

## بررسی اثر دما و سرعت جریان هوا بر برخی از ویژگی های برش های گلابی در طول فرایند خشک شدن و استفاده از پردازش تصویر

یونس خورشیدی<sup>۱</sup>، داود کلانتری<sup>۲\*</sup>، علی اصغری<sup>۳</sup>

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۴

### چکیده

خشک کردن محصولات کشاورزی یکی از مهم ترین فرایندها برای نگهداری طولانی مدت این محصولات می باشد. لذا در پژوهش حاضر، اثر پارامترهای دما و سرعت جریان هوا بر تغییرات رنگ، چروکیدگی و pH برش های نازک گلابی رقم درگزی با قطر متوسط ۶۰ میلی متر و ضخامت ۵ میلی متر در حین خشک شدن مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش ها در ۴ سطح دمای هوای خشک کن ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد و سطح سرعت جریان هوای ورودی ۱۰/۵، ۱۰/۰ و ۱/۵ متر بر ثانیه انجام پذیرفت. نتایج حاصل از پردازش تصویر نشان داد که بالاترین میزان تغییرات رنگ کلی (۳۰/۷۸) مربوط به دمای خشک کردن ۸۰ درجه سانتی گراد و سرعت جریان هوای ۱/۵ متر بر ثانیه و پایین ترین میزان آن (۱۴/۳۸) مربوط به دمای ۵۰ درجه سانتی گراد و سرعت ۵/۰ متر بر ثانیه می باشد. نتایج بیانگر آن بود که pH نمونه ها در طول خشک کردن کاهش می یابد. بیشترین مقدار pH در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد و سرعت هوای ۰/۵ متر بر ثانیه به میزان ۴/۴۹ و کمترین مقدار pH در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه به میزان ۳/۹۳ به دست آمد. با توجه به نتایج حاصل از مطالعه حاضر، کمترین زمان خشک شدن با کمترین تغییرات صفات کیفی در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و سرعت جریان هوای ۰/۵ متر بر ثانیه اتفاق افتاد، لذا این شرایط به عنوان مناسب ترین دما و سرعت جریان برای خشک کردن برش های گلابی توصیه می گردد.

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 می کاهد. لذا فراوری آن به جای عرضه مستقیم محصول به بازار با هدف دستیابی به ارزش اقتصادی بالاتر به عنوان یکی از موارد علمی قابل بحث و تحقیق مطرح می شود. در همین راستا یکی از روش های فراوری میوه گلابی، خشک کردن آن است. محصولات خشک شده را

### مقدمه

ایران با داشتن انواع مختلفی از میوه های پرمصرف، یکی از منابع مهم تولید میوه در دنیا محسوب می شود. یکی از این میوه ها گلابی<sup>۱</sup> بوده که به علت دارای بودن مقدار قابل توجهی از ویتامین های C و E، کلسیم، آهن، منیزیوم و روی دارای اهمیت ویژه ای است. لیکن ایجاد خراش و لکه روی میوه در حین

<sup>۱</sup> Pyrus Communis L

می‌انجامد. تغییرات شیمیایی در رنگدانه‌های کارتنوئیدی و کلروفیل بهدلیل 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، ۱۳۹۵). 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 زمان بر و به علت استفاده از نیروی انسانی پرهزینه هستند. لذا انگیزه برای توسعه روش‌های جانشینی که در زمان کمتر و با دقت بیشتر خصوصیات کلیدی محصول را ارزیابی کند، در حال توسعه و گسترش است (کارگذاری، ۱۳۸۶). پردازش تصویر یکی از این روش‌هاست. در پردازش تصویر با استفاده از بعضی عملیات ریاضی نظری تشخیص لبه بهوسیله گرادیان و یا اعمال فیلترهای مناسب، ویژگی‌های تصویر نظیر لبه‌ها، خطوط انحنایها، گوشها 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 گستردگر استفاده نمود (کارگذاری، ۱۳۸۶). ۳ مدل رنگ 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 ۱۹۷۱ بهوسیله کمیسیون بین‌المللی روشنایی<sup>۱</sup> 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 (کاووسی، ۱۳۹۱). 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 فعل و انفعالات شیمیایی، به طور اساسی کمترین باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۷).

خشک‌کردن گلابی به روش سنتی و به کمک تابش خورشید دارای مشکلات بهداشتی فراوانی از قبیل قرارگرفتن در معرض انواع حشرات، کرم‌ها، موس، پرندگان و گردغبار می‌باشد. صرفنظر از مشکلات بهداشتی، این شیوه خشک‌کردن به میزان زیادی به شرایط آب و هوایی نیز وابسته است (مهرآور، ۱۳۸۷). از طرف دیگر رشد روزافزون جمعیت و نیاز بیش از پیش به مواد غذایی و در پی آن محدودیت‌های منابع انرژی مورد نیاز 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 قهقهه‌ای شدن، تغییر رنگ، تغییر در ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه، چربی‌ها، و اکسیداسیون در مواد باشند (Okos *et al.*, 1992). در فرایند خشک‌کردن، ویژگی‌های سطح خارجی و درنتیجه بازتاب نور و رنگ محصول تغییر می‌کند. بررسی تغییرات رنگ از آنجا اهمیت دارد که این فاکتور جزء اولین شاخص‌های کیفی فراورده‌های خشک‌شده است که از سوی مصرف‌کننده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و به پذیرش یا عدم پذیرش محصول تولید شده

<sup>۱</sup> CIE

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

### مواد و روش ها

در این تحقیق میوه گلابی تازه رقم درگزی از بازار توزیع میوه شهر گرگان تهیه گردید. کلیه نمونه ها جهت کاهش میزان تنفس و تغییرات فیزیولوژیکی و شیمیایی در داخل یخچال با دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شدند (حیدری و نصیری، ۱۳۹۴).

### آزمون خشک کردن

در این آزمایش از یک خشک کن نوع جابجایی هوای گرم نشان داده شده در شکل (۱) استفاده گردید. این خشک کن از یک فن سانتریفیوژ برای ایجاد جریان هوا، یک دیمر برای کنترل سرعت جریان هوا، ۴ گرم کن بر قی ۵۰۰ وات جمعاً به قدرت ۲۰۰۰ وات برای گرم کردن هوای ورودی به محفظه خشک کن به همراه محفظه توزین و عکس برداری و چندین حسگر دما تشکیل شده است. برای اندازه گیری سرعت جریان هوا از سرعت سنج (Lutron AM-4216) ساخت تایوان استفاده شد. نحوه اندازه گیری سرعت جریان هوا بدین صورت بود که پایه حسگر سرعت سنج در نقاط مختلف کanal ورودی هوا قرار داده شده و سرعتها قرائت گردید. برای رسیدن شرایط سیستم به حالت پایدار، کلیه آزمایش ها ۳۰ دقیقه بعد از روشن کردن خشک کن شروع می شد. برای انجام آزمایش اصلی، دمای هوای خشک کن در ۴ سطح مختلف ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد و سرعت جریان هوای ورودی در ۳ سطح ۱۰/۰۵ و ۱/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. نمونه های گلابی به وسیله دستگاه کالباس بُر به صورت برش های نازک با ضخامت ۵ میلی متر برش داده شدند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰). کلیه نمونه ها دارای پوست و فاقد هسته بودند.

