نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج

بررسی تغییر رنگ و میزان چروکیدگی ورقه‌های سیب‌زمینی خشک شده با استفاده از تکنیک پردازش تصویر

نگار حافظی [۱*]، محمد جواد شیخ داودی [۲]، سید مجید سجادیه [۳]، امیرحسین ارکیان [۴]

۱– دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز

۲و ۳– به‌ترتیب دانشیار و استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز

۴– دانشجوی کارشناسی دانشگاه شهید چمران اهواز

ایمیل مکاتبه کننده: nhafezi05@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش تغییرات چروکیدگی و رنگ ورقه‌های سیب‌زمینی در یک خشک‌کن مادون قرمز- خلأ با استفاده از تکنیک پردازش تصویر در نرم افزار متلب، طی فرآیند خشک شدن مورد مطالعه قرار گرفته است. خشک کردن ورقه‌های سیب‌زمینی در سه سطح توان لامپ مادون قرمز ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ وات، چهار سطح فشار مطلق ۲۰، ۸۰، ۱۴۰ و ۷۶۰ میلی‌متر جیوه با سه ضخامت ورقه ۱، ۲ و ۳ میلی‌متر انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش توان تابشی لامپ مادون قرمز و کاهش ضخامت ورقه‌های سیب‌زمینی، زمان خشک شدن کاهش یافته و در نتیجه تغییر شکل بیشتری (به عنوان یک عامل منفی) در ورقه‌های سیب‌زمینی به وجود آمده است. طبق نتایج بدست آمده می‌توان بیان کرد که ضخامت ورقه‌ها و دمای خشک کردن که ناشی از تابش لامپ مادون قرمز بوده است تاثیر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) بر تغییرات مساحت نمونه طی فرآیند خشک شدن داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: چروکیدگی، سیب‌زمینی، پردازش تصویر، مادون قرمز، خلأ

مقدمه

هدف عمده خشک کردن ماده غذایی، افزایش ماندگاری محصول نهایی و کاهش رطوبت محصول می‌باشد، فرآیند خشک کردن باید تا حدی انجام شود که بتواند رشد میکروبی و واکنش‌های شیمیایی را محدود کند. اگر چه خشک کردن یکی از پرکاربردترین روش های نگهداری محصولات کشاورزی و مواد غذایی به شمار می رود؛ اما کیفیت نهایی محصول تولید شده به عنوان یکی از شاخص های بسیار مهم در فرآیند خشک کردن باید مورد توجه قرار گیرد. تعیین و کنترل شاخص‌های کیفی از جمله رنگ، طعم و بافت می‌تواند در نگهداری و بازاریابی محصول نهایی بسیار موثر باشد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۲).

