

بررسی اثر دما و سرعت جریان هوا بر برخی از ویژگی‌های برش‌های گلابی در طول فرایند خشک‌شدن و استفاده از پردازش تصویر

یونس خورشیدی¹، داود کلانتری^{2*}، علی اصغری³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
 2- عضو هیأت علمی گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
 3- عضو هیأت علمی گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
 * نویسنده مسئول (d.kalantari@sanru.ac.ir)

تاریخ دریافت: 1395/06/01

تاریخ پذیرش: 1395/11/14

واژه‌های کلیدی

پردازش تصویر

تغییرات رنگ

چروکیدگی

گلابی

pH

چکیده

خشک‌کردن محصولات کشاورزی یکی از مهم‌ترین فرایندها برای نگهداری طولانی‌مدت این محصولات می‌باشد. لذا در پژوهش حاضر، اثر پارامترهای دما و سرعت جریان هوا بر تغییرات رنگ، چروکیدگی و pH برش‌های نازک گلابی رقم درگزی با قطر متوسط 60 میلی‌متر و ضخامت 5 میلی‌متر در حین خشک‌شدن مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌ها در 4 سطح دمای هوای خشک‌کن 50، 60، 70 و 80 درجه سانتی‌گراد و 3 سطح سرعت جریان هوای ورودی 0/5، 1 و 1/5 متر بر ثانیه انجام پذیرفت. نتایج حاصل از پردازش تصویر نشان داد که بالاترین میزان تغییرات رنگ کلی (30/78) مربوط به دمای خشک‌کردن 80 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای 1/5 متر بر ثانیه و پایین‌ترین میزان آن (14/38) مربوط به دمای 50 درجه سانتی‌گراد و سرعت 0/5 متر بر ثانیه می‌باشد. نتایج بیانگر آن بود که pH نمونه‌ها در طول خشک‌کردن کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار pH در دمای 50 درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای 0/5 متر بر ثانیه به میزان 4/49 و کمترین مقدار pH در دمای 80 درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای 1/5 متر بر ثانیه به میزان 3/93 به دست آمد. باتوجه به نتایج حاصل از مطالعه حاضر، کمترین زمان خشک‌شدن با کمترین تغییرات صفات کیفی در دمای 70 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای 0/5 متر بر ثانیه اتفاق افتاد، لذا این شرایط به‌عنوان مناسب‌ترین دما و سرعت جریان برای خشک‌کردن برش‌های گلابی توصیه می‌گردد.

مقدمه

برداشت یا قبل و بعد از آن (در اثر ریزش قبل از برداشت میوه گلابی یا صدمات پس از برداشت ناشی از ضربات مکانیکی) از ارزش اقتصادی آن می‌کاهد. لذا فراوری آن به‌جای عرضه مستقیم محصول به بازار با هدف دستیابی به ارزش اقتصادی بالاتر به‌عنوان یکی از موارد علمی قابل بحث و تحقیق مطرح می‌شود. در همین راستا یکی از روش‌های فراوری میوه گلابی، خشک‌کردن آن است. محصولات خشک‌شده را

ایران با داشتن انواع مختلفی از میوه‌های پرمصرف، یکی از منابع مهم تولید میوه در دنیا محسوب می‌شود. یکی از این میوه‌ها گلابی¹ بوده که به علت دارا بودن مقدار قابل توجهی از ویتامین‌های C و E، کلسیم، آهن، منیزیم و روی دارای اهمیت ویژه‌ای است. لیکن ایجاد خراش و لکه روی میوه در حین

¹ Pyrus Communis L

می‌انجامد. تغییرات شیمیایی در رنگدانه‌های کارتنوئیدی و کلروفیل به دلیل اثر حرارت‌دهی در حین خشک‌کردن صورت می‌گیرد. تحقیق‌های انجام‌شده نشان می‌دهد هرچه مدت خشک‌کردن طولانی‌تر و دما بالاتر باشد، تغییرات رنگ شدیدتر خواهد بود (اسماعیلی ادبی و همکاران، 1395). زمانی که دما افزایش یابد، ظرفیت نگهداری رنگ کاهش می‌یابد. سینتیک واکنش‌های تخریب رنگ، اغلب از سینتیک واکنش درجه اول تبعیت می‌کند (Fellows, 1990).

برای تعیین کیفیت مواد غذایی روش‌های سنتی مبتنی بر ارزیابی حسی کاربرد زیادی دارند. ولی این روش‌ها زمان‌بر و به علت استفاده از نیروی انسانی پرهزینه هستند. لذا انگیزه برای توسعه روش‌های جانمایی که در زمان کمتر و با دقت بیشتر خصوصیات کلیدی محصول را ارزیابی کند، درحال توسعه و گسترش است (کارگذاری، 1386). پردازش تصویر یکی از این روش‌هاست. در پردازش تصویر با استفاده از بعضی عملیات ریاضی نظیر تشخیص لبه به وسیله گرادیان و یا اعمال فیلترهای مناسب، ویژگی‌های تصویر نظیر لبه‌ها، خطوط انحناء، گوشه‌ها و مرزها را می‌توان استخراج کرد. استخراج این ویژگی‌ها، نمایش و تحلیل تصویر را آسان‌تر می‌سازد. در مرحله انتهایی پردازش تصویر، با استفاده از ویژگی‌های استخراج‌شده از تصویر می‌توان از روش‌های دیگری مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی برای آنالیزهای بعدی و گسترده‌تر استفاده نمود (کارگذاری، 1386). 3 مدل رنگی RGB، $L^*a^*b^*$ و CMYK برای تعیین رنگ مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این میان، مدل $L^*a^*b^*$ بیشترین کاربرد را دارد. این مدل در سال 1971 به وسیله کمیسیون بین‌المللی روشنایی¹ به عنوان یک استاندارد بین‌المللی برای اندازه‌گیری رنگ شناخته شد (CIE, 1986).

یکی از مهم‌ترین پارامتر تغییر رنگ محصول خشک‌شده نسبت به محصول خام (قبل از خشک‌شدن) که از مدل رنگی $L^*a^*b^*$ قابل استخراج

می‌توان بدون اینکه فاسد شوند، برای مدت طولانی نگهداری کرد (کاوسی، 1391). بسیاری از فعالیت‌های بیولوژیکی و شیمیایی در محیط بدون آب یا با آب کم متوقف یا کند می‌شوند. به همین دلیل یکی از اساسی‌ترین اهداف خشک‌کردن محصولات کشاورزی، کاهش درصد رطوبت تا یک حد خاص می‌باشد که فعالیت‌های میکروبی و زوال ناشی از فعل‌وانفعالات شیمیایی، به طور اساسی کمترین باشد (محمدی و همکاران، 1387).

خشک‌کردن گلابی به روش سنتی و به کمک تابش خورشید دارای مشکلات بهداشتی فراوانی از قبیل قرارگرفتن در معرض انواع حشرات، کرم‌ها، موش، پرندگان و گردوغبار می‌باشد. صرف‌نظر از مشکلات بهداشتی، این شیوه خشک‌کردن به میزان زیادی به شرایط آب‌وهوایی نیز وابسته است (مهرآور، 1387). از طرف دیگر رشد روزافزون جمعیت و نیاز بیش‌ازپیش به مواد غذایی و در پی آن محدودیت‌های منابع انرژی مورد نیاز جهت فراوری آنها و همچنین افزایش هزینه‌های انرژی در سالهای اخیر، اهمیت توجه به بهینه‌کردن فرایند خشک‌کردن میوه‌ها و توجه به ضایعات و تلفات محصولات کشاورزی و منابع فراوری آنها را آشکار ساخته است.

نکته مهم دیگر در فرایند خشک‌کردن محصولات کشاورزی، بررسی شاخص‌های کیفی در مواد غذایی و محصولات کشاورزی خشک‌شده می‌باشد. به همین دلیل فرایند خشک‌کردن باید به گونه‌ای صورت گیرد که کمترین تغییرات را در شاخص‌های کیفی محصول ایجاد نماید. این شاخص‌ها می‌توانند شامل تغییرات فیزیکی نظیر اندازه، بافت، pH، چروکیدگی، سفتی و تغییرات شیمیایی نظیر واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن، تغییر رنگ، تغییر در ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه، چربی‌ها، و اکسیداسیون در مواد باشند (Okos et al., 1992). در فرایند خشک‌کردن، ویژگی‌های سطح خارجی و در نتیجه بازتاب نور و رنگ محصول تغییر می‌کند. بررسی تغییرات رنگ از آنجا اهمیت دارد که این فاکتور جزء اولین شاخص‌های کیفی فرآورده‌های خشک‌شده است که از سوی مصرف‌کننده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و به پذیرش یا عدم‌پذیرش محصول تولیدشده

¹ CIE

تصویر به کمک نرم‌افزار Image J نسخه 1.46r مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت تا بهترین دما، زمان خشک‌کردن و سرعت جریان هوای گرم که تأثیر سویی بر کیفیت محصول نداشته باشد، تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق میوه گلابی تازه رقم درگزی از بازار توزیع میوه شهر گرگان تهیه گردید. کلیه نمونه‌ها جهت کاهش میزان تنفس و تغییرات فیزیولوژیکی و شیمیایی در داخل یخچال با دمای 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (حیدری و نصیری، 1394).