باینجه به تغییر قطر میوه گلابی در مقاطع مختلف، از هر میوه فقط ۲ برش با قطرهای تقریباً مساوی در آزمون خشک کردن مورد استفاده قرار گرفت تا نسبت

است، شاخص تغییر رنگ کلی  $\Delta E$  می باشد. این شاخص نشان دهنده برآیند کلی تغییر رنگ نمونه های خشک شده نسبت به نمونه خام قبل از خشک شدن می باشد. تغییرات رنگی که در کل فرایند خشک کردن رخ می دهد، می تواند به علت های مختلفی مانند تخریب رنگدانه ها، قهوه ای شدن اسید آسکوربیک و واکنش قهوه ای شدن میلارد صورت گیرد. کاروتین ها رنگدانه های موجود در مواد غذایی هستند که به آنها رنگ می دهند. در فرایند خشک کردن مواد غذایی این رنگدانه ها در اثر حرارت دیدن به تدریج از بین رفتند. موجب تغییر رنگ مواد غذایی می گردند.

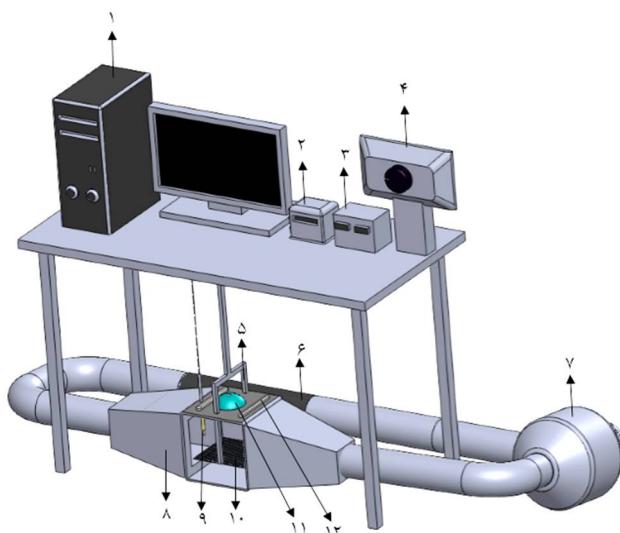
Pedreschi و همکاران (۲۰۰۶) برای اندازه گیری رنگ چیپس سیب زمینی از پردازش تصویر در فضای رنگی  $L^*a^*b^*$  استفاده کردند. آنها تصاویر به دست آمده در حالت RGB را با استفاده از نرم افزار متلب<sup>۱</sup> به فضای رنگی  $L^*a^*b^*$  انتقال دادند. در پژوهش دیگری، Baloch و همکاران (۲۰۰۶) اثر اتمسفر کنترل شده و نحوه خشک شدن را در نگهداری خرما مورد آزمایش قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که در طی نگهداری، تیرگی و اسیدیتۀ نمونه ها افزایش pH کاهش می یابد. اسماعیلی ادبی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تغییرات خصوصیات کیفی آلومینیوم را در یک خشک کن باز گردشی هوای گرم پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که شاخص  $\Delta E$  و pH در طی خشک شدن با افزایش دما و سرعت جریان هوای گرم افزایش می یابد.

در کشور ما به دلیل فراوری سنگی و پایین بودن سطح فناوری، هزینه تولید میوه های خشک بالا بوده و از سوی دیگر میوه خشک شده کیفیت ظاهری و ترکیبات مؤثر خود را طی فرایند خشک کردن، به طور قابل ملاحظه ای از دست می دهد که این مسئله به طور جدی بر مصرف و صادرات آن تأثیرگذار است. لذا در تحقیق حاضر تأثیر پارامتر های دما و سرعت جریان هوای گرم روی تغییر رنگ و خواص کیفی برش های نازک میوه گلابی به کمک تصویر برداری بلادرنگ (عکس برداری همزمان با خشک شدن محصول) و آنالیز

<sup>۱</sup> Matlab

خشک کردن، ۱۰ برش گلابی مورد استفاده قرار گرفت.

ثبت سطح به پوست در لایه‌های برش خورده حفظ گردد. قطر متوسط نمونه‌های برش خورده ۶۰ میلی‌متر با انحراف استاندارد ۲ میلی‌متر بود. برای هر آزمون



شکل ۱- طرحواره خشک کن آزمایشگاهی مورد استفاده: (۱) رایانه (۲) داده‌بردار دما (۳) داده‌بردار وزن (۴) کنترل کننده سرعت جریان هوا (۵) لودسل (۶) گرمکن (المتن) (۷) دمنده (فن سانتریفیوژ) (۸) محفظه توزین و عکس‌برداری (۹) حسگر دما (۱۰) سینی نمونه‌ها (۱۱) دوربین دیجیتال (وبکم) (۱۲) لامپ

خشک شدن تا زمان ثابت شدن تقریبی وزن برش‌های نازک گلابی ادامه داشت. بدین صورت که داده‌های وزن نمونه‌های درحال خشک شدن به‌طور پیوسته با فاصله زمانی ۱ ثانیه به رایانه منتقل می‌شد و توسط اپراتور مورد بازبینی قرار می‌گرفت. زمانی که برای ۱۰ 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 (۱) استفاده شد (Akpinar *et al.*, 2003).

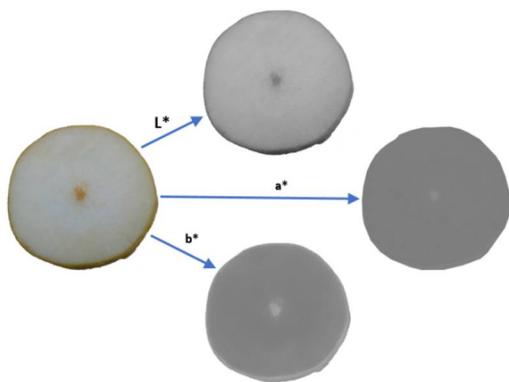
رابطه (۱)

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

میزان رطوبت اولیه نمونه‌ها به روش قراردادن در داخل آون آزمایشگاهی در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن نمونه‌ها به وزن ثابت، تعیین گردید (Ertekin & Yaldiz, 2004).

نمونه‌ها روی سینی توری‌شکل خشک کن قرار داده شدند. این توری به صورت معلق در فضای خشک کن به زیر لودسل (Camos.v1) با دقت  $±0.001$  گرم) آویزان بودند تا امکان وزن کردن نمونه‌ها بدون خارج کردن آنها از داخل خشک کن می‌سر باشد. وزن نمونه‌ها به‌طور پیوسته با فاصله زمانی ۱ ثانیه توسط لودسل متصل به رایانه اندازه‌گیری و توسط نرم‌افزار کاموس<sup>۱</sup> ثبت گردید (Guine, 2006). برای حذف نویز ایجاد شده در داده‌های وزن نمونه به‌خاطر جریان باد، لودسل دستگاه در هر ثانیه تعداد ۲۰ بار اندازه‌گیری وزن را انجام می‌داد که با میانگین‌گیری از ۱۲۰۰ داده وزنی ثبت شده در هر دقیقه، وزن نمونه در آن دقیقه در نظر گرفته می‌شد.

<sup>۱</sup> Camos.v1



شکل ۲- تبدیل فضای رنگی RGB به فضای رنگی  $L^*a^*b^*$

تغییرات کلی رنگ  $\Delta E$  طبق رابطه (۳) محاسبه شد. در این رابطه، تفاضل هریک از مؤلفه های رنگی با کمیت های مربوط به پیش از خشک شدن، به عنوان مبنای محاسبه شاخص اختلاف رنگ قرار می گیرد.