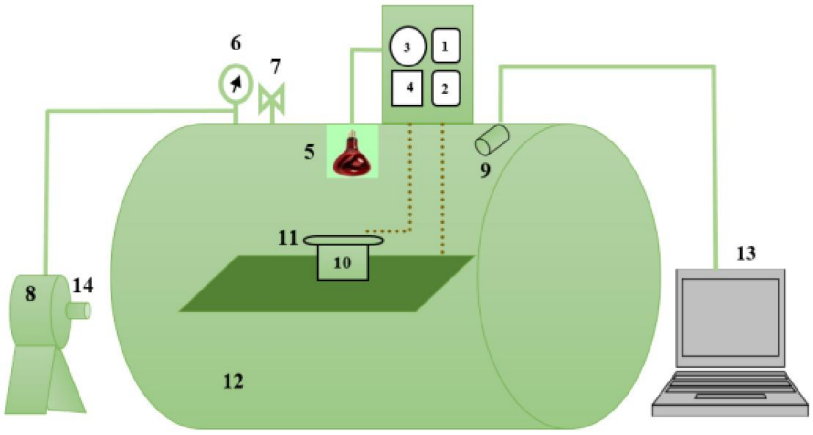
پردازش تصویر روشی برای تبدیل یک تصویر به صورت دیجیتال و انجام برخی از عملیات بر روی آن، به منظور دریافت یک تصویر بهبود یافته و یا برای استخراج برخی از اطلاعات مفید از آن است. پردازش تصویر دیجیتالی کاربردهای بسیار گسترده و متنوعی را در بر می‌گیرد. تصویر دیجیتالی ترکیبی است از تعداد عنصر محدود است که هر کدام مکان و مقدار خاصی دارند. این المان‌ها نقاط تصویر یا پیکسل نامیده می‌شود. رنگ به عنوان یک ویژگی فیزیکی اساسی در غذاها و محصولات کشاورزی به حساب می‌آید. آزمایش بصری، متداول‌ترین روش برای ارزیابی رنگ محصولات است. تغییرات در رنگ محصولات به خاطر واکنش‌های ترکیبی داخل محصول در طول فرآیند خشک کردن می‌باشد. اندازه‌گیری رنگ و تحلیل آن در اکثر مواد غذایی از جمله سبزیجات و میوه‌جات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش عکس‌برداری دیجیتالی، هزینه وسایل و نرم افزار ارزان و آماده‌سازی آزمایش و انجام آن ساده است و اندازه‌گیری و تحلیل رنگ برای تحقیقات مهندسی صنایع غذایی از دقت قابل قبول برخوردار می‌باشد (فرحناکی و همکاران، ۱۳۸۸). یداللهی‌نیا و جهانگیری (۲۰۰۹) از سامانه ماشین بینایی و تکنیک پردازش تصویر برای بررسی چروکیدگی لایه‌های سیب‌زمینی طی فرآیند خشک شدن استفاده کردند. آنها در سامانه خود تنها تصویر سطح محصول را دریافت می‌کردند. بنابراین مبنای چروکیدگی را تغییرات سطح، محیط، میزان کشیدگی و میزان گردی نمونه‌ها قرار دادند و گزارش کردند که با کاهش محتوای رطوبتی محصول میزان کشیدگی آن افزایش و میزان گردی کاهش می‌یابد. همچنین دریافتند که میزان تغییرات سطح و محیط نسبت به حالت اولیه، رابطه خطی با نسبت محتوای رطوبتی محصول دارد. روستاپور و همکاران (۱۳۹۰) نیز از تکنیک پردازش تصویر در اندازه‌گیری میزان چروکیدگی ورقه‌های سیب‌زمینی طی خشک کردن در خشک‌کن جریان هوای موازی استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که دما و برهمکنش ضخامت و جهت باد در چروکیدگی و تغییرات مساحت سیب‌زمینی اثر معنی‌داری در سطح ۱٪ و برهمکنش دما و ضخامت و همچنین دما و ضخامت و جهت باد تاثیر معناداری در سطح ۵٪ داشته‌اند. کانترانگ و همکاران[1] (۲۰۱۲) به مطالعه بر روی خصوصیات کیفی و ویژگی‌های خشک کردن ورقه‌های قارچ توسط خشک‌کن ماکروویو- خلأ در ترکیب با روش مادون قرمز پرداختند. نتایج نشان داد که در بیشترین توان ماکروویو، کمترین میزان فشار مطلق (بیشترین میزان خلأ) و بالاترین سطح توان مادون قرمز رنگ ورقه‌ی خشک شده قارچ روشن‌تر بوده و تغییرات کمتری نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی داشته است. کمترین میزان تغییرات رنگ در توان ماکروویو ۲۶۷ وات، خلأ ۱۸/۶۶ کیلو پاسکال و توان تابشی ۲۰۰ وات مشاهده شد. هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر عوامل مختلف (میزان فشار مطلق، توان تابشی لامپ مادون قرمز و ضخامت) بر میزان چروکیدگی و رنگ ورقه‌های سیب‌زمینی طی فرآیند خشک کردن با استفاده از خشک‌کن ترکیبی مادون قرمز- خلأ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق از سیب‌زمینی، رقم مارفونا با وزن مخصوص ۱/۰۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ماده خشک ۱/۳۵ ± ۱۹/۰۱٪ استفاده شد. در این تحقیق از یک خشک‌کن خلایی به همراه وسیله گرمایشی (لامپ مادون قرمز) در مقیاس آزمایشگاهی موجود در کارگاه آموزشی مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهید چمران اهواز،

[1] Kantrong et al.