آزمون خشک کردن

در این آزمایش از یک خشک‌کن نوع جابجایی هوای گرم نشان‌داده‌شده در شکل (1) استفاده گردید. این خشک‌کن از یک فن سانتریفیوژ برای ایجاد جریان هوا، یک دیمر برای کنترل سرعت جریان هوا، 4 گرم‌کن برقی 500 وات جمعاً به قدرت 2000 وات برای گرم‌کردن هوای ورودی به محفظه خشک‌کن به همراه محفظه توزین و عکس‌برداری و چندین حسگر دما تشکیل شده است. برای اندازه‌گیری سرعت جریان هوا از سرعت‌سنج (Lutron AM-4216) ساخت تایوان استفاده شد. نحوه اندازه‌گیری سرعت جریان هوا بدین‌صورت بود که پایه حسگر سرعت‌سنج در نقاط مختلف کانال ورودی هوا قرار داده‌شده و سرعت‌ها قرائت گردید. برای رسیدن شرایط سیستم به حالت پایدار، کلیه آزمایش‌ها 30 دقیقه بعد از روشن‌کردن خشک‌کن شروع می‌شد. برای انجام آزمایش اصلی، دمای هوای خشک‌کن در 4 سطح مختلف 50، 60، 70 و 80 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای ورودی در 3 سطح 0/5، 1 و 1/5 متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. نمونه‌های گلابی به‌وسیله دستگاه کالباس‌ر به‌صورت برش‌های نازک با ضخامت 5 میلی‌متر برش داده شدند (محمدی و همکاران، 1390). کلیه نمونه‌ها دارای پوست و فاقد هسته بودند.

باتوجه به تغییر قطر میوه گلابی در مقاطع مختلف، از هر میوه فقط 2 برش با قطرهای تقریباً مساوی در آزمون خشک‌کردن مورد استفاده قرار گرفت تا نسبت

است، شاخص تغییر رنگ کلی ΔE می‌باشد. این شاخص نشان‌دهنده برآیند کلی تغییر رنگ نمونه‌های خشک‌شده نسبت به نمونه خام قبل از خشک‌شدن می‌باشد. تغییرات رنگی که در کل فرایند خشک‌کردن رخ می‌دهد، می‌تواند به علت‌های مختلفی مانند تخریب رنگدانه‌ها، قهوه‌ای‌شدن اسیدآسکوربیک و واکنش قهوه‌ای‌شدن میلارد صورت گیرد. کاروتن‌ها رنگدانه‌های موجود در مواد غذایی هستند که به آنها رنگ می‌دهند. در فرایند خشک‌کردن مواد غذایی این رنگ‌دانه‌ها در اثر حرارت دیدن به تدریج از بین‌رفته و موجب تغییر رنگ مواد غذایی می‌گردند.

Pedreschi و همکاران (2006) برای اندازه‌گیری رنگ چپیس سبب‌زمینی از پردازش تصویر در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ استفاده کردند. آنها تصاویر به‌دست‌آمده در حالت RGB را با استفاده از نرم‌افزار متلب¹ به فضای رنگی $L^*a^*b^*$ انتقال دادند.

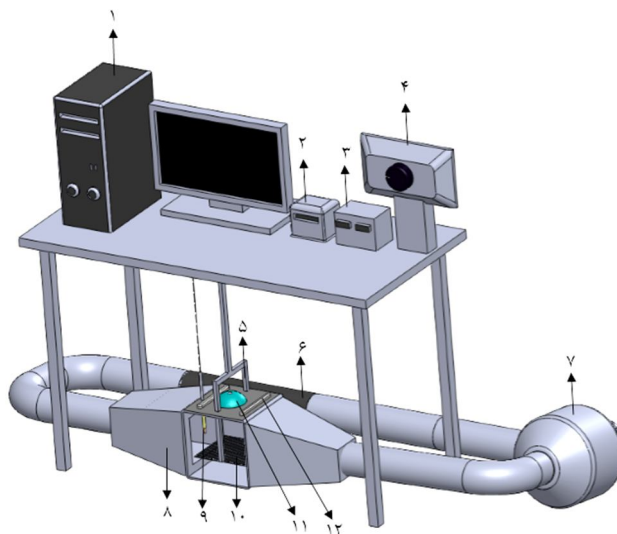
در پژوهش دیگری، Baloch و همکاران (2006) اثر اتمسفر کنترل‌شده و نحوه خشک‌شدن را در نگهداری خرما مورد آزمایش قرار دادند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در طی نگهداری، تیرگی و اسیدیته نمونه‌ها افزایش و pH کاهش می‌یابد. اسماعیلی ادبی و همکاران (1395) به بررسی تغییرات خصوصیات کیفی آلون‌ورا در یک خشک‌کن بازگردشی هوای گرم پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که شاخص ΔE و pH در طی خشک‌شدن با افزایش دما و سرعت جریان هوای گرم افزایش می‌یابد.

در کشور ما به‌دلیل فراوری سنتی و پایین‌بودن سطح فناوری، هزینه تولید میوه‌های خشک بالا بوده و از سوی دیگر میوه خشک‌شده کیفیت ظاهری و ترکیبات مؤثر خود را طی فرایند خشک‌کردن، به‌طور قابل ملاحظه‌ای از دست می‌دهد که این مسئله به‌طور جدی بر مصرف و صادرات آن تأثیرگذار است. لذا در تحقیق حاضر تأثیر پارامترهای دما و سرعت جریان هوای گرم روی تغییر رنگ و خواص کیفی برش‌های نازک میوه گلابی به کمک تصویربرداری بلادرنگ (عکس‌برداری هم‌زمان با خشک‌شدن محصول) و آنالیز

¹ Matlab

خشک کردن، 10 برش گلابی مورد استفاده قرار گرفت.

ثابت سطح به پوست در لایه‌های برش خورده حفظ گردد. قطر متوسط نمونه‌های برش خورده 60 میلی‌متر با انحراف استاندارد 2 میلی‌متر بود. برای هر آزمون



شکل 1- طرحواره خشک کن آزمایشگاهی مورد استفاده: (1) رایانه (2) داده بردار دما (3) داده بردار وزن (4) کنترل کننده سرعت جریان هوا (5) لودسل (6) گرمکن (المنت) (7) دمنده (فن سانتریفیوژ) (8) محفظه توزین و عکس برداری (9) حسگر دما (10) سینی نمونه‌ها (11) دوربین دیجیتال (وبکم) (12) لامپ

خشک شدن تا زمان ثابت شدن تقریبی وزن برش‌های نازک گلابی ادامه داشت. بدین صورت که داده‌های وزن نمونه‌های در حال خشک شدن به‌طور پیوسته با فاصله زمانی 1 ثانیه به رایانه منتقل می‌شد و توسط اپراتور مورد بازبینی قرار می‌گرفت. زمانی که برای 10 دقیقه متوالی داده‌های وزنی به صورت ثابت و نامتغیر به رایانه می‌آمد، اپراتور فرایند خشک شدن را متوقف نموده، زمان خشک شدن را ثبت و آزمون‌های بعدی مانند اندازه‌گیری pH را با خارج کردن نمونه از داخل محفظه خشک کن انجام می‌داد.

محاسبه کسر رطوبتی

در بیشتر پژوهش‌ها، مطالعه خشک کردن براساس شاخص کسر رطوبتی (MR) گزارش شده است که علت اصلی آن کاهش پراکندگی داده‌های خروجی می‌باشد. در پژوهش حاضر نیز برای محاسبه کسر رطوبتی برش‌های گلابی در طول فرایند خشک شدن از رابطه (1) استفاده شد (Akpınar *et al.*, 2003).

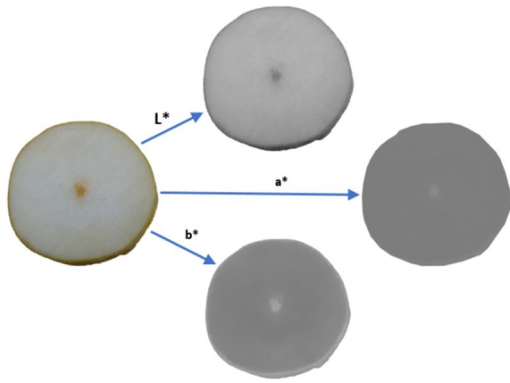
رابطه (1)

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e}$$

میزان رطوبت اولیه نمونه‌ها به روش قراردادن در داخل آن آزمایشگاهی در دمای 105 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن نمونه‌ها به وزن ثابت، تعیین گردید (Ertekin & Yaldiz, 2004).