رابطه (۳)

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

به طوری که مؤلفه  $L^*$  (شدت روشنایی تصویر) با محدوده صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (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) می باشد (زمانی قلعه شاهی و همکاران Yam et al., ۱۳۹۱، ۲۰۰۴).

نکته قابل توجه در پردازش تصاویر اخذ شده از محصول در حال خشک شدن این است که حرکت غیر یکنواخت آب از داخل میوه به سطح برش خورده موجب تغییرات غیر یکنواخت رطوبت در سطح میوه، همچنین تمرکز غیر یکنواخت املاح، قندها و رنگدانه ها روی سطح بیرونی نمونه های برش خورده می گردد که به صورت تغییرات رنگی یا تغییرات روشنایی در سطح میوه قابل مشاهده است. برای کاهش این خطا در تحقیق حاضر، متوسط تغییرات روشنایی و رنگ ۳ منطقه از سطح میوه مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل (۳) نمونه ای از سطح میوه خشک شده ارائه گردیده که در آن ۳ ناحیه نشان داده شده دارای اختلاف رنگ هستند.

به طوری که MR کسر رطوبتی (بدون بعد)،  $M_t$  میزان رطوبت لحظه ای محصول در حال خشک شدن (بر پایه تر)،  $M_e$  رطوبت تعادلی محصول (بر پایه تر) و  $M_o$  محتوای رطوبت اولیه برش های نازک گلابی (بر پایه تر) می باشد. براساس پژوهش های انجام شده، در محصولاتی که دارای رطوبت اولیه زیادی در حد ۸۰ درصد یا بیشتر بوده و رطوبت نهایی آنها پس از خشک شدن به ۸ تا ۱۰ درصد و حتی کمتر کاهش می یابد، رابطه (۱) به صورت رابطه (۲) ساده می گردد. درنتیجه برای محاسبه کسر رطوبتی نیازی به اندازه گیری رطوبت تعادلی ( $M_e$ ) نیست (Doymaz, 2004).

رابطه (۲)

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

پردازش تصویر برای ارزیابی تغییر رنگ محصول در حین خشک شدن

هدف کلی در این مرحله شناسایی ویژگی هایی از تصویر بود که بتوان از آنها برای ارزیابی تغییرات رنگ محصول در حین خشک شدن استفاده نمود. بدین منظور بالای سینی حاوی محصول در حال خشک شدن (توری معلق)، یک دوربین دیجیتال Webcam-7-Pro\_1.0.5.2 (Webcam-7-Pro\_1.0.5.2) نصب شد تا امکان عکس برداری از نمونه ها بدون خارج کردن آنها از داخل خشک کن میسر باشد (شکل ۱). توسط دوربین مذکور در هر دقیقه یک فریم از نمونه ها عکس برداری شده و به صورت خودکار در کامپیوتر و در فضای رنگ JPEG ذخیره گردید. سیستم نور پردازی از ۳ لامپ فلورسنت ۱۰ وات تشکیل شده بود که در اطراف اتفاق عکس برداری قرار داشتند. فاصله لامپ ها با نمونه ۲۴ سانتی متر بود. تصویر برداری با دوربین ذکر شده در فاصله ۲۰ سانتی متری نمونه ها انجام شد. برای استخراج اطلاعات مربوط به تغییر رنگ، ابتدا در نرم افزار آنالیز تصویر J, Image Convertor میوه گلابی خشک شده از زمینه جدا گردید. سپس فضای CoLoR-Space-RGB با استفاده از پلاگین L\*a\*b\* Convertor به فضای رنگی  $L^*a^*b^*$  تبدیل گردید (Yam et al., 2004; Pedreschi et al., 2008).

(شکل ۲).

گلابی آسیاب شده توسط یک آسیاب خانگی با ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به صورت محلول درآمده و برای مدت ۱۵ دقیقه توسط شیکر با دور ۵۰ دور در دقیقه هم زده شد. سپس بعد از ۱۵ 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.

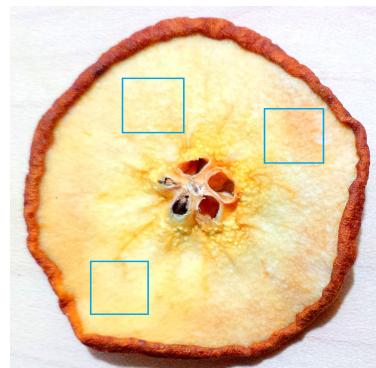
**محاسبه های آماری**  
آنالیز آماری داده ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با فاکتورهای دمای خشک کردن در ۴ سطح و سرعت جریان هوای گرم در ۳ سطح و در ۳ تکرار انجام گرفت. آنالیز واریانس جهت ارزیابی اثرات دما و سرعت جریان هوای خشک کن روی کسر رطوبتی، تغییرات ابعادی (چروکیدگی)، تغییرات رنگ، pH و زمان خشک شدن انجام گرفت. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح اطمینان ۹۹ 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 ۳ معیار ضریب تبیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطای RMSE و مجموع مربعات خطای SSE استفاده شد (حیدری و نصیری، ۱۳۹۴).

### 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 (۵) تا (۷) 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 ۳ - 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 J، تصویر میوه گلابی خشک شده از زمینه جدا گردید. سپس سطح تصویر جداسده به پیکسل های سیاه تبدیل و درنهایت مساحت آن در نرم افزار یادشده به دست آمد (شکل ۴). درصد چروکیدگی لحظه ای محصول (در لحظه خشک شدن t) توسط رابطه (۴) محاسبه گردید.

$$\text{رابطه (۴)}$$

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

به طوری که sh درصد چروکیدگی، At سطح مقطع نمونه در حال خشک شدن و A<sub>0</sub> سطح مقطع نمونه قبل از خشک شدن می باشد (شکل ۴).