با شماتیک کلی نشان داده شده در شکل (۱) استفاده گردید. اجزای اصلی دستگاه شامل یک محفظه‌ی استوانه‌ای شکل از جنس فولاد و یک پمپ خلأ پیستونی با ولتاژ ۲۲۰ ولت، فرکانس ۵۰ هرتز و شدت جریان الکتریکی ۵/۱ آمپر است. درون محفظه تعدادی میله به صورت افقی و موازی با هم جهت قرار دادن ترازو و سینی نمونه تعبیه شده است. به منظور ایجاد شدت تابش‌های مختلف بر روی نمونه از یک لامپ مادون قرمز با توان ۲۵۰ وات و ولتاژ ۲۳۰ ولت ساخت کشور اسلواکی و شرکت OSRAM استفاده شد. در همه تیمارهای آزمایشی لامپ مادون قرمز درون دستگاه به مدت ۱۵ دقیقه جهت یکسان شدن شرایط دمایی درون محفظه قبل از شروع آزمایش‌ها روشن می‌شد. پیش از شروع کار پمپ، فشار مخزن با فشار هوا یکسان بوده است، سیکل کاری دستگاه با تابش لامپ مادون قرمز برای ایجاد حرارت و بکار انداختن پمپ خلأ جهت مکش هوای درون محفظه‌ی خلأ آغاز می‌شد، در این حالت با مکش هوا توسط پمپ، فشار درون محفظه کاهش می‌یافت. زمان خشک شدن با رسیدن رطوبت محصول به رطوبت نهایی و توقف پمپ خلأ، خاموش شدن لامپ و نیز باز شدن شیر تهویه و ورود هوا به درون محفظه متوقف شد. از لامپ مادون قرمز در قسمت فوقانی محفظه خلأ جهت حرارت دادن به محصول و تسریع عمل خشک شدن استفاده شد. ارتفاع نصب لامپ تا سینی نمونه‌ها در یک سری پیش آزمایش‌ها اندازه‌گیری و مقدار ثابت ۱۵ سانتی‌متر تعیین شد. دمای ناشی از تابش نور لامپ به سطح محصول به وسیله یک حسگر دما (SAMWON ENG, SU-105KRR) که در زیر سینی نمونه قرار داشت سنجیده شد. دمای شروع کار جهت انجام آزمایش‌ها (در مدت زمان ۱۵ دقیقه پیش از شروع فرآیند) در تمام تیمارها یکسان و به میزان ۵۰ درجه سلسیوس بوده است. میزان ولتاژ لامپ با استفاده از یک دیمر در تمام آزمایش‌ها قابل تنظیم بود، در این حالت میزان شدت جریان نیز به تبع تغییر ولتاژ متغیر می‌باشد. مقدار توان مصرفی لامپ مادون قرمز جهت انجام فرآیند خشک کردن در سه سطح ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ وات مورد بررسی قرار گرفت. شرایط خلاء درون محفظه توسط شیر تنظیم خلأ کنترل شد و میزان خلأ مرتباً توسط خلأسنج (WKP-SH01) نصب شده روی قسمت فوقانی محفظه خشک‌کن کنترل گردید. میزان خلاء در چهار سطح فشار مطلق ۲۰، ۸۰، ۱۴۰ و ۷۶۰ میلی‌متر جیوه سنجیده شد. رطوبت نسبی هوای محفظه تحت خلأ از طریق حسگر رطوبت‌سنج پایش می‌شد. رطوبت نسبی درون محفظه خشک‌کن در شروع آزمایش‌ها به طور میانگین برابر با ۳۵ درصد بود. تغییرات محتوای رطوبتی محصول دائماً از طریق اندازه‌گیری وزن سیب‌زمینی‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۵ گرم (Lutron, GM- 1500P, Taiwan) جای داده شده درون محفظه خشک‌کن سنجیده شد. جهت قرائت کردن لحظه‌ای کاهش وزن سیب‌زمینی‌ها از یک دوربین (Farassoo-FC-2370) نصب شده بر روی سقف محفظه خشک‌کن استفاده گردید. دوربین از طریق سیم رابط به رایانه متصل شده بود.



شکل ۱- شماتیک دستگاه خشک‌کن مورد استفاده

۱: نمایشگر رطوبت‌سنج ۲: نمایشگر دماسنج ۳: دیمر لامپ مادون قرمز ۴: ولت‌متر ۵: لامپ مادون قرمز ۶: خلأسنج ۷: شیر تنظیم خلأ ۸: پمپ خلأ ۹: دوربین ۱۰: ترازوی دیجیتال ۱۱: سینی نمونه‌ها ۱۲: محفظه خلأ ۱۳: رایانه ۱۴: مجرای خروج هوا

در کلیه آزمایش‌ها سیب‌زمینی‌ها تا زمان انجام آزمایش جهت کاهش میزان شدت تنفس و تغییرات فیزیولوژی و شیمیایی در سردخانه‌ی دانشکده کشاورزی با دمای ۴ تا ۶ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد نگه‌داری شدند. قبل از انجام آزمایش‌ها تعدادی از نمونه‌های سیب‌زمینی را شسته تا مواد خارجی و ذرات خاک، به خوبی از آن جدا گردد. سپس مدتی در آبکش قرار داده شد تا آب آن به طور کامل گرفته شود. بعد از آن سیب‌زمینی، مرحله پوست‌گیری را طی کرده و توسط دستگاه لایه‌کن دستی به ورقه‌هایی با ضخامت‌های ۱، ۲ و ۳ میلی‌متر برش داده شد. جهت یکسان بودن مساحت ورقه‌های سیب‌زمینی از یک قالب استوانه‌ای فلزی به قطر ۵ سانتی‌متر استفاده شد. ورقه‌های سیب‌زمینی بر روی سینی مشبک درون دستگاه خشک‌کن با فواصل مساوی چیده شدند، به طوری که روی سینی تنها یک لایه از نمونه‌های ورقه شده، قرار گیرد. نمونه‌ها قبل از چیده شدن روی سینی خشک‌کن توزین می‌شدند، همچنین در طی خشک شدن وزن کل ورقه‌های نازک سیب‌زمینی با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و ثبت گردید.