نمونه‌ها روی سینی توری شکل خشک کن قرار داده شدند. این توری به صورت معلق در فضای خشک کن به زیر لودسل (Camos.v1 با دقت $\pm 0/001$ گرم) آویزان بودند تا امکان وزن کردن نمونه‌ها بدون خارج کردن آنها از داخل خشک کن میسر باشد که یکی از نکات قابل توجه در تحقیق حاضر می‌باشد. وزن نمونه‌ها به‌طور پیوسته با فاصله زمانی 1 ثانیه توسط لودسل متصل به رایانه اندازه‌گیری و توسط نرم‌افزار کاموس¹ ثبت گردید (Guine, 2006). برای حذف نویز ایجاد شده در داده‌های وزن نمونه به‌خاطر جریان باد، لودسل دستگاه در هر ثانیه تعداد 20 بار اندازه‌گیری وزن را انجام می‌داد که با میانگین‌گیری از 1200 داده وزنی ثبت شده در هر دقیقه، وزن نمونه در آن دقیقه در نظر گرفته می‌شد.

¹ Camos.v1



شکل 2- تبدیل فضای رنگی RGB به فضای رنگی L*a*b*

تغییرات کلی رنگ ΔE طبق رابطه (3) محاسبه شد. در این رابطه، تفاضل هر یک از مؤلفه‌های رنگی با کمیت‌های مربوط به پیش از خشک‌شدن، به‌عنوان مبنای محاسبه شاخص اختلاف رنگ قرار می‌گیرد. رابطه (3)

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

به‌طوری‌که مؤلفه L^* (شدت روشنایی تصویر) با محدوده صفر (سیاه) تا 100 (سفید)، مؤلفه a^* (قرمزی) نامحدود با طیف رنگی سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) و مؤلفه b^* (زردی) نامحدود با طیف رنگی آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) می‌باشد (زمانی قلعه‌شاهی و همکاران، 1391؛ Yam et al., 2004).

نکته قابل توجه در پردازش تصاویر اخذ شده از محصول در حال خشک‌شدن این است که حرکت غیریکنواخت آب از داخل میوه به سطح برش‌خورده موجب تغییرات غیریکنواخت رطوبت در سطح میوه، همچنین تمرکز غیریکنواخت املاح، قندها و رنگدانه‌ها روی سطح بیرونی نمونه‌های برش‌خورده می‌گردد که به‌صورت تغییرات رنگی یا تغییرات روشنایی در سطح میوه قابل مشاهده است. برای کاهش این خطا در تحقیق حاضر، متوسط تغییرات روشنایی و رنگ 3 منطقه از سطح میوه مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل (3) نمونه‌ای از سطح میوه خشک‌شده ارائه گردیده که در آن 3 ناحیه نشان‌داده شده دارای اختلاف رنگ هستند.

به‌طوری‌که MR کسر رطوبتی (بدون بعد)، M_t میزان رطوبت لحظه‌ای محصول در حال خشک‌شدن (بر پایه تر)، M_e رطوبت تعادلی محصول (بر پایه تر) و M_0 محتوای رطوبت اولیه برش‌های نازک گلابی (بر پایه تر) می‌باشد. براساس پژوهش‌های انجام‌شده، در محصولاتی که دارای رطوبت اولیه زیادی در حد 80 درصد یا بیشتر بوده و رطوبت نهایی آنها پس از خشک‌شدن به 8 تا 10 درصد و حتی کمتر کاهش می‌یابد، رابطه (1) به‌صورت رابطه (2) ساده می‌گردد. در نتیجه برای محاسبه کسر رطوبتی نیازی به اندازه‌گیری رطوبت تعادلی (M_e) نیست (Doymaz, 2004).

رابطه (2)

$$MR \cong \frac{M_t}{M_0}$$

پردازش تصویر برای ارزیابی تغییر رنگ محصول در حین خشک‌شدن

هدف کلی در این مرحله شناسایی ویژگی‌هایی از تصویر بود که بتوان از آنها برای ارزیابی تغییرات رنگ محصول در حین خشک‌شدن استفاده نمود. بدین‌منظور بالای سینی حاوی محصول در حال خشک‌شدن (توری معلق)، یک دوربین دیجیتال (Webcam-7-Pro_1.0.5.2) نصب شد تا امکان عکس‌برداری از نمونه‌ها بدون خارج کردن آنها از داخل خشک‌کن میسر باشد (شکل 1). توسط دوربین مذکور در هر دقیقه یک فریم از نمونه‌ها عکس‌برداری شده و به‌صورت خودکار در کامپیوتر و در فضای رنگی RGB با فرمت JPEG ذخیره گردید. سیستم نورپردازی از 3 لامپ فلورسنت 10 وات تشکیل شده بود که در اطراف اتاقک عکس‌برداری قرار داشتند. فاصله لامپ‌ها با نمونه 24 سانتی‌متر بود. تصویربرداری با دوربین ذکر شده در فاصله 20 سانتی‌متری نمونه‌ها انجام شد. برای استخراج اطلاعات مربوط به تغییر رنگ، ابتدا در نرم‌افزار آنالیز تصویر Image J، تصویر میوه گلابی خشک‌شده از زمینه جدا گردید. سپس فضای رنگی RGB با استفاده از پلاگین CoLoR-Space-Convertor به فضای رنگی L*a*b تبدیل گردید (Yam et al., 2004; Pedreschi et al., 2008) (شکل 2).

گلابی آسیاب شده توسط یک آسیاب خانگی با 100 میلی لیتر آب مقطر به صورت محلول درآمده و برای مدت 15 دقیقه توسط شیکر با دور 50 دور در دقیقه هم زده شد. سپس بعد از 15 دقیقه استراحت دادن به محلول، آن به وسیله دستگاه pH متر اندازه گیری گردید (Rodriguez et al., 2017). برای اندازه گیری pH محصول خشک شده، نمونه ها پس از خشک شدن از خشک کن خارج و در هاون کوبیده شدند. سپس pH نمونه ها مشابه نمونه های قبل از خشک شدن در دمای محیط اندازه گیری و ثبت گردید.

محاسبه های آماری

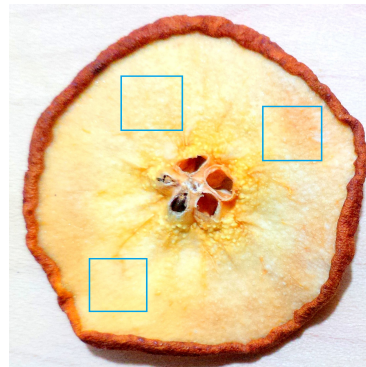
آنالیز آماری داده ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با فاکتورهای دمای خشک کردن در 4 سطح و سرعت جریان هوای گرم در 3 سطح و در 3 تکرار انجام گرفت. آنالیز واریانس جهت ارزیابی اثرات دما و سرعت جریان هوای خشک کن روی کسر رطوبتی، تغییرات ابعادی (چروکیدگی)، تغییرات رنگ، pH و زمان خشک شدن انجام گرفت. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح اطمینان 99 درصد صورت گرفت. به منظور انجام محاسبه های آماری از نرم افزار SAS 9.2 استفاده گردید.

برای ارزیابی برازش مدل ارائه شده برای چروکیدگی از بسته نرم افزاری MATLAB نسخه R2013a استفاده شد. برای بررسی کیفی مدل چروکیدگی ارائه شده از 3 معیار ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و مجموع مربعات خطا (SSE) استفاده شد (حیدری و نصیری، 1394).

نتایج و بحث

بررسی تغییر رنگ نمونه های برش خورده گلابی طی زمان خشک شدن

میانگین تغییرات رنگ برش های گلابی در حین خشک شدن به صورت تابعی از زمان در شکل های (5) تا (7) نشان داده شده است. در این شکل ها، تغییر رنگ نمونه های برش خورده گلابی در فضای رنگی L^*a^*b به همراه تغییرات کسر رطوبتی ارائه شده



شکل 3 - اختلاف در رنگ سطحی نمونه برش خورده گلابی خشک شده

اندازه گیری چروکیدگی محصول در حال خشک شدن برای استخراج اطلاعات مربوط به چروکیدگی، ابتدا در نرم افزار آنالیز تصویر Image J، تصویر میوه گلابی خشک شده از زمینه جدا گردید. سپس سطح تصویر جدا شده به پیکسل های سیاه تبدیل و در نهایت مساحت آن در نرم افزار یاد شده به دست آمد (شکل 4). درصد چروکیدگی لحظه ای محصول (در لحظه خشک شدن t) توسط رابطه (4) محاسبه گردید.

$$sh = \frac{A_t}{A_0} \times 100$$

به طوری که sh درصد چروکیدگی، A_t سطح مقطع نمونه در حال خشک شدن و A_0 سطح مقطع نمونه قبل از خشک شدن می باشد (شکل 4).