شکل ۴ - 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، ۵ گرم از نمونه

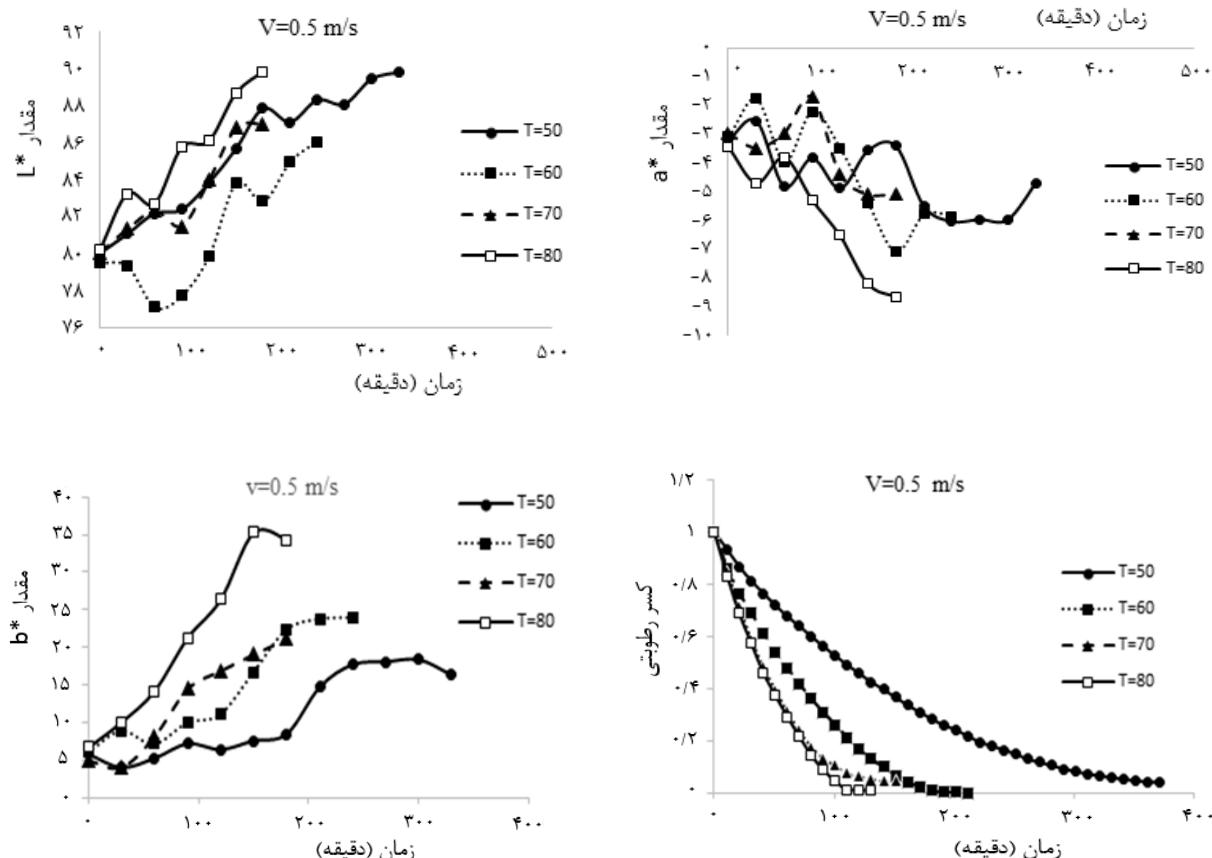
و سرعت جریان هوا  $0/5$  متر بر ثانیه (شکل ۵) برابر با  $7/5$  درصد و در دمای  $80$  درجه سانتی گراد و سرعت جریان هوا  $0/5$  متر بر ثانیه برابر با  $12/5$  درصد می باشد که نشان دهنده افزایش نرخ تغییرات روشنایی با افزایش دما می باشد. نکته دیگر اینکه مقدار تغییرات پارامتر  $b^*$  در دمای  $60$  و  $70$  به هم نزدیک بوده و مقدار تغییرات این پارامتر در دمای  $80$  درجه سانتی گراد بیشتر از دمای  $50$ ،  $60$  و  $70$  درجه سانتی گراد است. با توجه به نتایج تحقیقاتی انجام شده توسط سایر محققین که در ادامه مورد بحث قرار می گیرد، تغییرات پارامترهای  $L^*$  و  $a^*$  و  $b^*$  در فرایند خشک کردن، از محصولی به محصول دیگر فرق می کند و باید این پارامترها برای هر محصولی به طور مجزا بررسی و ارزیابی گردد. به طور مثال نتایجی که از تغییرات پارامترهای  $L^* a^* b^*$  در تحقیق های Nindoa و همکاران (۲۰۰۳) در مورد خشک کردن مارچوبه به دست آمد، نشان داد که پارامتر  $L^*$  در طول خشک کردن کاهش و دو پارامتر دیگر افزایش می باید (Nindo *et al.*, 2003)، در صورتی که در فرایند خشک کردن نمونه های گلابی مورد آزمون، پارامترهای  $L^*$  و  $b^*$  افزایش و پارامتر  $a^*$  کاهش یافت. در کار تحقیقاتی دیگری که توسط Koca و همکاران (۲۰۰۷) انجام شد، در طول خشک کردن هویج هر  $3$  پارامتر کاهش یافتند و با افزایش دما شدت تغییرات آنها افزایش یافت (Koca *et al.*, 2007). در تحقیقی که Alibas (۲۰۰۷) روی کدوتبل انجام داد، نتایج به دست آمده نشان داد که هر  $3$  پارامتر  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  در طول خشک کردن کاهش می یابند. در تحقیق ایشان بین دو دمای  $50$  و  $70$  درجه سانتی گراد اختلاف معنی داری بین پارامترهای رنگ مشاهده نشده بود (Alibas, 2007). نکته دیگر روند تغییرات غیریکنواخت و سینوسوار در منحنی های مربوط به پارامترهای رنگی است که در شکل های (۵) تا (۷) قابل مشاهده می باشد. علت این موضوع عدم یکنواختی تغییرات رنگ روی سطوح برش خورده میوه در حال خشک شدن است که می تواند ناشی از حرکت نامتقارن آب و املال و عناصر محلول در آن از داخل به سطح میوه باشد که اجتناب ناپذیر بوده و به غیریکنواختی رنگ سطوح خارجی میوه در حال

است. نتایج ارائه شده در شکل های (۵) تا (۷) حاکی از آن است که در ساعت های اولیه خشک شدن، میزان روشنایی ( $L^*$ ) با گذشت زمان و خارج شدن رطوبت، روبه افزایش بوده است. با توجه به مثبت بودن مقدار اولیه  $b^*$  در شکل (۵)، نمونه های برش خورده گلابی مورد آزمون دارای طیف اولیه زرد بودند که در اثر وجود کارتنوئید در بافت میوه می باشد. به طور نمونه، مقدار اولیه  $b^*$  در شکل (۵) به طور متوسط برابر با  $5$  می باشد. افزایش تون رنگی زرد در بافت میوه باعث انعکاس بیشتر نور و روشن تر شدن بافت میوه می گردد. از طرف مقابل، چنانچه پارامتر رنگی  $b^*$  منفی شود، نشان دهنده وجود طیف رنگی آبی در بافت بوده که انعکاس نور را کاهش داده و منجر به کاهش روشنایی بافت میوه یا ماده غذایی می گردد. به همین دلیل همسو بودن پارامتر روشنایی  $L^*$  با پارامتر رنگی  $b^*$  دور از ذهن نیست، چرا که بررسی و تأمل در نتایج دیگر محققین مانند Koca و همکاران (۲۰۰۷) و Alibas (۲۰۰۷) نیز نشان می دهد که به طور معمول نحوه تغییرات روشنایی بافت در حال خشک شدن یعنی  $L^*$  و پارامتر رنگی  $b^*$  همسو هستند (یعنی هردو به طور هم جهت در حال افزایش یا کاهش می باشند) که این نتیجه در کار تحقیقاتی حاضر نیز مشهود است. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل (۵)، در دمای خشک کردن  $50$  درجه سانتی گراد و سرعت جریان هوا  $0/5$  متر بر ثانیه، مقدار  $b^*$  تا دقیقه  $۲۳۰$  افزایش یافته، سپس تا زمان  $300$  دقیقه ثابت و پس از آن شروع به کاهش نموده است. در دمای  $80$  درجه سانتی گراد نیز از لحظه  $150$  دقیقه مقدار  $b^*$  تمايل به کاهش دارد. کاهش نهایی طیف رنگی زرد می تواند ناشی از آسیب رنگ دانه ها در اثر حرارت دهی زیاد باشد که به قهوه ای شدن غیر آنژیمی نسبت داده شده است. علت دیگر افزایش روشنایی بافت لایه های برش خورده میوه گلابی در ساعت های اولیه می تواند 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 می دهد. میانگین افزایش روشنایی سطح برش خورده میوه گلابی در دمای  $50$  درجه سانتی گراد