اندازه‌گیری رطوبت

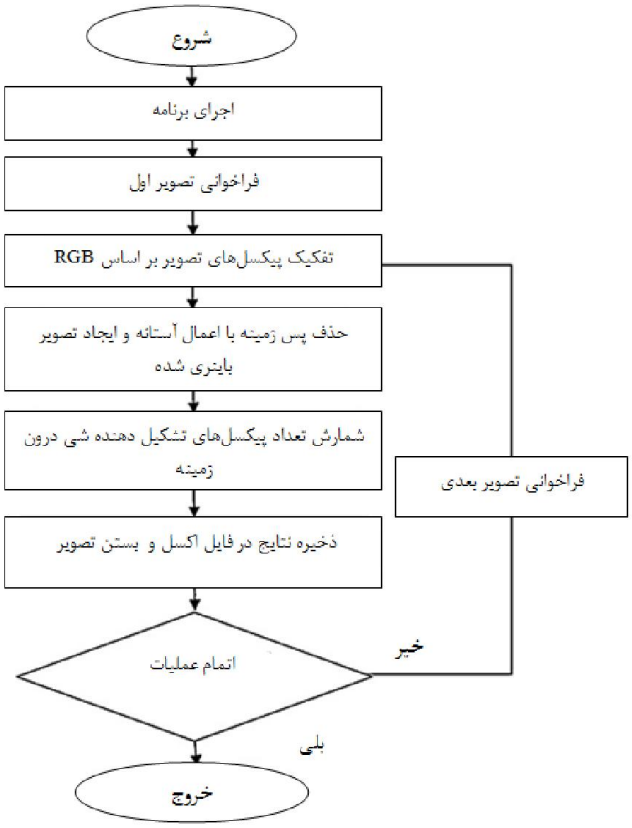
برای اندازه‌گیری محتوای رطوبت سیب‌زمینی‌ها از روش استاندارد انجمن شیمی آمریکا (AOAC, 1990) استفاده گردید. در این حالت، نمونه‌های ۲۵ گرمی به کمک آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. این روند چندین مرحله تکرار شد تا محتوای رطوبتی سیب‌زمینی‌ها در حدود ۷۷/۱۱٪ بر پایه تر بدست آمد.

تصویرگیری و پردازش تصویر

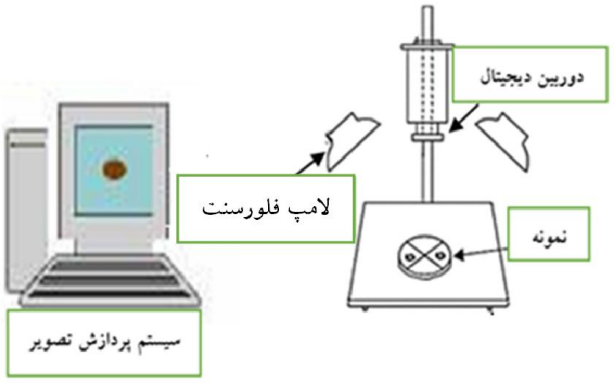
تصویرگیری از نمونه ورقه سیب‌زمینی پس از خشک شدن در خشک‌کن مادون قرمز- خلأ با استفاده از روش عکس برداری دیجیتال و تحلیل آن به کمک محیط پردازش تصویر نرم‌افزار متلب انجام گردید. برای تصویربرداری از نمونه‌های

خشک شده سیب‌زمینی از یک دوربین دیجیتال مدلSAMSUNG ES55 استفاده شد. زاویه بین عدسی دوربین و محور منبع نوری به گونه‌ای بود که نور منعکس شده به دوربین از منبع نوری نبوده و از محصول دریافت می‌شد. فاصله‌ی مابین دوربین دیجیتال و نمونه ثابت بود. علاوه بر این شدت منبع نوری قرار گرفته در بالای محصول بایستی یکنواخت باشد که برای این کار از شدت نوری‌های یکسان با مسافت‌های متفاوت منبع نوری از محصول استفاده شد. عکس‌برداری در اتاق تاریک انجام گردید که نور خارجی بر روی نمونه تاثیر نگذارد. برای نورپردازی از ۴ عدد لامپ کم مصرف فلورسنت[۲] با توان ۲۳ وات استفاده گردید. زاویه نورپردازی قبل از عکس‌برداری تنظیم شد به گونه‌ای که کمترین میزان سایه‌اندازی روی محصول ایجاد شود. تصاویر گرفته شده در فرمت JPEG و رزولوشن ۹۶ dpi ذخیره شد. در تصاویر محصولات کشاورزی و غذایی معمولاً دو منطقه وجود دارد. پیش‌زمینه که تصویر خود شئ است و پس‌زمینه‌ای که شئ در آن قرار دارد. بنابراین تصویر مورد بررسی، تصویر دودویی[۳] یا دوسطحی است که در آن پیکسل‌ها تنها ارزش صفر یا یک دارند. این مقادیر به ترتیب به پیکسل‌های متعلق به پیش‌زمینه و پس‌زمینه اختصاص دارند. جهت تخمین مساحت براساس شمارش تعداد پیکسل‌های تصویر در مرحله اول، ابتدا یک نمونه مربعی ۲cm×۲cm از ورقه سیب‌زمینی مرطوب برش زده شد سپس تصاویر سطوح خاکستری[۴] با تقابل[۵] بالا از روی تصویر رنگی اصلی و بر اساس اجزای قرمز- سبز- آبی[۶] آن تهیه گردید. در مرحله بعد، یک مقدار آستانه عمومی[۷] به عنوان ملاک تشخیص تعداد پیکسل‌های شئ از پیکسل‌های پس‌زمینه تخمین زده شد، مقدار آستانه را می‌توان از روی هیستوگرام (بافت‌نگار) رنگ‌های اصلی (RGB) بدست آورد. در این حالت تک تک پیکسل‌ها با مقدار آستانه مقایسه شده و اگر مقدار پیکسل از مقدار آستانه بزرگ‌تر بود به جای آن رنگ سفید و اگر کوچک‌تر بود رنگ سیاه قرار داده می‌شد. در مرحله بعد، از عملگرهای مورفولوژیکی[۸] برای کاهش نویز[۹] و پر کردن حفره‌های احتمالی ایجاد شده در درون تصویر باینری استفاده گردید. پس از آن‌که تصویر شئ مورد نظر از زمینه جدا شد، تعداد پیکسل‌های روشن (با ارزش یک) که نماینده شئ هستند شمارش شدند. سپس مساحت سطح شئ بر اساس مجموع تعداد پیکسل‌ها و تفکیک‌پذیری تصویر بر حسب میلی‌متر مربع محاسبه گردید (منصوری و همکاران، ۱۳۸۵).