شکل 4 - تصویر عکس برداری شده از نمونه اولیه برش گلابی در لحظه قبل از خشک شدن (چپ)، تصویر مساحت استخراج شده از نمونه اولیه (وسط) و تصویر مساحت استخراج شده از نمونه در حال خشک شدن در لحظه t (راست)

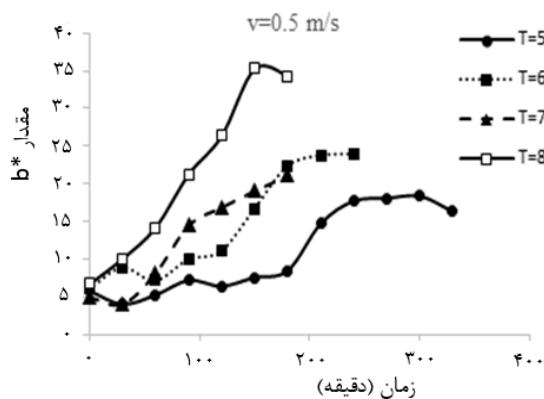
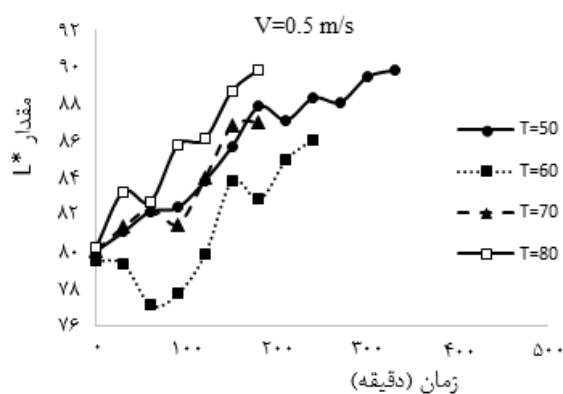
اندازه گیری pH

برای اندازه گیری pH از یک دستگاه pH متر (WTW- inoLab 720) ساخت کشور آلمان استفاده گردید. برای این منظور قبل از خشک شدن، 5 گرم از نمونه

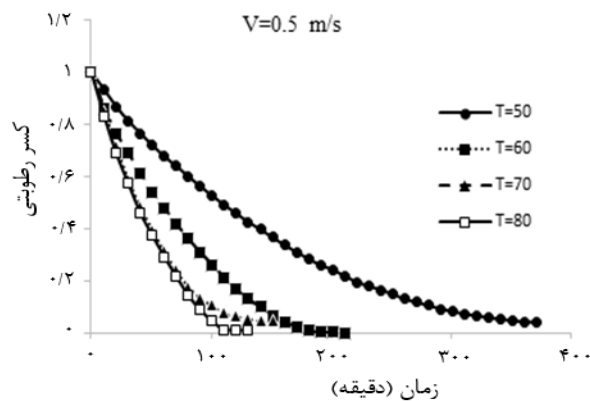
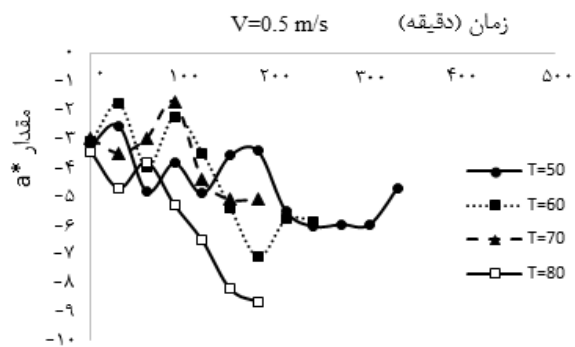
و سرعت جریان هوای 0/5 متر بر ثانیه (شکل 5) برابر با 7/5 درصد و در دمای 80 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای 0/5 متر بر ثانیه برابر با 12/5 درصد می‌باشد که نشان‌دهنده افزایش نرخ تغییرات روشنایی با افزایش دما می‌باشد. نکته دیگر اینکه مقدار تغییرات پارامتر b^* در دماهای 60 و 70 به هم نزدیک بوده و مقدار تغییرات این پارامتر در دمای 80 درجه سانتی‌گراد بیشتر از دماهای 50، 60 و 70 درجه سانتی‌گراد است. باتوجه به نتایج تحقیق‌های انجام‌شده توسط سایر محققین که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد، تغییرات پارامترهای L^* ، a^* و b^* در فرایند خشک‌کردن، از محصولی به محصول دیگر فرق می‌کند و باید این پارامترها برای هر محصولی به‌طور مجزا بررسی و ارزیابی گردد. به‌طور مثال نتایجی که از تغییرات پارامترهای $L^*a^*b^*$ در تحقیق‌های Nindoa و همکاران (2003) در مورد خشک‌کردن مارچوبه به‌دست آمد، نشان داد که پارامتر L^* در طول خشک‌کردن کاهش و دو پارامتر دیگر افزایش می‌یابد (Nindo *et al.*, 2003)، در صورتی که در فرایند خشک‌کردن نمونه‌های گلابی مورد آزمون، پارامترهای L^* و b^* افزایش و پارامتر a^* کاهش یافت. در کار تحقیقاتی دیگری که توسط Koca و همکاران (2007) انجام شد، در طول خشک‌کردن هویج هر 3 پارامتر کاهش یافتند و با افزایش دما شدت تغییرات آنها افزایش یافت (Koca *et al.*, 2007). در تحقیقی که Alibas (2007) روی کدوتنبل انجام داد، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که هر 3 پارامتر L^* ، a^* و b^* در طول خشک‌کردن کاهش می‌یابند. در تحقیق ایشان بین دو دمای 50 و 70 درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری بین پارامترهای رنگی مشاهده نشده بود (Alibas, 2007). نکته دیگر روند تغییرات غیریکنواخت و سینوس‌وار در منحنی‌های مربوط به پارامترهای رنگی است که در شکل‌های (5) تا (7) قابل مشاهده می‌باشد. علت این موضوع، عدم یکنواختی تغییرات رنگ روی سطوح برش‌خورده میوه در حال خشک‌شدن است که می‌تواند ناشی از حرکت نامتقارن آب و املاح و عناصر محلول در آن از داخل به سطح میوه باشد که اجتناب‌ناپذیر بوده و به غیریکنواختی رنگ سطوح خارجی میوه در حال

است. نتایج ارائه‌شده در شکل‌های (5) تا (7) حاکی از آن است که در ساعت‌های اولیه خشک‌شدن، میزان روشنایی (L^*) با گذشت زمان و خارج‌شدن رطوبت، روبه‌افزایش بوده است. باتوجه به مثبت‌بودن مقدار اولیه b^* در شکل (5)، نمونه‌های برش‌خورده گلابی مورد آزمون دارای طیف اولیه زرد بودند که در اثر وجود کارتونئید در بافت میوه می‌باشد. به‌طور نمونه، مقدار اولیه b^* در شکل (5) به‌طور متوسط برابر با 5 می‌باشد. افزایش تون رنگی زرد در بافت میوه باعث انعکاس بیشتر نور و روشن‌ترشدن بافت میوه می‌گردد. ازطرف مقابل، چنانچه پارامتر رنگی b^* منفی شود، نشان‌دهنده وجود طیف رنگی آبی در بافت بوده که انعکاس نور را کاهش داده و منجر به کاهش روشنایی بافت میوه یا ماده غذایی می‌گردد. به‌همین دلیل همسببودن پارامتر روشنایی L^* با پارامتر رنگی b^* دور از ذهن نیست، چرا که بررسی و تأمل در نتایج دیگر محققین مانند Koca و همکاران (2007) و Alibas (2007) نیز نشان می‌دهد که به‌طور معمول نحوه تغییرات روشنایی بافت در حال خشک‌شدن یعنی L^* و پارامتر رنگی b^* همسو هستند (یعنی هردو به‌طور هم‌جهت در حال افزایش یا کاهش می‌باشند) که این نتیجه در کار تحقیقاتی حاضر نیز مشهود است. باتوجه به نتایج نشان‌داده‌شده در شکل (5)، در دمای خشک‌کردن 50 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای 0/5 متر بر ثانیه، مقدار b^* تا دقیقه 230 افزایش یافته، سپس تا زمان 300 دقیقه ثابت و پس از آن شروع به کاهش نموده است. در دمای 80 درجه سانتی‌گراد نیز از لحظه 150 دقیقه مقدار b^* تمایل به کاهش دارد. کاهش نهایی طیف رنگی زرد می‌تواند ناشی از آسیب رنگ‌دانه‌ها در اثر حرارت‌دهی زیاد باشد که به قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی نسبت داده شده است. علت دیگر افزایش روشنایی بافت لایه‌های برش‌خورده میوه گلابی در ساعت‌های اولیه می‌تواند ناشی از حرکت قند حلال در آب به سمت سطح میوه باشد که پس از تبخیر آب از سطح میوه، موجب تشکیل یک لایه قندی چسبناک و صیقلی در سطح میوه گردیده که انعکاس نور را افزایش می‌دهد. میانگین افزایش روشنایی سطح برش‌خورده میوه گلابی در دمای 50 درجه سانتی‌گراد