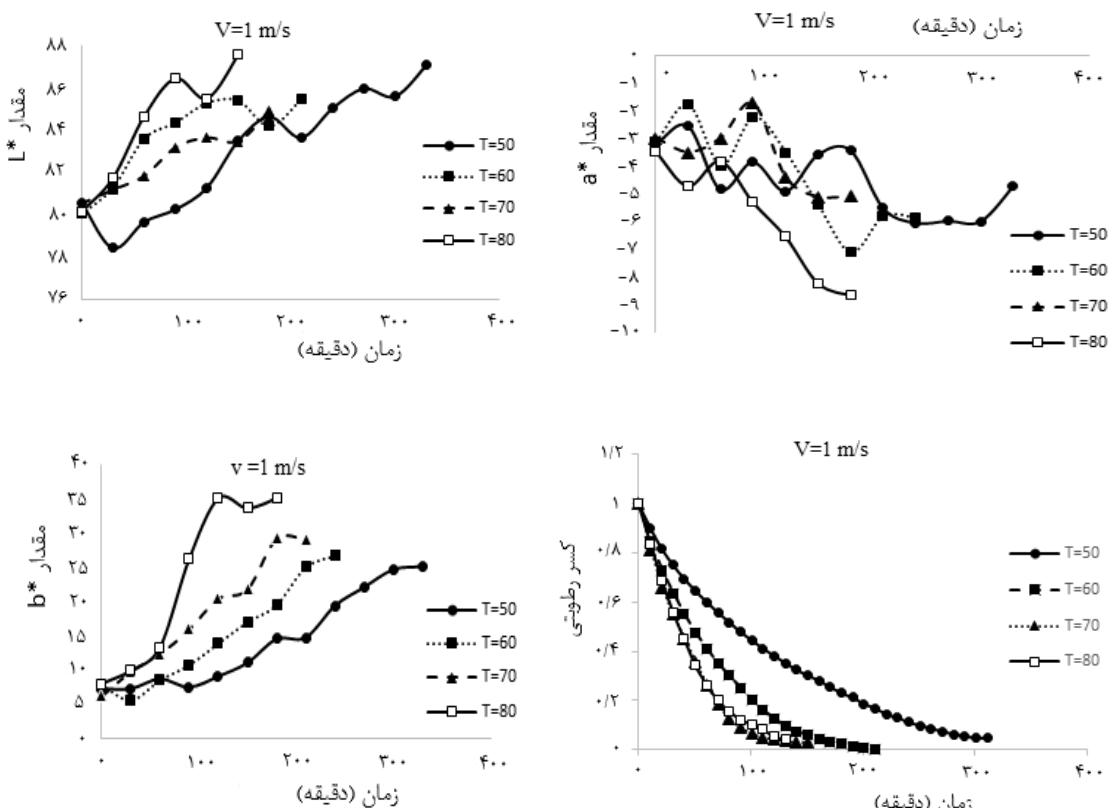
۲۵۰ دقیقه با کمی نوسان به بالا و پایین تقریباً ثابت مانده است. با پذیرفتن این نکته که برش‌های اولیه گلابی دارای مقدار اندکی زمینه رنگی سبز بودند، با شروع خشکشدن و حرکت آب میان بافتی به سمت لایه‌های فوقانی سطح برش خورده میوه، مقدار بیشتری از این کلروفیل به همراه قندهای حلال در آب به سطح برش خورده میوه رسیده و کمی تون رنگی سبز سطح آزاد میوه را افزایش داده است. با توجه به اعداد نشان داده شده در این نمودار این افزایش تون رنگی سبز بسیار اندک است، چرا که مقادیر منفی  $a^*$  از صفر تا ۱۲۰ - قابل تغییر بوده ولی در شکل (۵) تغییرات پارامتر  $a^*$  فقط از  $-3/5$  به حدود ۷ - کاهش یافته است.

خشکشدن منجر می‌شود.

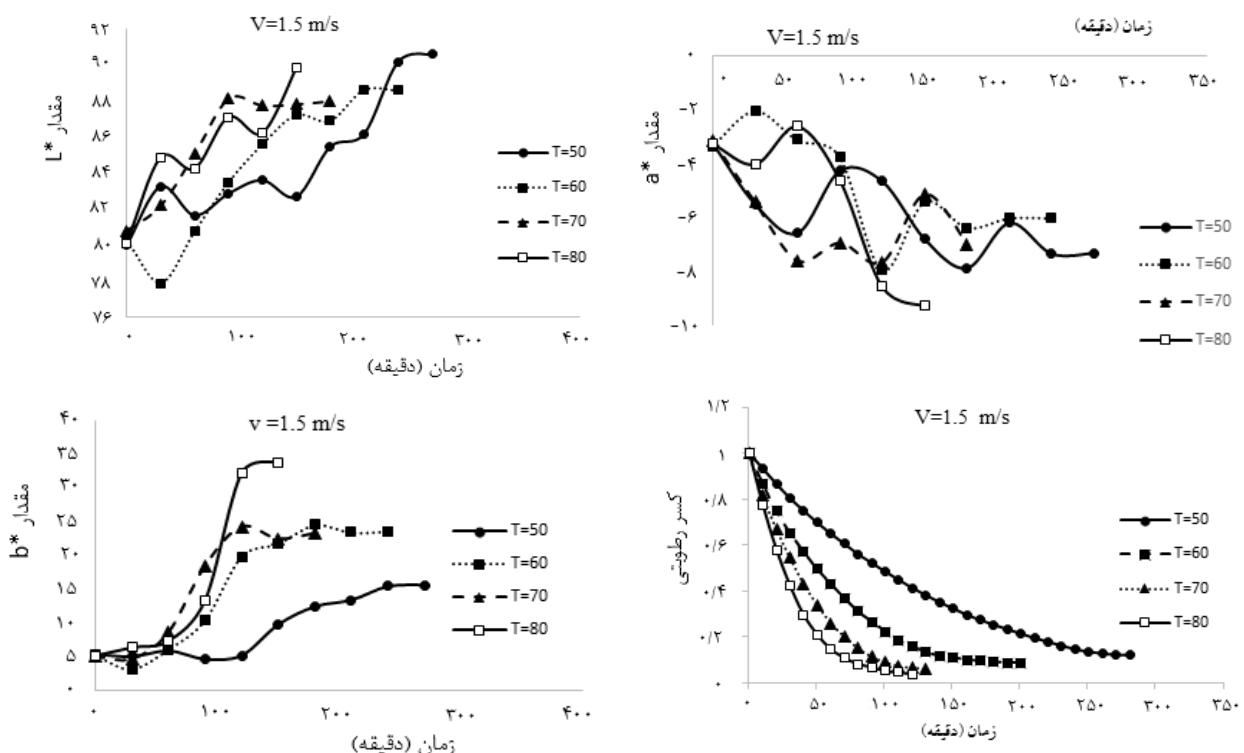
نتایج ارائه شده در شکل (۵) نشان می‌دهد که میزان پارامتر رنگی  $a^*$  طی فرایند خشک کردن کاهش می‌یابد (افزایش طیف رنگی سبز) به طوری که شدت این تغییرات در دماهای بالاتر بیشتر است. اگر به مقادیر اولیه مربوط به پارامتر رنگی  $a^*$  در لحظه قبل از خشکشدن توجه شود، مشخص می‌گردد که با توجه به منفی بودن مقدار عددی پارامتر فوک، نمونه‌های برش خورده گلابی دارای طیف اولیه سبز هستند که در اثر وجود کلروفیل در بافت میوه می‌باشد. مقدار اولیه  $a^*$  در شکل (۷) برابر با  $-3/5$  است که مقدار آن در ۱۲۰ دقیقه اول خشک کردن به ۷ - کاهش یافته و پس از آن تا زمان خشک کردن



