه ور سازی انگور در اتیل اولئات سبب حل شدن ترکیبات لایه مومی سطح انگور و تغییر ساختار این لایه می شود و در نتیجه مقاومت این لایه به نفوذ آب کاهش یافته و سرعت خشک شدن انگور افزایش می یابد. Gorjian و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند که استفاده از شوک حرارتی و امولسیون روغن زیتون و کربنات پتاسیم زمان خشک شدن زرشک را به ترتیب ۴۰ و ۶۰ درصد کاهش داد. نتایج آنالیز واریانس همچنین نشان داد که برخی از اثرات متقابل فاکتورهای مورد بررسی بر زمان خشک شدن کشمش معنی دار بوده است. اثر دمای خشک کردن، سرعت هوا و پیش تیمار آماده سازی بر نیمه عمر حذف رطوبت و زمان خشک شدن کشمش در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۷. ضریب نفوذ مؤثر برای خشک کردن انگور در شرایط مختلف

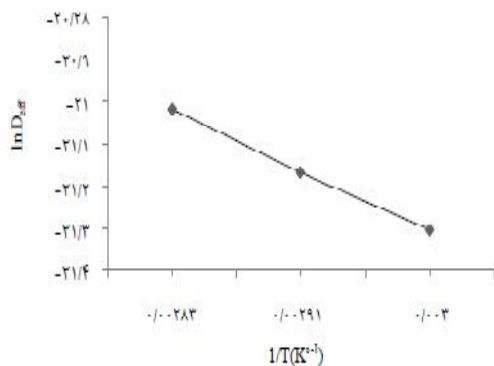
دما (درجه سانتی‌گراد)	سرعت هوا (متر بر ثانیه)	پیش تیمار آماده‌سازی	ضریب نفوذ مؤثر (مترمربع بر ثانیه)
۶۰	۱/۵	P1	$5/6375 \times 10^{-10}$
		P2	$5/2280 \times 10^{-10}$
		P3	$5/0369 \times 10^{-10}$
		P4	$4/6274 \times 10^{-10}$
۲/۵	۱/۵	P1	$6/7977 \times 10^{-10}$
		P2	$6/2790 \times 10^{-10}$
		P3	$5/9924 \times 10^{-10}$
		P4	$5/2007 \times 10^{-10}$
۷۰	۱/۵	P1	$6/7704 \times 10^{-10}$
		P2	$6/5111 \times 10^{-10}$
		P3	$6/0606 \times 10^{-10}$
		P4	$5/3099 \times 10^{-10}$
۲/۵	۱/۵	P1	$7/6986 \times 10^{-10}$
		P2	$7/1526 \times 10^{-10}$
		P3	$6/2244 \times 10^{-10}$
		P4	$5/5556 \times 10^{-10}$
۸۰	۱/۵	P1	$8/1081 \times 10^{-10}$
		P2	$7/4529 \times 10^{-10}$
		P3	$6/7977 \times 10^{-10}$
		P4	$6/5930 \times 10^{-10}$
۲/۵	۱/۵	P1	$8/6541 \times 10^{-10}$
		P2	$7/8488 \times 10^{-10}$
		P3	$7/2345 \times 10^{-10}$
		P4	$6/9342 \times 10^{-10}$

P1 پیش تیمار کربنات پتاسیم و روغن سبزه، P2 پیش تیمار روغن زیتون، P3 پیش تیمار آب داغ، P4 شاهد (بدون پیش تیمار آماده‌سازی)

آماده‌سازی مورد استفاده، پیش تیمار کربنات پتاسیم بیشترین تأثیر را بر افزایش ضریب نفوذ مؤثر رطوبت انگور گذاشت. همان طور که قبلاً ذکر شد کوتیکول مومی، مانع اصلی مقاومت‌کننده و کنترل‌کننده انتشار رطوبت در انگور است. پیش تیمار شیمیایی (داغ یا سرد) مقاومت پوست را کاهش داده و نفوذ آب از لایه مومی را افزایش می‌دهد. نوع پیش تیمار و واریته انگور، به طور معنی‌داری بر رفتار خشک شدن انگور تأثیر می‌گذارد (Pangavhane *et al.*, 1999). نتایج بررسی Dimatteo و همکاران (۲۰۰۰) نیز بر حل شدن ترکیبات لایه مومی سطح انگور در اتیل اولئات و تغییر ساختار این لایه و در نتیجه کاهش مقاومت این لایه به نفوذ آب و افزایش سرعت خشک شدن انگور دلالت داشته است. Gorjian و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند که استفاده از پیش-