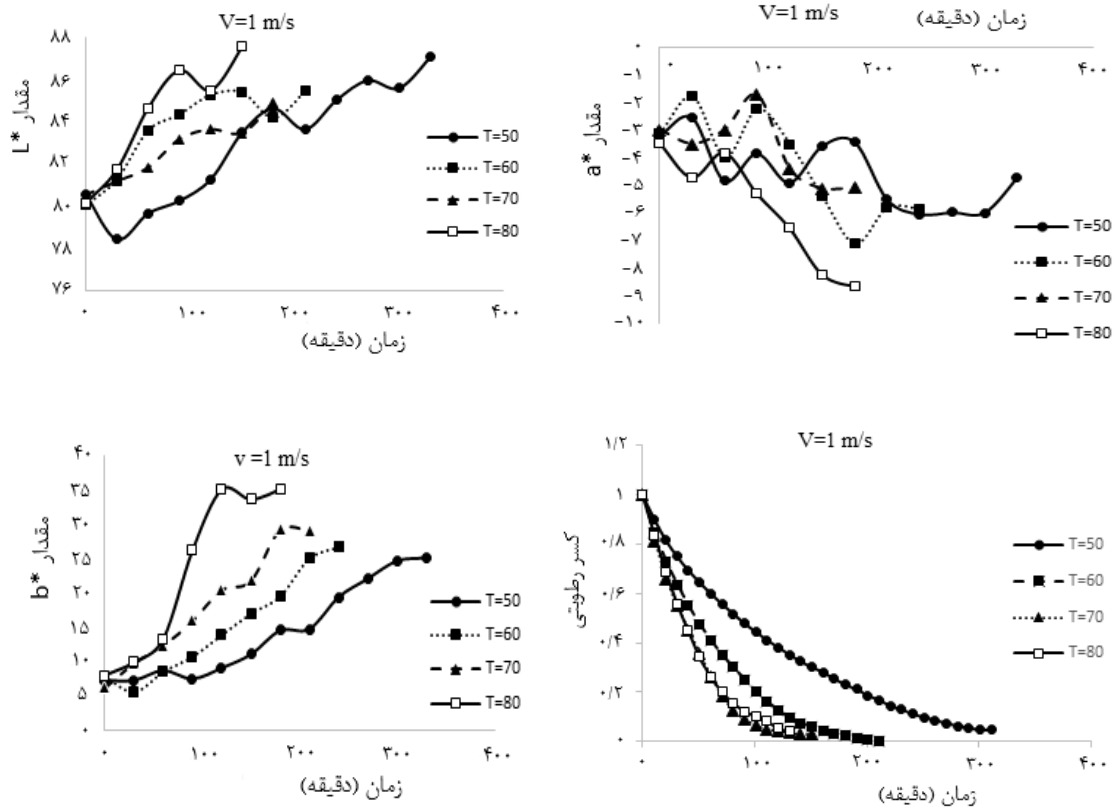
250 دقیقه با کمی نوسان به بالا و پایین تقریباً ثابت مانده است. با پذیرفتن این نکته که برش‌های اولیه گلابی دارای مقدار اندکی زمینه رنگی سبز بودند، با شروع خشک‌شدن و حرکت آب میان‌بافتی به سمت لایه‌های فوقانی سطح برش‌خورده میوه، مقدار بیشتری از این کلروفیل به همراه قندهای حلال در آب به سطح برش‌خورده میوه رسیده و کمی تون رنگی سبز سطح آزاد میوه را افزایش داده است. با توجه به اعداد نشان‌داده‌شده در این نمودار این افزایش تون رنگی سبز بسیار اندک است، چرا که مقادیر منفی a^* از صفر تا -120 قابل تغییر بوده ولی در شکل (5) تغییرات پارامتر a^* فقط از -3/5 به حدود -7 کاهش یافته است.



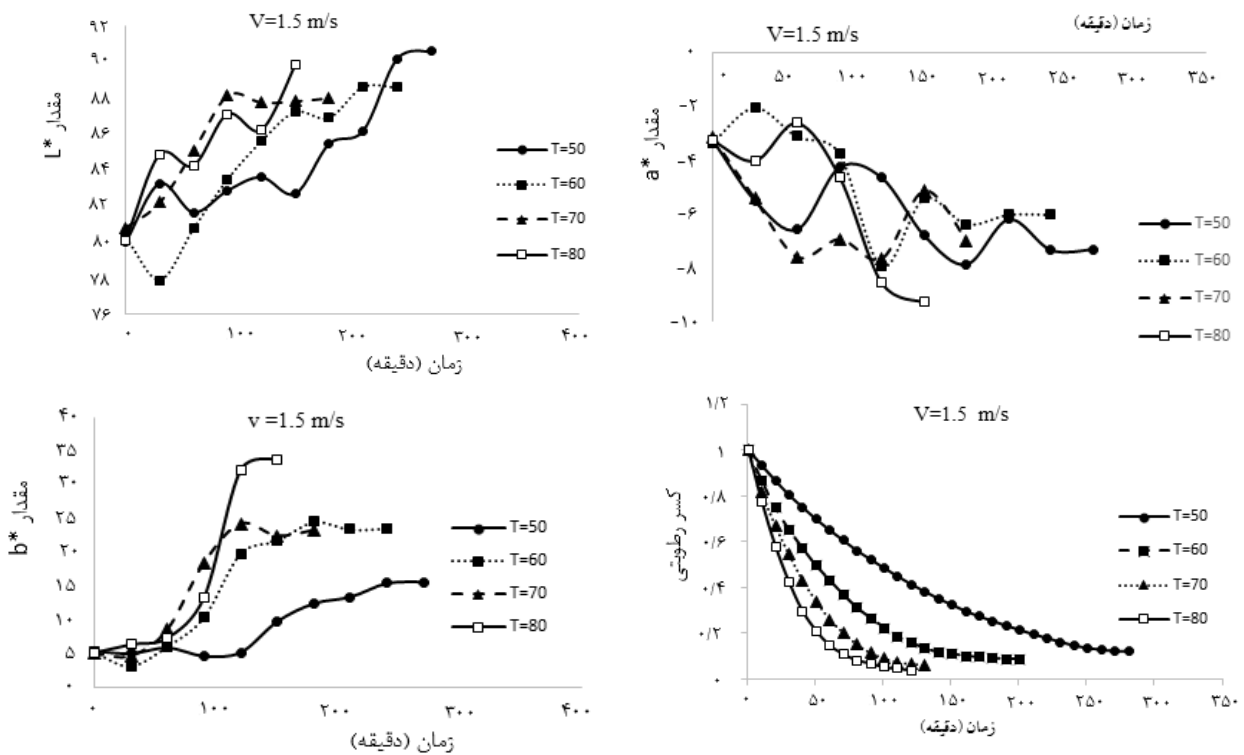
خشک‌شدن منجر می‌شود. نتایج ارائه‌شده در شکل (5) نشان می‌دهد که میزان پارامتر رنگی a^* طی فرایند خشک‌کردن کاهش می‌یابد (افزایش طیف رنگی سبز) به طوری که شدت این تغییرات در دماهای بالاتر بیشتر است. اگر به مقادیر اولیه مربوط به پارامتر رنگی a^* در لحظه قبل از خشک‌شدن توجه شود، مشخص می‌گردد که با توجه به منفی بودن مقدار عددی پارامتر فوق، نمونه‌های برش‌خورده گلابی دارای طیف اولیه سبز هستند که در اثر وجود کلروفیل در بافت میوه می‌باشد. مقدار اولیه a^* در شکل (7) برابر با -3/5- است که مقدار آن در 120 دقیقه اول خشک‌کردن به -7 کاهش یافته و پس از آن تا زمان خشک‌کردن



شکل 5- روند تغییرات پارامتر L^* ، a^* ، b^* و کسر رطوبتی لایه‌های برش‌خورده گلابی در سرعت جریان هوای 0/5 متر بر ثانیه و دماهای مختلف نسبت به زمان



شکل 6- روند تغییرات پارامتر L^* ، a^* ، b^* و کسر رطوبتی لایه‌های برش‌خورده گلابی در سرعت جریان هوای 1 متر بر ثانیه و دماهای مختلف نسبت به زمان



شکل 7- روند تغییرات پارامتر L^* ، a^* ، b^* و کسر رطوبتی لایه‌های برش‌خورده گلابی در سرعت جریان هوای 1/5 متر بر ثانیه و دماهای مختلف نسبت به زمان

ارائه شده است. باتوجه به نتایج ارائه شده در جدول (1)، در طی مدت زمان خشک شدن کامل برش‌های گلابی، بیشترین اختلاف رنگ کلی مربوط به دمای 80 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان 1/5 متر بر ثانیه می‌باشد که برابر با 30/78 به دست آمد. به همین ترتیب کمترین مقدار اختلاف رنگ کلی برش‌های گلابی مربوط به دمای 50 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان 0/5 متر بر ثانیه بود که برابر با 14/38 به دست آمد. باتوجه به نتایج نشان داده شده در جدول (1)، تغییرات دما تأثیر بیشتری در روند اختلاف رنگ نمونه‌های گلابی نسبت به سرعت جریان هوای ورودی دارد.