شکل ۵- روند تغییرات پارامتر  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  و کسر رطوبتی لایه‌های برش خورده گلابی در سرعت جريان هوای  $5/0$  متر بر ثانیه و دماهای مختلف نسبت به زمان



شکل ۶- روند تغییرات پارامتر  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$  و کسر رطوبتی لایه های برش خورده گلابی در سرعت جریان هوای ۱ متر بر ثانیه و دماهای مختلف نسبت به زمان



شکل ۷- روند تغییرات پارامتر  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$  و کسر رطوبتی لایه های برش خورده گلابی در سرعت جریان هوای  $1/5$  متر بر ثانیه و دماهای مختلف نسبت به زمان

ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۱)، در طی مدت زمان خشکشدن کامل برش‌های گلابی، بیشترین اختلاف رنگ کلی مربوط به دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان ۱/۵ متر بر ثانیه می‌باشد که برابر با ۳۰/۷۸ به دست آمد. به همین ترتیب کمترین مقدار اختلاف رنگ کلی برش‌های گلابی مربوط به دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان ۰/۵ متر بر ثانیه بود که برابر با ۱۴/۳۸ به دست آمد. با توجه به نتایج نشان‌داده شده در جدول (۱)، تغییرات دما تأثیر بیشتری در روند اختلاف رنگ نمونه‌های گلابی نسبت به سرعت جریان هوای ورودی دارد.

بررسی تأثیر دما و سرعت جریان هوای بر شاخص اختلاف رنگ کلی ( $\Delta E$ ) در نمونه‌های برش‌خورده گلابی

با توجه به نتایج آنالیز واریانس انجام گرفته، اثر مستقل دما، سرعت جریان هوای ورودی و اثر متقابل سرعت و دما (سرعت $\times$ دما) بر میزان شاخص اختلاف رنگ ( $\Delta E$ ) در انتهای خشکشدن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. افزایش پارامتر تغییر رنگ کلی  $\Delta E$  را می‌توان به واکنش قهقهه‌ای شدن غیرآنژیمی نسبت داد (زمانی قلعه‌شاهی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به معنی‌دارشدن اثر متقابل دما و سرعت جریان هوای روی شاخص اختلاف رنگ کلی ( $\Delta E$ ) در انتهای خشکشدن، نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول (۱)

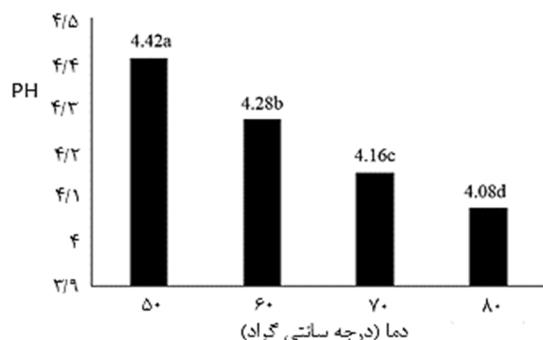
جدول ۱ - نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت و دما بر شاخص اختلاف رنگ ( $\Delta E$ ) میوه گلابی

سرعت(متر بر ثانیه)	دما	
	(درجه سانتی‌گراد)	
۱/۵	۰/۵	۵۰
۱۶/۲۸ <sup>e</sup>	۱۴/۳۸ <sup>f</sup>	۵۰
۱۹/۷۲ <sup>d</sup>	۱۹/۴۲ <sup>d</sup>	۶۰
۲۳/۱۳ <sup>c</sup>	۱۷/۶۰ <sup>c</sup>	۷۰
۳۰/۷۸ <sup>a</sup>	۲۸/۶۰ <sup>b</sup>	۸۰

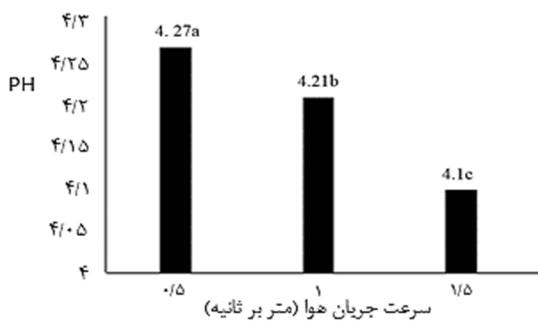
حروف مشابه عدم معنی‌داری بین سطوح مختلف را نشان می‌دهد.

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 (۲۰۰۲) 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. با توجه به آنالیز آزمایشگاهی، میوه گلابی رقم ۴/۵۵-۴/۵۸ در گزی دارای pH اولیه‌ای در محدوده بود.

همبستگی بین شاخص اختلاف رنگ کلی ( $\Delta E$ ) و pH برش‌های گلابی در طی فرایند خشکشدن 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 ۱ درصد معنی‌دار و اثر متقابل سرعت و دما (سرعت $\times$ دما) معنی‌دار نمی‌باشد، لذا اثر مستقل دما و سرعت جریان هوای ورودی بر کاهش pH در دو شکل مجازی (۸) و (۹) ارائه گردید. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل‌های (۸) و (۹)، بیشترین کاهش pH نمونه‌های گلابی مربوط به دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان ۱/۵ متر بر ثانیه می‌باشد. در طی



شکل ۸ - اثر دمای خشک کردن بر pH میوه گلابی رقم درگزی



شکل ۹ - اثر سرعت جریان هوا بر pH میوه گلابی رقم درگزی

(رابطه ۴).

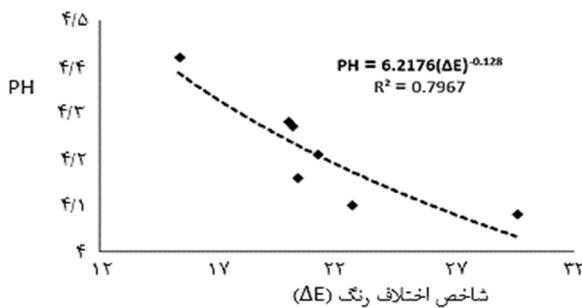
رابطه (۴)

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

مزیت رابطه (۴) در این است که یک خاصیت کیفی محصول غذایی (pH) را به یک خاصیت پردازش تصویر با اندازه گیری آسان ( $\Delta E$ ) مرتبط می سازد.

نحوه تغییرات pH نمونه های برش خورده میوه

گلابی نسبت به تغییرات شاخص اختلاف رنگ ( $\Delta E$ ) در شکل (۱۰) نشان داده شده است. طبق نتایج نشان داده شده در شکل (۱۰)، با افزایش شاخص اختلاف رنگ ( $\Delta E$ ) مقدار pH لایه های برش خورده میوه گلابی به صورت یک رابطه توانی کاهش می یابد. داده های مربوط به pH نشان داده شده در شکل (۱۰) پس از خشک شدن نمونه ها اندازه گیری شده است



شکل ۱۰ - همبستگی بین شاخص اختلاف رنگ ( $\Delta E$ ) و pH میوه گلابی

خشک شدن به صورت تابعی از زمان در شکل (۱۱) نشان داده شده است. در شکل (۱۱)، چروکیدگی نمونه های برش خورده گلابی برای دمایها و سرعت های مختلف

تغییرات چروکیدگی لحظه ای محصول در حال خشک شدن

تغییرات چروکیدگی سطحی برش های گلابی در حین

از میوه‌ها یا محصولات زراعی می‌باشد. در تحقیق‌های Taiwoa و همکاران (۲۰۰۷) 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 بهدست آمده، بیشترین مقدار چروکیدگی (۴۸/۹۵ درصد) مربوط به دمای خشک‌کردن ۸۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت جريان ۰/۵ متر بر ثانیه می‌باشد. همچنین کمترین مقدار چروکیدگی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت جريان ۵/۰ متر بر ثانیه (۳۲/۵ درصد) و سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه (۳۳/۵۸ درصد) بهدست آمد که اختلاف بین آنها معنی‌دار نبود.