در تمامی تیمارهای مورد مطالعه، خط راست با R^2 بیشتر از ۰/۹۷ به داده‌های آزمایشی برازش شد. مقادیر ضریب نفوذ مؤثر در شرایط مختلف برای انگور از 10^{-10} تا $8/6541 \times 10^{-10}$ مترمربع بر ثانیه متغیر بود (جدول ۷). با افزایش دمای خشک کردن و افزایش سرعت جریان هوا در تمامی تیمارهای آماده‌سازی ضریب نفوذ مؤثر افزایش یافت. زمانی که سطح میوه بسیار سریع‌تر از مرکز آن خشک می‌شود تنش‌های درونی افزایش یافته و داخل میوه ترک می‌خورد (Aguilera & Stanley, 1999). به نظر می‌رسد ایجاد این ترک‌ها به ویژه هنگام استفاده از دمای بالا علت افزایش ضریب نفوذ با افزایش دمای خشک کردن بوده است. استفاده از پیش تیمار آماده‌سازی نیز سبب افزایش ضریب نفوذ مؤثر رطوبت شد. در بین پیش تیمارهای

خشک کردن انگور محاسبه گردید. شکل ۶ منحنی لگاریتم ضریب نفوذ مؤثر در برابر $1/T$ را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج محاسبات انجام شده مقدار انرژی فعال-سازي فرایند خشک کردن انگور $13470/83 \text{ J/mol}$ و ضریب نفوذ مینا $10^{-8} \times 8/34$ متر مربع بر ثانیه به دست آمد. مقدار انرژی فعال‌سازی محاسبه شده در دامنه مقادیر گزارش شده برای مواد غذایی $12/7$ تا 110 کیلوژول بر مول قرار دارد (Zogzas et al., 1996).

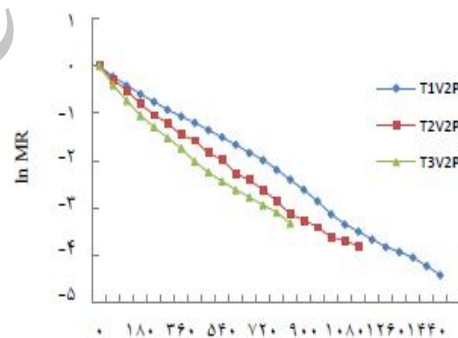


شکل ۶. منحنی لگاریتم ضریب نفوذ مؤثر در برابر $1/T$

اثر دما، سرعت هوا و پیش‌تیمار آماده‌سازی بر رنگ (مولفه‌های L^* (روشنایی)، a^* (قرمزی) و b^* (زردی)) کشمش

رنگ یک ویژگی مهم کیفی مواد غذایی و محصولات کشاورزی است به طوری که تغییرات نامطلوب این ویژگی، می‌تواند سبب کاهش کیفیت و بازارپسندی محصول شود. بالابودن دما یا طولانی شدن زمان خشک کردن در روش‌های متداول خشک کردن با جریان هوا می‌تواند به شدت به رنگ محصول صدمه بزند (Drouzas et al., 1998; Lin et al., 1999). جدول ۸ اثر دمای خشک کردن، سرعت هوا و پیش‌تیمار آماده‌سازی را بر رنگ کشمش نشان می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس نشان-دهنده اثر معنی‌دار دمای خشک کردن و پیش‌تیمار آماده‌سازی بر مولفه رنگی L^* (روشنایی) کشمش بود ($P \leq 0/01$). افزایش دمای خشک کردن L^* را کاهش داد. کاهش روشنی زردآلو با افزایش دمای خشک کردن در بررسی Karabulututa و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شده است. استفاده از پیش‌تیمار آماده‌سازی کربنات پتاسیم و روغن سبزه و پیش‌تیمار آماده‌سازی روغن زیتون با