بررسی تأثیر دما و سرعت جریان هوا بر شاخص اختلاف رنگ کلی (ΔE) در نمونه‌های برش خورده گلابی

باتوجه به نتایج آنالیز واریانس انجام گرفته، اثر مستقل دما، سرعت جریان هوای ورودی و اثر متقابل سرعت و دما (سرعت×دما) بر میزان شاخص اختلاف رنگ (ΔE) در انتهای خشک شدن در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود. افزایش پارامتر تغییر رنگ کلی ΔE را می‌توان به واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی نسبت داد (زمانی قلعه‌شاهی و همکاران، 1391). باتوجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل دما و سرعت جریان هوا روی شاخص اختلاف رنگ کلی (ΔE) در انتهای خشک شدن، نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول (1)

جدول 1 - نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت و دما بر شاخص اختلاف رنگ (ΔE) میوه گلابی

سرعت (متر بر ثانیه)			دما
1/5	1	0/5	(درجه سانتی‌گراد)
16/28 ^e	15/32 ^f	14/38 ^f	50
19/72 ^d	20/43 ^d	19/42 ^d	60
23/13 ^c	19/76 ^d	17/60 ^e	70
30/78 ^a	28/77 ^b	28/60 ^b	80

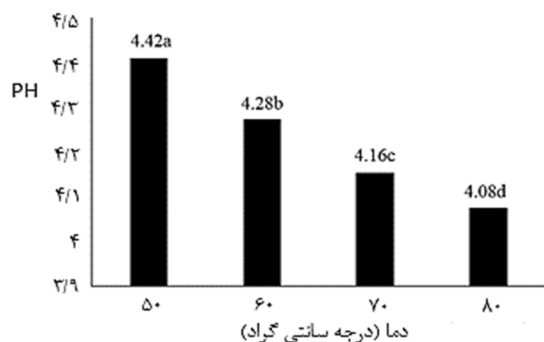
حروف مشابه عدم معنی‌داری بین سطوح مختلف را نشان می‌دهد.

خشک کردن به دلیل از بین رفتن گروه‌های آمینی و همچنین تولید اسیدهای آلی، pH نمونه‌ها کاهش می‌یابد. نتایج به دست آمده با دستاوردهای Madhlopa و همکاران (2002) مطابقت دارد که در آن انبه را به روش خورشیدی خشک کرده و pH آن را نسبت به انبه تازه مقایسه کردند. نتایج تحقیق‌های ایشان نشان داد که pH انبه در طول خشک کردن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

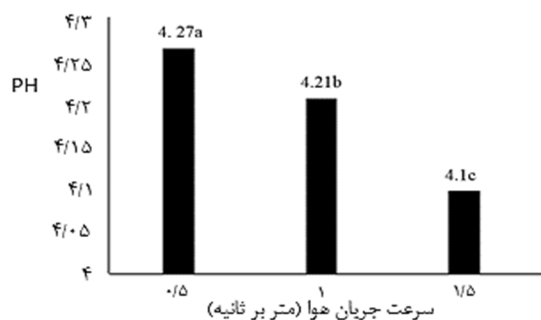
باتوجه به آنالیز آزمایشگاهی، میوه گلابی رقم درگزی دارای pH اولیه‌ای در محدوده 4/55-4/58 بود.

همبستگی بین شاخص اختلاف رنگ کلی (ΔE) و pH برش‌های گلابی در طی فرایند خشک شدن

نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت و دما بر pH میوه گلابی نشان داد که اثر مستقل دما و سرعت جریان هوای ورودی بر میزان کاهش pH در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار و اثر متقابل سرعت و دما (سرعت×دما) معنی‌دار نمی‌باشد، لذا اثر مستقل دما و سرعت جریان هوای ورودی بر کاهش pH در دو شکل مجزای (8) و (9) ارائه گردید. باتوجه به نتایج ارائه شده در شکل‌های (8) و (9)، بیشترین کاهش pH نمونه‌های گلابی مربوط به دمای 80 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان 1/5 متر بر ثانیه می‌باشد. در طی



شکل 8 - اثر دمای خشک‌کردن بر pH میوه گلابی رقم درگری



شکل 9 - اثر سرعت جریان هوا بر pH میوه گلابی رقم درگری

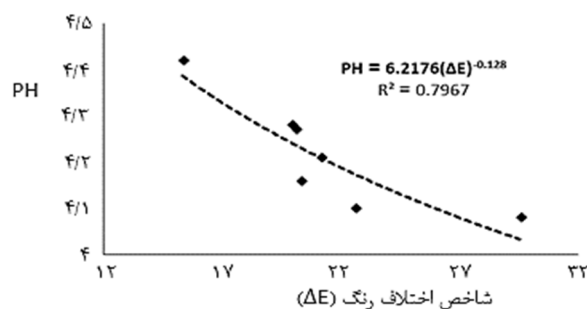
(رابطه 4).

رابطه (4)

$$pH = 6.2176(\Delta E)^{-0.128}$$

مزیت رابطه (4) در این است که یک خاصیت کیفی محصول غذایی (pH) را به یک خاصیت پردازش تصویر با اندازه‌گیری آسان (ΔE) مرتبط می‌سازد.

نحوه تغییرات pH نمونه‌های برش‌خورده میوه گلابی نسبت به تغییرات شاخص اختلاف رنگ (ΔE) در شکل (10) نشان داده شده است. طبق نتایج نشان‌داده‌شده در شکل (10)، با افزایش شاخص اختلاف رنگ (ΔE) مقدار pH لایه‌های برش‌خورده میوه گلابی به صورت یک رابطه توانی کاهش می‌یابد. داده‌های مربوط به pH نشان‌داده‌شده در شکل (10) پس از خشک‌شدن نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است



شکل 10 - همبستگی بین شاخص اختلاف رنگ (EA) و pH میوه گلابی

خشک‌شدن به صورت تابعی از زمان در شکل (11) نشان داده شده است. در شکل (11)، چروکیدگی نمونه‌های برش‌خورده گلابی برای دماها و سرعت‌های مختلف

تغییرات چروکیدگی لحظه‌ای محصول در حال خشک‌شدن تغییرات چروکیدگی سطحی برش‌های گلابی در حین

از میوه‌ها یا محصولات زراعی می‌باشد. در تحقیق‌های Taiwoa و همکاران (2007) نیز ارتباط مستقیم بین میزان چروکیدگی و سرعت خروج رطوبت از محصول در حال خشک‌شدن گزارش شده، اما نتیجه مستقیمی از همبستگی بین دو منحنی چروکیدگی و منحنی سرعت خشک‌شدن اعلام نشده است.

باتوجه به نتایج به دست آمده، بیشترین مقدار چروکیدگی (48/95 درصد) مربوط به دمای خشک‌کردن 80 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان 0/5 متر بر ثانیه می‌باشد. همچنین کمترین مقدار چروکیدگی در دمای 50 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان 0/5 متر بر ثانیه (32/5 درصد) و سرعت 1/5 متر بر ثانیه (33/58 درصد) به دست آمد که اختلاف بین آنها معنی‌دار نبود.

در ادامه داده‌های چروکیدگی در هر لحظه (sh) به همراه زمان خشک‌شدن (t) برحسب دقیقه با استفاده از مدل چندجمله‌ای درجه 3 ارائه شده در رابطه (5) برازش شدند (Ratti, 1994). این برازش در شکل (11) به صورت منحنی‌های با خط توپر نشان داده شده است.