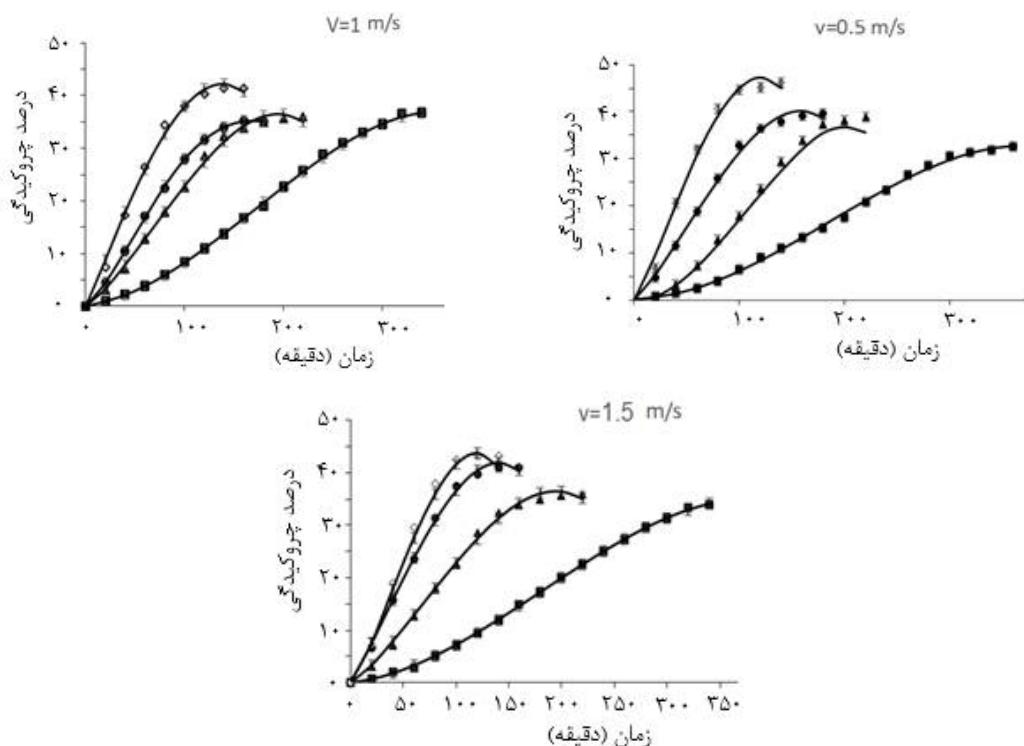
در ادامه داده‌های چروکیدگی در هر لحظه ( $sh$ ) به همراه زمان خشکشدن ( $t$ ) بر حسب دقیقه با استفاده از مدل چندجمله‌ای درجه ۳ ارائه شده در رابطه (۵) برآورد شدند (Ratti, 1994). این برآورد در شکل (۱۱) به صورت منحنی‌های با خط توپر نشان داده شده است.

رابطه (۵)

$$sh = k_0 + k_1 t + k_2 t^2 + k_3 t^3$$

به طوری که در این رابطه،  $k$  ثابت‌های مربوط به چروکیدگی هستند. میانگین شاخص‌های  $R^2$ ، RMSE و SSE برای مقادیر حاصل از برآورد چروکیدگی به ترتیب برابر با ۰/۹۹۹۸، ۰/۰۵۲ و ۰/۰۲۸ بهدست آمد. مقادیر بهدست آمده برای  $R^2$ ، RMSE و SSE نشان می‌دهد که داده‌های آزمایشی مربوط به چروکیدگی نمونه‌های برخورده گلابی به صورت رضایت‌بخشی توسط مدل ارائه شده در رابطه (۵) برآورد شده است.

جريان هوای گرم ارائه شده است. باتوجه به نتایج نشان‌داده شده در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود که میزان چروکیدگی برش‌های گلابی با افزایش زمان خشکشدن و درنتیجه کاهش محتوا رطوبتی، افزایش می‌یابد. بهاین‌دلیل که با خارج‌شدن رطوبت، تنفس‌های 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 تنفس‌های 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 مؤینه داخلی کاهش یافته و درنتیجه تنفس‌های ویسکوالاستیکی در دیواره سلول‌ها و منافذ داخلی کاهش می‌یابد. نتیجه این موضوع چروکیدگی میوه می‌باشد. باتوجه به نتایج نشان‌داده شده در شکل (۱۱)، در مراحل اولیه خشکشدن، به علت خروج سریع تر 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 ۳ گانه ذکر شده در منحنی چروکیدگی با نواحی ۳ 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 آرمنهای بیشتری برای تعداد قابل توجهی



شکل ۱۱ - تغییر چروکیدگی در طی خشک شدن با دمای های مختلف، نقاط حاصل از داده های آزمایشگاهی و برازش با رابطه (۵):  
■  $T=50^{\circ}\text{C}$ ; ▲  $T=60^{\circ}\text{C}$ ; ●  $T=70^{\circ}\text{C}$ ; ◇  $T=80^{\circ}\text{C}$

مربوط به مقایسه میانگین ها در جدول (۲) ارائه شده است. در جدول (۲)، بیشترین مدت زمان برای خشک شدن نمونه های برش خورده گلابی مربوط به دمای ۵۰ درجه سانتی گراد و سرعت جریان ۵/۰ متر بر ثانیه می باشد. همچنین کمترین مدت زمان برای خشک شدن نمونه های برش خورده گلابی مربوط به دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و سرعت جریان ۱/۵ متر بر ثانیه بود که برابر با ۱۲۸/۳۳ دقیقه به دست آمد.

تأثیر پارامترهای دما و سرعت جریان هوا و ورودی بر زمان خشک شدن میوه گلابی با توجه به نتایج آنالیز واریانس، اثر مستقل دما، سرعت جریان هوا ورودی و اثر متقابل سرعت و دما (سرعت×دما) بر زمان خشک شدن نمونه های برش خورده میوه گلابی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. با توجه به معنی دار شدن اثر متقابل دما و سرعت جریان هوا در سطح احتمال ۱ درصد، نتایج

جدول ۲ - نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت و دما بر زمان خشک شدن میوه گلابی

		دما	
		(درجه سانتی گراد)	دما
سرعت (متر بر ثانیه)		۰/۵	۱/۵
۳۰۰ <sup>c</sup>		۴۰/۸/۳۳ <sup>a</sup>	۳۰۰ <sup>c</sup>
۲۲۸/۳۳ <sup>d</sup>		۲۶/۶۶ <sup>d</sup>	۲۲۸/۳۳ <sup>d</sup>
۱۶۸/۳۳ <sup>f</sup>		۱۸۰ <sup>e</sup>	۱۶۸/۳۳ <sup>f</sup>
۱۲۸/۳۳ <sup>g</sup>		۱۶۱ <sup>ef</sup>	۱۲۸/۳۳ <sup>g</sup>

حروف مشابه عدم معنی داری بین سطوح مختلف را نشان می دهد.