تیمار شوک حرارتی و امولسیون روغن زیتون و کربنات پتاسیم و افزایش دمای خشک کردن، ضریب نفوذ مؤثر را در طی خشک کردن زرشک افزایش داد. همچنین مقادیر ضریب نفوذ مؤثر برای نمونه‌های تیمار شده با امولسیون روغن زیتون و کربنات پتاسیم بزرگ‌تر از نمونه‌های تیمار شده با آب داغ بود. این نتایج با نتایج به دست آمده برای انگور در این بررسی مطابقت دارد. Vazquez و همکاران (۲۰۰۰) مقدار ضریب نفوذ انگور رقم موسکاتل را در محدوده $10^{-10} \times (1/2-2/8)$ مترمربع بر ثانیه تعیین نمودند (Vazquez et al., 2000). Xiao و همکاران (۲۰۱۰) نیز ضریب نفوذ مؤثر رطوبت انگور بی‌دانه منوکا را طی خشک کردن در دمای هوای ۵۰، ۵۵، ۶۰ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای خشک کردن ۳، ۵، ۷ و ۹ متر بر ثانیه در دامنه $10^{-10} \times 1/82$ تا $10^{-10} \times 5/84$ متر مربع بر ثانیه تعیین نمودند. شکل ۵ منحنی تغییرات $\ln MR$ در مقابل زمان خشک کردن در دماهای مختلف برای سرعت هوای $2/5$ متر بر ثانیه و پیش‌تیمار کربنات پتاسیم و روغن سبزه را نشان می‌دهد.



زمان خشک کردن (دقیقه)

شکل ۵. منحنی تغییرات $\ln MR$ در مقابل زمان خشک کردن در دماهای مختلف (T1 دمای ۶۰، T2 دمای ۷۰ و T3 دمای ۸۰ درجه سانتیگراد، V2 سرعت هوای $2/5$ متر بر ثانیه، P1 پیش‌تیمار کربنات پتاسیم و روغن سبزه)

انرژی فعال‌سازی

نتایج برآورد ضرایب نفوذ مؤثر انگور، بیانگر تابعیت ضریب نفوذ مؤثر رطوبت از دما می‌باشد. با رسم $\ln D_{eff}$ در مقابل $1/T$ و با استفاده از معادله ۷ و ضریب زاویه خط به دست آمده، میانگین انرژی فعال‌سازی برای

کشمش همراه بود. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر سرعت هوا بر زردی کشمش معنی‌دار نبوده است. استفاده از پیش تیمار نه تنها زمان خشک شدن را کاهش می‌دهد بلکه بر پارامترهای اصلی تشکیل رنگ نیز تأثیر می‌گذارد. ترکیبات قلیایی از واکنش پلی‌فنیل ممانعت می‌کنند. محلول‌های آماده‌سازی حاوی روغن نیز زمان خشک کردن را کاهش داده و باعث بهبود رنگ محصول نهایی می‌شوند (Alizadeh Bahaabad & Esmaili, 2012; Esmaili et al., 2007; Mahmutoglo et al., 1996; Simal et al., 1996). نتایج بررسی Alizadeh Bahaabad و Esmaili (۲۰۱۲) نشان داد که با افزایش مقدار کربنات پتاسیم در محلول آماده‌سازی، نسبت قرمزی به زردی کشمش کاهش یافت. کاهش نسبت قرمزی به زردی و افزایش روشنایی در کشمش هنگام استفاده از پیش تیمار کربنات پتاسیم توسط Mahmutoglo و همکاران (۱۹۹۶) نیز گزارش شده است. Simal و همکاران (۱۹۹۶) نشان دادند که نوع ترکیبات مورد استفاده در پیش تیمار آماده‌سازی انگور بر پارامترهای رنگی L ، a و b محصول مؤثر است.