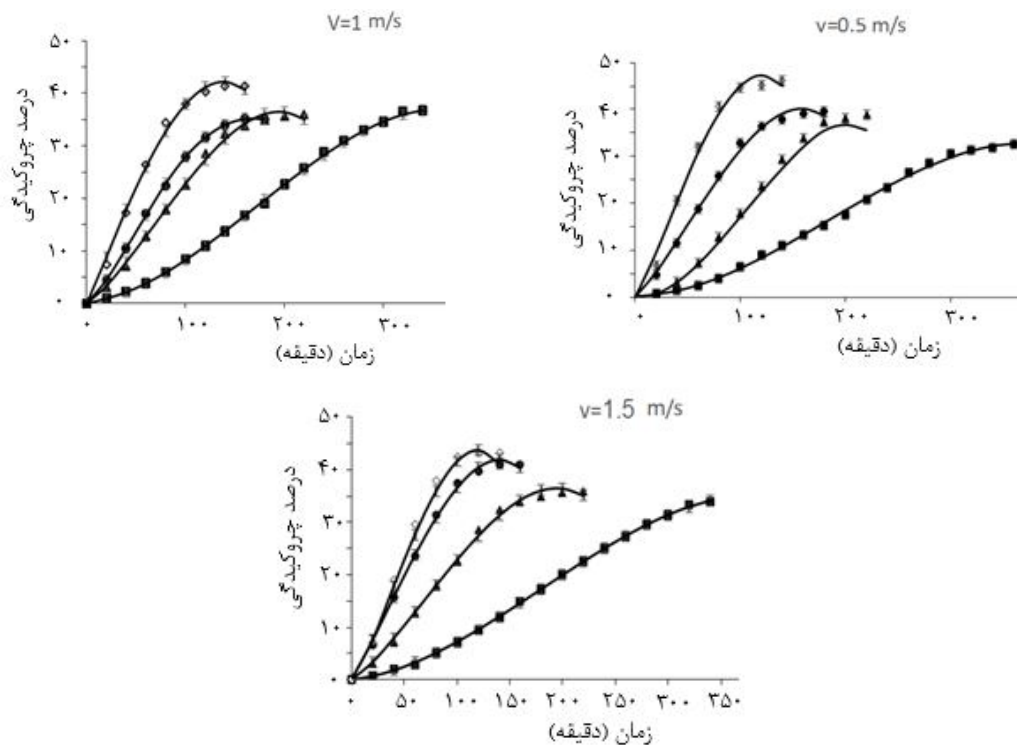
رابطه (5)

$$sh = k_0 + k_1t + k_2t^2 + k_3t^3$$

به طوری که در این رابطه، k ثابت‌های مربوط به چروکیدگی هستند.

میانگین شاخص‌های R^2 ، RMSE و SSE برای مقادیر حاصل از برازش چروکیدگی به ترتیب برابر با 0/9998، 0/052 و 0/028 به دست آمد. مقادیر به دست آمده برای R^2 ، RMSE و SSE نشان می‌دهد که داده‌های آزمایشی مربوط به چروکیدگی نمونه‌های برش‌خورده گلابی به صورت رضایت‌بخشی توسط مدل ارائه شده در رابطه (5) برازش شده است.

جریان هوای گرم ارائه شده است. باتوجه به نتایج نشان داده شده در شکل (11) مشاهده می‌شود که میزان چروکیدگی برش‌های گلابی با افزایش زمان خشک‌شدن و در نتیجه کاهش محتوای رطوبتی، افزایش می‌یابد. به این دلیل که با خارج‌شدن رطوبت، تنش‌های ویسکوالاستیکی در منافذ کاهش یافته و موجب افزایش چروکیدگی محصول می‌گردد (Hatamipour & Mowla, 2002). وقتی در میوه تازه منافذ داخلی از آب پر شده باشد، فشار داخلی در درون سلول‌ها و منافذ افزایش یافته و تنش‌های ویسکوالاستیکی در دیواره سلول‌ها و منافذ داخلی به وجود می‌آید که باعث متورم ماندن میوه می‌گردد. با افزایش زمان خشک‌شدن و کاهش رطوبت داخلی، فشار داخل سلول‌ها و منافذ موئینه داخلی کاهش یافته و در نتیجه تنش‌های ویسکوالاستیکی در دیواره سلول‌ها و منافذ داخلی کاهش می‌یابد. نتیجه این موضوع چروکیدگی میوه می‌باشد. باتوجه به نتایج نشان داده شده در شکل (11)، در مراحل اولیه خشک‌شدن، به علت خروج سریع‌تر رطوبت از محصول، نمونه‌ها متحمل بیشترین درصد چروکیدگی شده‌اند که با انحنای روبه‌بالای منحنی چروکیدگی در لحظات اولیه خشک‌شدن قابل تشخیص است. پس از آن تغییرات چروکیدگی به صورت خطی با زمان خشک‌شدن افزایش یافته و در انتهای مراحل خشک‌شدن، انحنای منحنی چروکیدگی به سمت پایین تغییر یافته و از سرعت چروکیدگی محصول کاسته شده است. احتمال دارد بین نواحی 3 گانه ذکر شده در منحنی چروکیدگی با نواحی 3 گانه منحنی خشک‌شدن (ناحیه خشک‌شدن با سرعت افزایشی در لحظه‌های اول خشک‌شدن، ناحیه خشک‌شدن با سرعت ثابت در لحظات میانی خشک‌شدن و ناحیه خشک‌شدن با سرعت نزولی در مراحل انتهایی خشک‌شدن) همبستگی معنی‌داری وجود داشته باشد که نیازمند آزمون‌های بیشتری برای تعداد قابل توجهی



شکل 11 - تغییر چروکیدگی در طی خشک‌شدن با دماهای مختلف، نقاط حاصل از داده‌های آزمایشگاهی و برازش با رابطه (5):
 ■ T=50°C; ▲ T=60°C; ● T=70°C; ◇ T=80°C

مربوط به مقایسه میانگین‌ها در جدول (2) ارائه شده است. در جدول (2)، بیشترین مدت زمان برای خشک‌شدن نمونه‌های برش‌خورده گلابی مربوط به دمای 50 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان 0/5 متر بر ثانیه می‌باشد. همچنین کمترین مدت زمان برای خشک‌شدن نمونه‌های برش‌خورده گلابی مربوط به دمای 80 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان 1/5 متر بر ثانیه بود که برابر با 128/33 دقیقه به‌دست آمد.

تأثیر پارامترهای دما و سرعت جریان هوای ورودی بر زمان خشک‌شدن میوه گلابی
 باتوجه به نتایج آنالیز واریانس، اثر مستقل دما، سرعت جریان هوای ورودی و اثر متقابل سرعت و دما (سرعت×دما) بر زمان خشک‌شدن نمونه‌های برش‌خورده میوه گلابی در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود. باتوجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل دما و سرعت جریان هوا در سطح احتمال 1 درصد، نتایج

جدول 2 - نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت و دما بر زمان خشک‌شدن میوه گلابی

سرعت (متر بر ثانیه)		دما (درجه سانتی‌گراد)	
1/5	1	0/5	80
300 ^c	340 ^b	408/33 ^a	50
228/33 ^d	236/66 ^d	240 ^d	60
158/33 ^f	168/33 ^{ef}	180 ^e	70
128/33 ^g	140 ^g	161 ^{ef}	80

حروف مشابه عدم معنی‌داری بین سطوح مختلف را نشان می‌دهد.

هوای داغ تحت تأثیر دما و سرعت جریان هوای ورودی مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان داد که افزایش دما و

نتیجه‌گیری

در کار تحقیقاتی حاضر، تغییرات رنگ، چروکیدگی و pH برش‌های نازک گلابی در خشک‌کن جابه‌جایی

گرم از 0/5 تا 1/5 متر بر ثانیه، pH نمونه‌های برش‌خورده را به‌طور معنی‌داری کاهش داد که باعث افزایش اسیدی‌شدن میوه خشک‌شده گردید. لذا سرعت هوای 0/5 متر بر ثانیه به‌عنوان سرعت بهینه در خشک‌کردن نمونه‌های برش‌خورده میوه گلابی انتخاب گردید.

درصد تغییرات pH، چروکیدگی و تغییرات رنگ کلی ΔE در دمای خشک‌کردن 50 درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری از مقادیر مربوط به دمای خشک‌کردن 70 درجه سانتی‌گراد کمتر بود، لذا از این نظر به دمای خشک‌کردن 70 درجه سانتی‌گراد ترجیح دارد. از طرف مقابل زمان خشک‌شدن در دمای 50 درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای گرم 0/5 متر بر ثانیه برابر با 408/33 دقیقه و در دمای خشک‌کردن 70 درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای گرم 0/5 متر بر ثانیه برابر با 180 دقیقه به‌دست آمد که اختلاف بین زمان خشک‌شدن در دو دما بسیار قابل توجه است. به‌نظر می‌رسد که در صنایع انتظار چندین‌برابری برای خشک‌کردن محصول غذایی توجیه اقتصادی نداشته باشد. در عوض باید از طریق اعمال پیش‌تیمارهای مناسب، اختلاف موجود در pH و چروکیدگی بین دو دمای خشک‌کردن 50 و 70 درجه سانتی‌گراد را بهبود داد که می‌تواند موضوع تحقیق‌های بعدی باشد. با توجه به موارد ذکر شده، دمای خشک‌کردن 70 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای 0/5 متر بر ثانیه برای خشک‌کردن لایه‌های برش‌خورده میوه گلابی در خشک‌کن‌های صنعتی و نیمه‌صنعتی توصیه می‌شود. در خشک‌کن‌های خانگی که مدت زمان انتظار برای خشک‌کردن از اهمیت کمتری برخوردار بوده و امکان اعمال پیش‌تیمار برای بهبود pH و چروکیدگی وجود ندارد، دمای خشک‌کردن 50 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای 0/5 متر بر ثانیه قابل استفاده می‌باشد.