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

نتیجه گیری در کار تحقیقاتی حاضر، تغییرات رنگ، چروکیدگی و pH برش های نازک گلابی در خشک کن جابه جایی

گرم از  $۰/۵$  تا  $۱/۵$  متر بر ثانیه، pH نمونه‌های برش خورده را به طور معنی‌داری کاهش داد که باعث افزایش اسیدی‌شدن میوہ خشک‌شده گردید. لذا سرعت هوای  $۰/۵$  متر بر ثانیه به عنوان سرعت بهینه در خشک‌کردن نمونه‌های برش خورده میوہ گلابی انتخاب گردید.

در صد تغییرات pH، چروکیدگی و تغییرات رنگ کلی  $\Delta E$  در دمای خشک‌کردن  $۵۰$  درجه سانتی‌گراد به طور معنی‌داری از مقادیر مربوط به دمای خشک‌کردن  $۷۰$  درجه سانتی‌گراد کمتر بود، لذا از این نظر به دمای خشک‌کردن  $۷۰$  درجه سانتی‌گراد ترجیح دارد. از طرف مقابل زمان خشک‌شدن در دمای  $۵$  درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای گرم  $۰/۵$  متر بر ثانیه برابر با  $۴۰/۸/۳۳$  دقیقه و در دمای خشک‌کردن  $۷۰$  درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای گرم  $۰/۵$  متر بر ثانیه برابر با  $۱۸۰$  دقیقه به دست آمد که اختلاف بین زمان خشک‌شدن در دو دما بسیار قابل توجه است. به نظر می‌رسد که در صنایع انتظار چندین برابری 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  $۵۰$  و  $۷۰$  درجه سانتی‌گراد را بهبود داد که می‌تواند موضوع تحقیق‌های بعدی باشد. با توجه به موارد ذکر شده، دمای خشک‌کردن  $۷۰$  درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای  $۰/۵$  متر بر ثانیه برای خشک‌کردن لایه‌های برش خورده میوہ 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  $۵۰$  درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای  $۰/۵$  متر بر ثانیه قابل استفاده می‌باشد.

افزایش سرعت جریان هوای ورودی، باعث کاهش pH نمونه‌های برش خورده میوہ گلابی می‌گردد، به طوری که بیشترین کاهش pH در دمای خشک‌کردن  $۸۰$  درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای  $۱/۵$  متر بر ثانیه به دست آمد. همچنین با توجه به نتایج پردازش تصویر، کمترین مقدار تغییر رنگ با توجه به مؤلفه‌های  $L^*a^*b^*$  در دمای  $۵۰$  درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای  $۰/۵$  متر بر ثانیه مشاهده شد. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، دمای  $۸۰$  درجه سانتی‌گراد به علت تغییر رنگ شدید و کاهش قابل توجه pH بافت خشک‌شده، همچنین افزایش چروکیدگی دمای مناسبی برای خشک‌کردن نمونه‌های برش خورده گلابی تشخیص داده نشد. از طرف دیگر شاخص اختلاف رنگ کلی در دمای  $۶۰$  درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای خشک‌کردن  $۷۰$  درجه سانتی‌گراد بوده و اختلاف بین درصد چروکیدگی در دو دمای خشک‌شدن  $۶۰$  و  $۷۰$  درجه سانتی‌گراد معنی‌دار نبود. لذا دمای  $۶۰$  درجه سانتی‌گراد نیز از موارد انتخابی حذف گردید. به همین دلیل در ادامه بررسی، مقایسه نهایی تمام عوامل کیفی و زمان خشک‌شدن بین دمای  $۷۰$  درجه سانتی‌گراد و دمای  $۵۰$  درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. در دمای  $۷۰$  درجه سانتی‌گراد بین سرعت جریان هوای  $۱/۵$  و  $۰/۵$  متر بر ثانیه، سرعت جریان هوای  $۰/۵$  متر بر ثانیه انتخاب گردید که تغییر رنگ ( $\Delta E$ ) کمتری در سطح احتمال  $۱$  درصد داشت. همچنین با افزایش سرعت هوای گرم از  $۰/۵$  تا  $۱/۵$  متر بر ثانیه، چروکیدگی میوہ در دمای خشک‌کردن  $۷۰$  درجه سانتی‌گراد به میزان  $۴/۷۰$  درصد افزایش یافت. تنها مزیت افزایش سرعت هوای گرم از  $۰/۵$  تا  $۱/۵$  متر بر ثانیه در دمای خشک‌کردن  $۷۰$  درجه سانتی‌گراد، کاهش زمان خشک‌شدن به میزان  $۲۲$  دقیقه بود که زمان خشک‌شدن در این دما را به میزان  $۱۲$  درصد کاهش داد. در عوض افزایش سرعت هوای

## منابع

- ۱- حیدری، م. و نصیری، م. ۱۳۹۴. مدل‌سازی ریاضی فرایند خشک‌شدن لایه نازک میوہ گلابی و بررسی اثر دما و سرعت هوای خشک‌کن بر تغییر رطوبت نسبی هوای خروجی. *فصلنامه علوم و صنایع غذایی*, ۴۸: ۲۱۵-۲۲۹.

- ۲- زمانی قلعه‌شاهی، ع.، فرهوش، ر. و رضوی، س.م.ع. ۱۳۹۴. ارزیابی اثر صمغ دانه ریحان بر میزان جذب روغن و خواص فیزیکی خلال های سیپزمانی طی سرخ کردن عمیق. نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۱(۴): ۹۹-۱۰۴.
- ۳- کارگذاری، م. ۱۳۸۶. بهینه سازی خشک کردن اسمزی هویج با استفاده از روش سطح پاسخ. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، رشته مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.
- ۴- کاووسی، ج. ۱۳۹۱. بهبود ضریب عملکرد و راندمان خشک کن های پمپ حرارتی به کمک انرژی خورشیدی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهروд.
- ۵- اسماعیلی ادبی، م.، موسوی سیدی، س.ر.، کلانتری، د. و تقیزاده، ا. ۱۳۹۵. بررسی برخی تغییرات خواص کیفی ژل آلوئهورا در خشک کن بازگردشی جریان هوای گرم. نشریه علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۳(۵۴): ۸۵-۹۳.
- ۶- محمدی، ع.، رفیعی، ش.، کیهانی، ع. و امام جمعه، ز. ۱۳۸۷. بررسی مدل خشک کردن ورقه های نازک کیوی (رقم هایپاراد) در خشک کن لایه نازک. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون، ۶-۷ شهریور ماه، مشهد.
- ۷- مهرآور، ح.، کیانمهر، مح.، آغازلو، م. و عرب حسینی، ا.م. ۱۳۸۷. ارائه مدل ریاضی نرخ تبخیر برای خشک شدن لایه نازک آلبالو. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون، ۶-۷ شهریور ماه، مشهد.
- 8- Akpinar, E.K. Bicer, Y. & Yildiz, 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 atmosphHere on the stability of Dhakki dates. Swiss Society of Food Science and Technology, 39(6):671-676.
- 11- CIE, 1986. Colorimetrie and central bureau of the comission 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 ystems 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 antioxidant ants 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., & Weitmauer, 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., Leo'n, 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 Khorshidi<sup>1</sup>, Davood Kalantari<sup>2\*</sup>, Ali Asghari<sup>3</sup>

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.kalantari@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