افزایش روشنایی و استفاده از پیش تیمار آماده‌سازی آب داغ با کاهش روشنایی کشمش همراه بود. Esmaili و همکاران (۲۰۰۷) گزارش نمودند که کشمش پیش تیمار شده با محلول قلیایی نسبت به نمونه‌های پیش تیمار شده با آب داغ و سایر محلول‌های آماده‌سازی رنگ روشن‌تری داشت. نتایج بررسی Pahlavanzadeh و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که استفاده از پیش تیمار کربنات پتاسیم سبب روشن‌تر شدن رنگ کشمش نسبت به شاهد شد. نتایج آنالیز واریانس همچنین نشان داد که مولفه رنگی L^* تحت تأثیر سرعت هوا و اثرات متقابل فاکتورهای مورد بررسی قرار نگرفته است. تمامی فاکتورهای مورد بررسی و برخی از اثرات متقابل آنها به طور معنی‌داری بر مولفه رنگی a^* (قرمزی) تأثیر گذاشتند ($P \leq 0.01$). قرمزی کشمش با افزایش دمای خشک کردن افزایش یافت و افزایش سرعت هوا قرمزی کشمش را کاهش داد. به نظر می‌رسد که تأثیر دما بر شدت واکنش‌های قهوه‌ای شدن و نیز تأثیر سرعت هوا بر زمان خشک شدن علت این مسأله باشد. استفاده از پیش تیمار آماده‌سازی کربنات پتاسیم و روغن سبزه و پیش تیمار آماده‌سازی روغن زیتون با کاهش قرمزی کشمش همراه بود. اگر چه استفاده از پیش تیمار آماده‌سازی آب داغ باعث افزایش قرمزی کشمش شد اما نتایج مقایسه میانگین در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری را بین قرمزی کشمش پیش تیمار شده با آب داغ و شاهد نشان نداد. نتایج آنالیز واریانس حاکی از آن است که تأثیر دمای خشک کردن، پیش تیمار آماده‌سازی و برخی از اثرات متقابل فاکتورهای مورد بررسی بر مولفه رنگی b^* (زردی) معنی‌دار بوده است ($P \leq 0.01$). افزایش دمای خشک کردن از ۶۰ درجه سانتی‌گراد به ۷۰ درجه سانتی‌گراد زردی کشمش را افزایش داد اما استفاده از دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد منجر به کاهش زردی کشمش شد. افزایش زردی زردآلو با افزایش دمای خشک کردن از ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد و کاهش زردی این محصول هنگام استفاده از دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد برای خشک کردن، توسط Karabulut و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شده است. استفاده از پیش تیمار آماده‌سازی کربنات پتاسیم و روغن سبزه و پیش تیمار آماده‌سازی روغن زیتون با افزایش معنی‌دار زردی

جدول ۸. اثر دمای خشک کردن، سرعت هوا و پیش تیمار آماده سازی بر رنگ (مولفه های L* (روشنایی)، a* (قرمزی) و b* (زردی))

فاکتور	سطح	L* (روشنایی)	a* (قرمزی)	b* (زردی)
دما (درجه سانتیگراد)	۶۰	۸۷/۶۶ ^a	-۱/۴۴ ^c	۱/۴۳ ^b
	۷۰	۸۵/۶۲ ^{ab}	-۰/۷۵ ^b	۱/۶۱ ^a
	۸۰	۸۴/۱۹ ^b	-۰/۵۰ ^a	۰/۵۰ ^c
سرعت هوا (متر بر ثانیه)	۱/۵	۸۵/۹۸ ^a	-۰/۵۳ ^a	۱/۱۷ ^a
	۲/۵	۸۵/۶۶ ^a	-۰/۶۰ ^b	۱/۱۹ ^a
پیش تیمار آماده سازی	P1	۸۷/۳۳ ^a	-۰/۷۷ ^b	۱/۴۰ ^a
	P2	۸۶/۸۳ ^{ab}	-۰/۶۵ ^b	۱/۳۹ ^a
	P3	۸۴/۴۲ ^c	-۰/۴۰ ^a	۱/۰۴ ^b
	P4	۸۴/۷۱ ^{bc}	-۰/۴۴ ^a	۰/۹۹ ^b