[2]Fluorescent
[3]Binary
[4]Ash level
[5]Contrast
[6]RGB
[7]Global Threshold
[8]Morphological Operators
[9]Noise



شکل ۲- فلوچارت اجرای برنامه پردازش تصویر

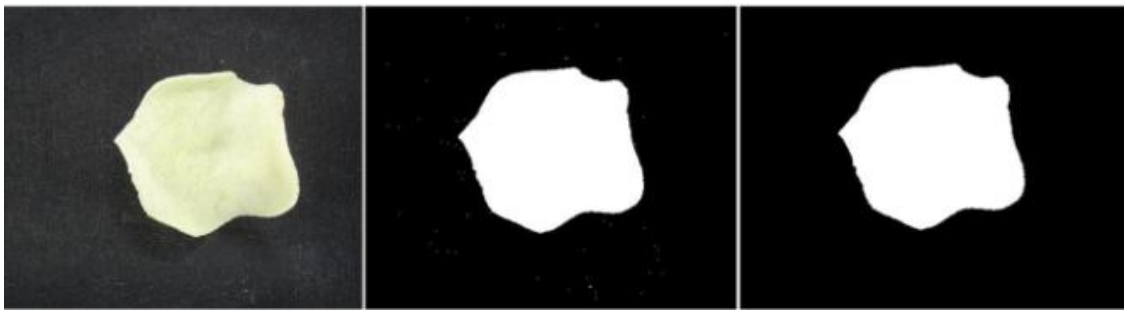


شکل ۳- طرحواره سیستم عکس‌برداری دیجیتال

در نهایت مساحت ورقه‌های سیب‌زمینی قبل و بعد از پروسه خشک شدن نسبت به تعداد پیکسل‌های نمونه کالیبره شده، تخمین زده شد. از رابطه (۱) برای محاسبه تغییرات مساحت نمونه خشک شده نسبت به نمونه اولیه و برآورد میزان چروکیدگی محصول استفاده شد (Wang et al., 2014).

$$\%Shrinkage = \left(1 - \frac{A}{A_0}\right) \times 100 \quad (۱)$$

A: مساحت نمونه خشک شده (mm^2)، A_0: مساحت اولیه نمونه (قبل از خشک کردن)، $Shrinkage$: درصد چروکیدگی



شکل ۴- تصویر اصلی و باینری شده ورقه سیب‌زمینی پس از اعمال آستانه و کاهش نویز

اندازه‌گیری رنگ در این پژوهش با بررسی پیکسل‌های عکس دیجیتالی سطح محصول خشک شده و مرطوب انجام شد که از طریق شدت رنگ، توزیع و میانگین آن بدست آمد. برای اندازه‌گیری رنگ، ابتدا نمونه خشک شده در زیر دستگاه ساخته شده برای عکس‌برداری قرار گرفت و سپس با وضوح تصویر ۳۶۴۸×۲۷۳۶ پیکسل تصویربرداری شدند. پس از ثبت عکس در سیستم پردازش تصویر از سه تکرار انجام شده یک نمونه به طور تصادفی جهت آنالیز رنگ با استفاده از نرم‌افزار متلب انتخاب گردید. از مدل رنگی RGB برای تعیین رنگ نمونه خشک استفاده شد که شامل سه طیف رنگی قرمز (Red)، سبز (Green) و آبی (blue) با دامنه‌ی شدت نور ۲۵۵-۰ (به اینصورت که به ازای رنگ سیاه مقدار صفر و به ازای رنگ سفید مقدار ۲۵۵ در پیکسل ذخیره می‌گردد) می‌باشد. زمینه مورد استفاده جهت عکس‌برداری از ورقه‌های خشک شده سیب‌زمینی به رنگ سفید انتخاب گردید. در نهایت با استفاده از روابط ذیل مقادیر شاخص رنگ و ΔL به عنوان سطح خاکستری محاسبه شدند (فعله‌کری و همکاران، ۱۳۹۱).