افزایش سرعت جریان هوای ورودی، باعث کاهش pH نمونه‌های برش‌خورده میوه گلابی می‌گردد، به‌طوری‌که بیشترین کاهش pH در دمای خشک‌کردن 80 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای 1/5 متر بر ثانیه به‌دست آمد. همچنین با توجه به نتایج پردازش تصویر، کمترین مقدار تغییر رنگ با توجه به مؤلفه‌های $L^*a^*b^*$ در دمای 50 درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان 0/5 متر بر ثانیه مشاهده شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، دمای 80 درجه سانتی‌گراد به علت تغییر رنگ شدید و کاهش قابل توجه pH بافت خشک‌شده، همچنین افزایش چروکیدگی دمای مناسبی برای خشک‌کردن نمونه‌های برش‌خورده گلابی تشخیص داده نشد. از طرف دیگر شاخص اختلاف رنگ کلی در دمای 60 درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای خشک‌کردن 70 درجه سانتی‌گراد بوده و اختلاف بین درصد چروکیدگی در دو دمای خشک‌شدن 60 و 70 درجه سانتی‌گراد معنی‌دار نبود. لذا دمای 60 درجه سانتی‌گراد نیز از موارد انتخابی حذف گردید. به‌همین دلیل در ادامه بررسی، مقایسه نهایی تمام عوامل کیفی و زمان خشک‌شدن بین دمای 70 درجه سانتی‌گراد و دمای 50 درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. در دمای 70 درجه سانتی‌گراد بین سرعت جریان هوای 0/5، 1 و 1/5 متر بر ثانیه، سرعت جریان هوای 0/5 متر بر ثانیه انتخاب گردید که تغییر رنگ (ΔE) کمتری در سطح احتمال 1 درصد داشت. همچنین با افزایش سرعت هوای گرم از 0/5 تا 1/5 متر بر ثانیه، چروکیدگی میوه در دمای خشک‌کردن 70 درجه سانتی‌گراد به میزان 4/70 درصد افزایش یافت. تنها مزیت افزایش سرعت هوای گرم از 0/5 تا 1/5 متر بر ثانیه در دمای خشک‌کردن 70 درجه سانتی‌گراد، کاهش زمان خشک‌شدن به میزان 22 دقیقه بود که زمان خشک‌شدن در این دما را به میزان 12 درصد کاهش داد. در عوض افزایش سرعت هوای

منابع

- 1- حیدری، م. و نصیری، م. 1394. مدل‌سازی ریاضی فرایند خشک‌شدن لایه نازک میوه گلابی و بررسی اثر دما و سرعت هوای خشک‌کن بر تغییر رطوبت نسبی هوای خروجی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، 48: 215-229.

- 2- زمانی قلعه‌شاهی، ع.، فرحوش، ر. و رضوی، س.م.ع. 1394. ارزیابی اثر صمغ دانهٔ ریحان بر میزان جذب روغن و خواص فیزیکی خلال‌های سیب‌زمینی طی سرخ‌کردن عمیق. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، 11(4):99-104.
- 3- کارگذاری، م. 1386. بهینه‌سازی خشک‌کردن اسمزی هویج با استفاده از روش سطح پاسخ. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، رشته مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.
- 4- کاوسی، ج. 1391. بهبود ضریب عملکرد و راندمان خشک‌کن‌های پمپ حرارتی به کمک انرژی خورشیدی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- 5- اسماعیلی ادبی، م.، موسوی سیدی، س.ر.، کلانتری، د. و تقی‌زاده، ا. 1395. بررسی برخی تغییرات خواص کیفی ژل آلوه‌ورا در خشک‌کن بازگردشی جریان هوای گرم. نشریه علوم و صنایع غذایی ایران. 13(54):85-93.
- 6- محمدی، ع.، رفیعی، ش.، کیهانی، ع. و امام‌جمعه، ز. 1387. بررسی مدل خشک‌کردن ورقه‌های نازک کیوی (رقم هایوارد) در خشک‌کن لایهٔ نازک. پنجمین کنگرهٔ ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، 6-7 شهریور ماه، مشهد.
- 7- مهرآور، ح.، کیانمهر، م.ح.، آغباشلو، م. و عرب‌حسینی، ا.م. 1387. ارائهٔ مدل ریاضی نرخ تبخیر برای خشک‌شدن لایهٔ نازک آلبالو. پنجمین کنگرهٔ ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، 6-7 شهریور ماه، مشهد.
- 8- Akpinar, E.K. Bicer, Y. & Yilidiz, C. 2003. Thin layer drying of red pepper. *Journal of food engineering*, 59(1):99-104.
- 9- Alibas, I. 2007. Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices. *Swiss Society of Food Science and Technology*, 40(8):1445-1451.
- 10- Baloch, M., Saleem, S.A., Baloch, A., & Baloch, W.A. 2006. Impact of controlled atmosphere on the stability of Dhakki dates. *Swiss Society of Food Science and Technology*, 39(6):671-676.
- 11- CIE, 1986. *Colorimetric and central bureau of the commission international de L'Eclairage*, Vienna, Austria, 19:652-664.
- 12- Doymaz, I. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61(3):359-364.
- 13- Ertekin, C., & Yaldiz, O. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, 63(3):349-360.
- 14- Fellows, P.J. 1990. *Food processing technology, principles and practice*. Ellis Horwood Limited.
- 15- Guine, R. 2006. Influence of drying method on density and porosity of pears. *Food and Bioproducts Processing*, 84(3):179-185.
- 16- Hatamipour, M.S., & Mowla, D. 2002. Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. *Journal of Food Engineering*, 55(3):247-252.
- 17- Koca, N., Burdurlu, H.S., & Karadeniz, F. 2007. Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. *Journal of Food Engineering*, 78(2):449-455.
- 18- Madhlopa, A., Jones, S.A., & KalengaSaka, J.D. 2002. A solar air heater with composite-absorber systems for food dehydration. *Renewable Energy*, 27(1):27-37.
- 19- Nindoa, C.I., Sunb, T., Wangb, S.W., Tanga, J., & Powersb J.R. 2003. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L). *Swiss Society of Food Science and Technology*, 36(5):507-516.
- 20- Okos, M.R., Narsimhan, G., Ingh, R.K., & Weitmayer, A.C. 1992. Food dehydration. In D. R. Heldman & D. B. Lund (Eds.), *Hand book of food engineering*. New York: Marcel Dekker. 339-382.
- 21- Pedreschi, F., León, J., Mery D., & Moyano, P. 2006. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Journal of Food Research International*, (39):1092-1098.
- 22- Ratti, C. 1994. Shrinkage during drying of foodstuffs. *Journal of Food Engineering*, 23(1):91-105.
- 23- Rodriguez, O., Gomes, W., Rodrigues, S., & Fernandes, F.A.N. 2017. Effect of acoustically assisted treatments of vitamins, antioxidant activity, organic acids and drying kinetics of pineapple. *Ultrasonic Sonochemistry*, 35:92-102.
- 24- Taiwoa, K.A., & Baik, O.D. 2007. Effects of pretreatments on the shrinkage and textural properties of fried sweet potatoes. *LWT Food Science and Technology*, 40(4):661-668.
- 25- Yam, K.L., & Papadakis, S.E. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61(1):137-142.

Investigating the Influence of Drying Temperature and Air Flow Velocity on Some Qualitative Specifications of the Sliced Pear During Drying and Employment of Image Processing Technique

Younes Khorshidi¹, Davood Kalantari^{2*}, Ali Asghari³

1-MSc. Student, Department of Biosystems Engineering, Sari Agriculture Sciences & Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran

2-Department of Biosystems Engineering, Sari Agriculture Sciences & Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran

3-Department of Biosystems Engineering, Gorgan Agriculture Sciences & Natural Resources University, Gorgan, Iran

* Corresponding author (d.kalantari2000@sanru.ac.ir)

Abstract

Drying of agricultural and horticultural crops is one of the most important processes for their long term storage. Therefore, in this study, the influence of drying temperature and air flow velocity on the variation of color, shrinkage and pH were investigated during the drying process of thin-sliced Dargazi pear varieties. Drying air temperature varied in four levels of 50, 60, 70 and 80 °C and the air flow velocity at three levels of 0.5, 1 and 1.5 m/s. The image processing results indicated that maximum variation of the sample' color (30.78) occurred at drying temperature of 80°C and air velocity of 1.5 m/s. In contrast, the minimum variation of the color (14.38) occurred at drying temperature of 50 °C and air velocity of 0.5 m/s. The results indicated that PH of the examined samples increases during the drying process. The maximum value of pH (4.49) was obtained at drying temperature of 50 °C and air velocity of 0.5 m/s, whereas the minimum value (3.93) was measured at 80 °C and air velocity of 1.5 m/s. Given the overall results obtained in this study, minimum drying time with minimum variation of qualitative specifications occurred at drying temperature of 70 °C and air flow velocity of 0.5 m/s; therefore, this condition could be suggested as the best combination for drying of thin-sliced pears.

Keywords: Discoloration, Image Processing, Pear, pH, Shrinkage