P1 پیش تیمار کربنات پتاسیم و روغن سبزه، P2 پیش تیمار روغن زیتون، P3 پیش تیمار آب داغ، P4 شاهد (بدون پیش تیمار آماده سازی) (در هر ستون و برای هر فاکتور، میانگین های دارای حروف مشترک به لحاظ آماری اختلاف معنی داری ندارند)

توانایی بیشتری را در ارزیابی و توصیف رفتار خشک کردن انگور نشان دادند. افزایش دمای خشک کردن و افزایش سرعت جریان هوا و همچنین استفاده از پیش تیمار آماده سازی، افزایش ضریب نفوذ مؤثر رطوبت را به دنبال داشت. مطلوب ترین مقادیر روشنی و قرمزی مربوط به انگور خشک شده در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و بیشترین مقادیر زردی مربوط به کشمش خشک شده در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد بود. تاثیر سرعت جریان هوا تنها بر قرمزی معنی دار شد. افزایش سرعت جریان هوا کاهش قرمزی را به دنبال داشت. در بین پیش تیمارهای به کار رفته، پیش تیمار کربنات پتاسیم و روغن سبزه باعث رنگ بهتر کشمش شد.

قدردانی

از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد و شرکت شهرک های صنعتی خراسان رضوی برای کمک های مالی و فراهم نمودن امکانات انجام تحقیق قدردانی می شود.

Gorjian و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند که دمای خشک کردن به طور معنی داری بر رنگ زرشک تأثیر گذاشت در حالی که اثر سرعت هوا بر تغییرات رنگ این محصول معنی دار نبود. افزایش قرمزی و زردی و کاهش روشنایی محصول طی فرایند خشک کردن انگور توسط Serratos و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شده است.

نتیجه گیری

پارامترهای دما، سرعت جابجایی هوای گرم و روش آماده سازی اولیه انگور، از جمله عوامل اصلی مؤثر بر فرایند خشک شدن انگور محسوب شده و نقش مهمی را در کیفیت محصول نهایی ایفا می کنند. نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر بر تأثیر فاکتورهای دما، سرعت هوا و پیش تیمار آماده سازی بر رفتار خشک شدن انگور و رنگ کشمش دلالت داشت. افزایش دما و سرعت هوای خشک کردن و نیز استفاده از پیش تیمار آماده سازی موجب کاهش زمان خشک کردن و افزایش آهنگ خشک شدن انگور شد. در بین مدل های مورد مطالعه مدل های دوجمله ای و پیچ