$$\Delta R = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \times 100 \quad (۲)$$

$$\Delta G = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100 \quad (۳)$$

$$\Delta B = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100 \quad (۴)$$

$$\Delta L = \frac{\Delta R + \Delta G + \Delta B}{3} \quad (۵)$$

در این روابط R_1، G_1 و B_1 به ترتیب میزان رنگ قرمز، سبز و آبی قبل از خشک شدن نمونه و R_2، G_2 و B_2 به ترتیب نشان‌دهنده میزان رنگ قرمز، سبز و آبی بعد از خشک شدن نمونه، ΔR، ΔG، ΔB به ترتیب بیانگر درصد تغییرات رنگ قرمز، سبز، آبی و ΔL سطح خاکستری می‌باشد که به عنوان میانگینی از تغییرات RGB در نظر گرفته شده است.

طرح آزمایشات

تجزیه و تحلیل آماری با بررسی اثرات ضخامت، فشار مطلق و توان تابشی لامپ مادون قرمز به وسیله آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. داده‌های بدست آمده به کمک نرم‌افزار MSTATC و SPSS16 تجزیه و تحلیل و اختلاف بین میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۱٪ و ۵٪ مقایسه شد.

نتایج و بحث

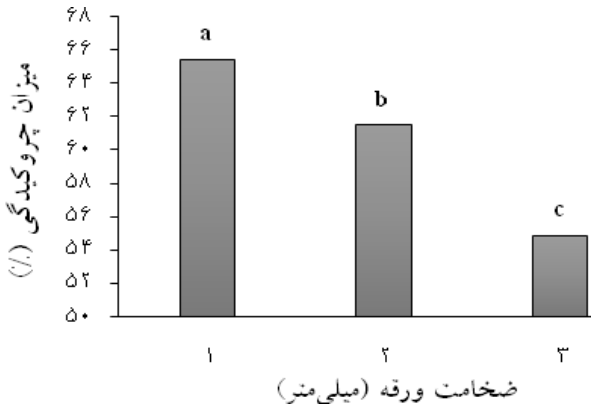
نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها در جدول (۱) نشان داد که ضخامت ورقه و توان لامپ مادون قرمز در سطح احتمال ۱٪ و میزان فشار مطلق در سطح احتمال ۵٪ اثر معنی‌داری بر تغییرات چروکیدگی داشته‌اند. فاکتور ضخامت و توان لامپ مادون قرمز ارتباط منفی و معکوسی با چروکیدگی دارند ولی فشار مطلق رابطه مثبت و مستقیمی با آن دارد، به گونه‌ای که با افزایش ضخامت ورقه، افزایش توان لامپ و کاهش فشار مطلق مقدار چروکیدگی کاهش یافته است.

جدول ۱- تجزیه واریانس تاثیر ضخامت ورقه، فشار مطلق و توان لامپ مادون قرمز بر میزان چروکیدگی ورقه‌های سیب‌زمینی به روش پردازش تصویر

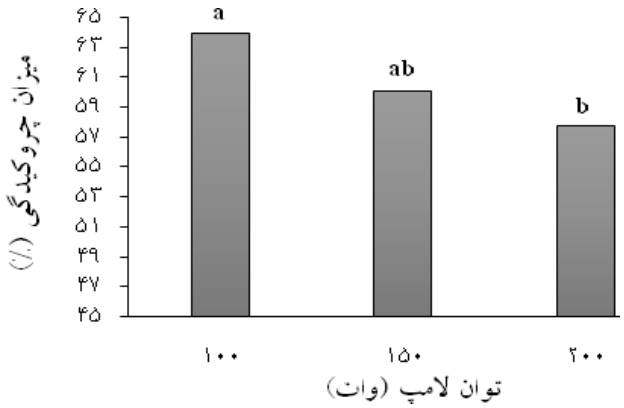
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
ضخامت ورقه	۲	۲۲۹۹/۸۷۳	۱۱۴۹/۹۳۶	۱۸۷/۸۵۰**
فشار مطلق	۳	۱۸۷/۸۲۵	۶۲/۶۰۸	۱۰/۲۲۷*
توان لامپ	۲	۶۹۸/۶۴۶	۳۴۹/۳۲۳	۵۷/۰۶۴**
ضخامت ورقه ×فشار مطلق	۶	۵۹/۶۷۳	۹/۹۴۶	۱/۶۲۵ n.s
ضخامت ورقه × توان لامپ	۴	۵۲/۶۳۷	۱۳/۱۵۹	۲/۱۵۰ n.s
فشار مطلق× توان لامپ	۶	۹۱/۹۷۱	۱۵/۳۲۸	۲/۵۰۴ n.s
ضخامت×فشار مطلق× توان لامپ	۱۲	۱۰۰/۸۸۶	۸/۴۰۷	۱/۳۷۳ n.s
اشتباه	۷۲	۴۴۰/۷۵۴	۶/۱۲۲	
کل	۱۰۷	۳۹۳۲/۲۶۴		

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و n.s عدم وجود اختلاف معنی‌دار

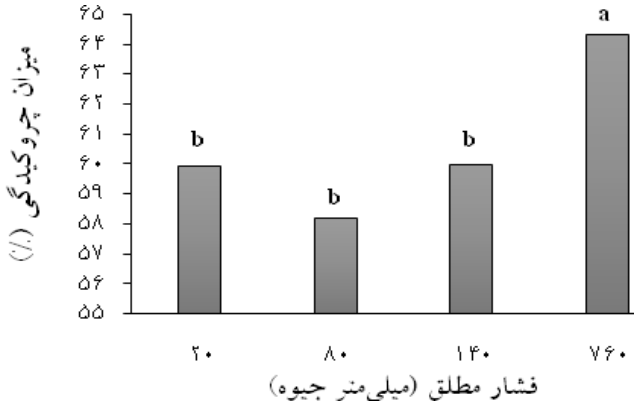
مطابق با شکل‌های (۵) تا (۷) کمترین میزان چروکیدگی (بر مبنای تغییر شکل ورقه سیب‌زمینی) در ضخامت ورقه سه میلی‌متر و در اثر متقابل ۲۰۰×۸۰ حاصل گردید. نتایج نشان داد که ضخامت و توان لامپ بیشترین اثر را بر میزان تغییر شکل (کاهش مساحت) ورقه‌های سیب‌زمینی در روش خشک کردن مادون قرمز- خلأ داشته است به اینصورت که با افزایش توان لامپ و کاهش ضخامت ورقه میزان چروکیدگی (تغییر مساحت ورقه) افزایش یافته است. از این رو نتایج بدست آمده در رابطه با شاخص کیفی چروکیدگی در پژوهش حاضر با مطالعات اسکندری چراتی و همکاران (۱۳۹۱) در زمینه چروکیدگی برگه سیب‌زمینی طی فرایند خشک کردن همخوانی داشته است.



شکل ۵- اثرضخامت ورقه بر میزان چروکیدگی با استفاده از روش پردازش تصویر



شکل ۶- اثر توان لامپ مادون قرمز بر شاخص چروکیدگی با استفاده از روش پردازش تصویر

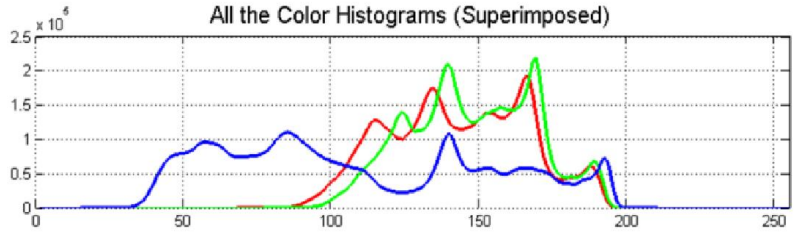


شکل ۷- اثر میزان فشار مطلق بر شاخص چروکیدگی با استفاده از روش پردازش تصویر

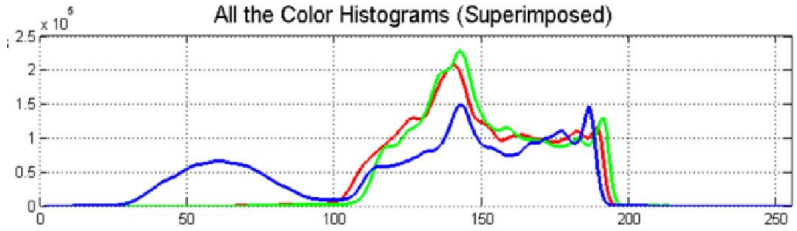
بیشترین درصد تغییرات شاخص سطح خاکستری (ΔL) مربوط به ضخامت ورقه سه میلی‌متر بوده زمانی که جهت انجام پروسه خشک شدن از توان لامپ ۱۰۰ وات در فشار مطلق ۷۶۰ میلی‌متر جیوه استفاده شده است. کمترین درصد تغییرات

رنگ بر اساس شاخص سطح خاکستری در ضخامت یک میلی‌متر با توان تابشی ۲۰۰ وات و میزان فشار ۸۰ میلی‌متر جیوه مشاهده شده که بیانگر پایدار بودن رنگ ورقه سیب‌زمینی قبل و بعد از خشک شدن است.