منابع

- ۱- شفافی زنونیان، م. ۱۳۸۶. کاربرد شبکه‌های عصبی و پردازش تصویر در مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل فرایند خشک کردن کدو حلوائی به روش ترکیبی اسمز-جریان هوا. پایان‌نامه دکتری. دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- ضرابی، م. ۱۳۷۷. تعیین پارامترهای طراحی در خشک کردن انگور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳- غلامی پرشکوهی، م. و رشیدی، م. ۱۳۸۸. تاثیر دما، سرعت جابجایی هوا و روش آماده‌سازی در فرایند خشک شدن انگور بی‌دانه قرمز. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، دوره ۶، شماره ۱۳: ۲ تا ۲۲.
- ۴- کاشانی نژاد، م. ۱۳۸۲. بهینه‌سازی فرایند خشک کردن پسته. پایان‌نامه دکترای علوم و صنایع غذایی. دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۵- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، روش اندازه‌گیری رطوبت در خشکبار، استاندارد ملی شماره ۶۷۲.
- 6- Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., and Samimi-Akhijahani, H. 2008. Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of berberis fruit (Berberidaceae). *Energy Conversion and Management*, 49: 2865–2871.
- 7- Aguilera, J.M., and Stanley, D.W. 1999. *Microstructural principles of food processing and engineering* (2nd ed.). Gaithersburg: Aspen Publishers.
- 8- Alizadeh Bahaabad, G., and Esmaili, M. 2012. Effects of different dipping solutions and storage conditions on the color properties of raisin. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 12 (10): 1311-1315.
- 9- Azzouz, S., Guizani, A., Jomaa, W., and Belghith, A. 2002. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. *Journal of Food Engineering*, 55:323-330.
- 10- Barbosa-candvas, G., and Vega-Mercado, H. 1996. *Dehydration of food*. Champ & Hall, New York.N.Y.
- 11- Bennamoun, L, and Belhamri, A. 2006. Numerical simulation of drying under variable external conditions: application to solar drying of seedless grapes. *Journal of Food Engineering*, 76: 179–87.
- 12- Canellas, J., Rosselb, C., Simal, S., Soler, L., and Mulet, A. 1993. Storage conditions affected quality of raisins. *Journal of Food Science*, 58: 805-809.
- 13- Crank, J. 1975. *The mathematics of diffusion*. Oxford, England: Clarendon Press.
- 14- Dimatteo, M., Cinquanta, L., Galiero, G., Crescitelli, S. 2000. Effect of a novel physical pretreatment process on drying kinetics of seedless grapes. *Journal of Food Engineering*, 46 (2): 83–9.
- 15- Doymaz, I. 2009. An experimental study on drying of green apples. *Drying Technology*, 27: 478–485.
- 16- Doymaz, I., and Kocayigit, F. 2011. Drying and rehydration behaviours of convection drying of green peas. *Drying Technology*, 29 (11): 1273-1282.

- 17- Doymaz, I., and Pala, M. 2002. The effects of dipping pretreatment on air-drying rates of seedless grapes. *Journal of Food Engineering*, 52: 423-427.
- 18- Drouzas, A.E., Tsami, E., and Saravacos, G.D. 1999. Microwave vacuum drying of model fruits gels. *Journal of Food Engineering*, 63: 679–683.
- 19- Esmaili, M., Sotudeh-gharebagh, R., Cronin, K.E., Mousavi, M.A., and Rezazadeh, A. 2007. Grape drying, a review. *Food Reviews International*, 23: 257-280.
- 20- Gerschenson, L.N., Rojas, A.M., and Marangoni, A.G. 2001. Effect of processing on kiwi fruit dynamic rheological behaviour and tissue structure. *Food Research International*, 34: 1–6.
- 21- Gorjian, S.H., Tavakkoli Hashjin, T., Khoshtaghaza, M.H., and Nikbakh, A.M. 2011. Drying kinetics and quality of barberry in a thin layer dryer. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13: 303-314.
- 22- Karabulut, I., Topcub, A., Durana, A., Turanb, S., Ozturk, B. 2007. Effect of hot air drying and sun drying on color values and b-carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.). *LWT Food Science and Technology*, 40 :753–758.
- 23- Lin, T.M., Durance, T.D., and Scaman, C.H. 1998. A Characterisation of vacuum microwave air and freeze dried carrots slices. *Food Research International*, 4: 111–117.
- 24- Mahmutoglu, T., Emir, F., and Saygi, Y.B. 1996. Sun/Solar drying of differently treated grapes and storage stability of dried grapes. *Journal of Food Engineering*, 29: 289-300.
- 25- Margaris, D.P., and Ghiaus, A.G. 2007. Experimental study of hot air dehydration of Sultana grapes. *Journal of Food Engineering*, 79: 1115–1121.
- 26- 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. *Journal of Food Processing and Preservation*, 19 (1): 1-8.
- 27- Pahlavanzadeh, H., Basiri, A., and Zarrabi, M. 2002. Grape drying. *Scientia Iranica*, 9 (1): 66-70.
- 28- Pangavhane, D.R., Sawheny, R.L., and Saravardia, P.N. 1999. Effect of various dipping pretreatments on drying kinetics of Thompson seedless grapes. *Journal of Food Engineering*, 39 (2): 211-216.
- 29- Parin, H. 2004. Effect of pretreatment and air temperature on the dry rate, rehydration capacity and color of artichoke. MSc. Thesis. The graduate school of natural and applied science of Middle East Technical University.
- 30- Ponting, J.D., and McBean, D.M. 1970. Temperature and dipping treatment effect on drying rates and drying times of grapes, prunes and other waxy fruits. *Food Technology*, 24: 1403-1406.
- 31- Sawheny, R.L., Pangavhane, D.R., and Sarsavardia, P.N. 2009. Drying studies of single layer Thompson seedless grapes. *International Solar Food Processing Conference*. January 14-16, 2009, Indore, India.
- 32- Sedaghat, N., and Zahedi, Y. 2012. Application of edible coating and acidic washing for extending the storage life of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of Food Science and Technology International*, 18 (6): 523-530.

- 33- Serratos, M.P., Lopez-Toledano, A., Marquez, A.A., Medina, M., and Merida, J. 2010. Influence of dipping pretreatments on drying of Pedroximenez grapes in chamber at controlled temperature. *Quarterly. Viticulture & Enology, University of Torino*, 31: 191-196.
- 34- Simal, S., Rossello, C., Sanchez, E., and Canellas, J. 1996. Quality of raisins treated and stored under different conditions. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 44: 3297-3302.
- 35- Telis, V.R.N., Lourençon, V.A., and Gabas, A.L. 2006. Drying rates of Rubi grapes submitted to chemical pretreatments for raisin production. *Pesquisa Agropecuari Brasileira Braslia*, 41 (3): 503-509.
- 36- Tutuncu, M.A., and Labuza, T.P. 1996. Effect of geometry on the effective moisture transfer diffusion coefficient. *Journal of Food Engineering*, 30: 433-447.
- 37- Vazquez, G., Chenlo, R., and Costoyas, A. 2000. Effect of various treatments on the drying kinetics of Muscatel grape. *Drying Technology*, 18 (9): 2131-2144.
- 38- Xiao, H.W., Pang, C.L., Wan, L.H., Bai, J.W., Yang, W.X., and Gao, Z.J. 2010. Drying kinetics and quality of Monukka seedless grapes dried in an air-impingement jet dryer. *Biosystems Engineering*, 105: 233-240.
- 39- Zogzas, N.P., Maroulis, Z.B., and Marinos-Kouris, D. 1996. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *Drying Technology*, 14 (10): 2225-2253.
- 40- Zomorodian, A.A and Dadashzadeh, M. 2009. Indirect and mixed mode solar drying mathematical models for sultana grape. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 11: 391-400.

Archive.org

Study the effect of different pretreatments on thin layer drying of grape and the color of obtained raisin

Azam Ayoubi^{1*}, Naser Sedaghat², Mehdi Kashaninejad³

1-Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural College, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

*Coressponding author (mayoubi80@yahoo.com)

2-Associated Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural College, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3-Associated Professor, Department of Food Science and Technology, Agriculture Science and Natural Resorces University of Gorgan. Gorgan, Iran

Abstract

The purpose of this research was to study the effect of thin layer drying conditions (temperature at three levels of 60,70, and 80 °C, air velocity at two levels of 1/5 and 2/5 m/s, and four pretreatments including potassium carbonate and Paksan drying oil, olive oil, hot water without pretreatment (control)) on cabinet drying process of grape and color of obtained raisin. Six mathematical models were fitted on drying data and the best one was selected according to coefficient of determination (R^2), Root Mean Square Error (RMSE) and coefficient of relative average deviation (P). The results showed that temperature, air velocity and pretreatment have significant effects on drying rate and color of raisin. Among these models, two term and page models showed more ability to evaluating and describing drying behavior of grape. Diffusion coefficient values were between $4/6274 \times 10^{-10}$ to $8/6541 \times 10^{-10}$ m/s² and activation energy obtained 13470/83 J/mol. The best values of lightness and redness were related to dried raisin at 60 °C and the maximum value of yellowness was related to dried raisin at 70° C. Drying air velocity just significantly affected the redness. Increasing drying air velocity decreased the redness. It was also found out that potassium carbonate and Paksan drying oil pretreatment caused the best raisin color.

Keywords: Diffusion coefficient, Grape, Pretreatment, Raisin, Thin layer drying