شکل‌های (۸) و (۹) میزان فراوانی سه رنگ قرمز، سبز و آبی را در شدت نور ۲۵۵-۰ مربوط به تصویر سیب‌زمینی مرطوب و خشک نشان می‌دهد. براساس بافت‌نگارهای نشان داده شده در دو تصویر زیر می‌توان تعداد پیکسل‌هایی که حاوی رنگ مربوطه هستند را بدست آورد. همانطور که ملاحظه می‌شود بالاترین میانگین توزیع رنگ در سیب‌زمینی قبل و بعد از فرآیند خشک شدن، رنگ سبز (G) بوده که بیشترین تعداد پیکسل را به خود اختصاص داده است.



شکل ۸- بافت‌نگار تغییرات رنگ ورقه سیب‌زمینی قبل از خشک کردن



شکل ۹- بافت‌نگار تغییرات رنگ ورقه سیب‌زمینی بعد از خشک کردن

نتیجه‌گیری

از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که در ضخامت‌های کمتر به علت اینکه زمان خشک شدن ورقه سیب‌زمینی کوتاه‌تر و سرعت تبخیر آن سریعتر بوده در نتیجه تغییرات سطحی بیشتری در ورقه دیده شده است در حالی که در این شرایط رنگ محصول پایدارتر می‌باشد.

منابع

۱. ابراهیمی، م. ع. محتسبی، س. رفیعی، ش. نصیری، ا. و حسین‌پور، س. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر عوامل مختلف بر میزان چروکیدگی ورقه‌های نازک موزطی فرآیند خشک کردن با استفاده از روش سطح پاسخ. مهندسی زراعی (مجله علوم کشاورزی). ۳۶ (۲): ۹۲-۸۱.

۲. اسکندری چراتی، ف. شکفته، م. حسین‌پور، ی. و امرایی، ا. ۱۳۹۱. مطالعه چروکیدگی برگه‌های سیب‌زمینی در طی خشک شدن در خشک‌کن لایه نازک. هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. شیراز.

۳. روستاپور، ا.ر. مفتون آزاد، ن. و خالواحمدی، ا. ۱۳۹۰. استفاده از تکنیک پردازش تصویر در مطالعه چروکیدگی سیب‌زمینی در طی خشک شدن با خشک‌کن جریان هوای موازی. اولین کنفرانس خاورمیانه‌ای خشک کردن. ماهشهر.

۴. فرحناکی، ع. عسکری، ح. و مصباحی، غ.ر. ۱۳۸۸. تحلیل تغییرات رنگ رطب در طی خشک کردن با خشک‌کن کابینتی با استفاده از روش عکس‌برداری دیجیتالی. نشریه تکنولوژی علوم غذایی. ۶ (۲): ۱۰-۱.

۵. فعله‌کری، م. امیری چایجان، ر. و امیری پریان، ج. ۱۳۹۱. بررسی برخی خصوصیات فیزیکی (رنگ و چروکیدگی) موسیر به روش خشک کردن مادون قرمز- جابجایی. هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. شیراز.

۶. منصوری، ی. مینایی، س. و توکلی هشجین، ت. ۱۳۸۵. ارزیابی روش تعیین مساحت محصولات کشاورزی و غذایی از روی تصاویر دیجیتالی. مجله علوم و صنایع غذایی. ۳ (۱): ۵۷-۴۱.

7. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. No. 934-06. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
8. Kantrong, H. Tansakul, A. and Mittal, G.S. 2012. Drying characteristics and quality of shiitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared drying. Journal Food Scientists and Technologists.
9. Wang, Z. Zhu, W. Xu, D. and Du, J. 2014. Measurement and Study on Drying Shrinkage Characteristic of Tobacco Lamina Based on Computer Vision. International Federation for Information Processing. Part 1. 419, 306-314.
10. Yadollahinia, A. and Jahangiri, M. 2009. Shrinkage of potato slice during drying. Journal of Food Engineering. Vol. 94. pp. 52-58.

Study of the color and rate of shrinkage of dried potato slices using image processing techniques

Abstract

In this study, shrinkage and color changes of the potato slices in a infrared-vacuum dryer using image processing techniques by MATLAB software,during the drying process is studied. Drying of the potato slices in three levels of infrared lamp power of 100, 150 and 200 watts, the absolute pressure levels 20, 80, 140 and 760 mmHg with three thick slices 1, 2 and 3 mm was performed. The results of the research showed that with increased the infrared radiant power and decreased the thickness of potato slice, drying time is reduced and therefore there is more deformation (as a negative factor) in potato slices. According to the results achieved can be stating that the thickness of the slices and drying temperature that arises from the infrared radiation lamp have had a significant impact ($P<0.01$) on the sample area changes during drying process.

Keywords: Shrinkage, Potato, Image processing, Infrared, Vacuum