

## اندازه‌گیری رنگ سیب زمینی خشک شده به روش ماکروویو با استفاده از پردازش تصویر

احسان فرتاش نعیمی<sup>۱\*</sup>، محمد هادی خوش تقاضا<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

۲- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

\* ایمیل نویسنده مسئول: agri.ehsan@gmail.com

### چکیده

امروزه تقاضای روزافزون برای استفاده از مواد غذایی سالم و با کیفیت، عرضه‌ی روش‌های پردازش تصویر مبتنی بر استفاده از رایانه را ضرورت بخشیده است. این روش‌ها با حذف بازرسی دستی، نقش مهمی در کنترل دقیق و یکنواخت کیفیت مواد غذایی ایفا می‌کنند. هدف این مقاله معرفی روش ساده و کم هزینه‌ای بود که با استفاده از دوربین دیجیتال و نرم افزار بتوان تغییرات رنگ محصول سیب زمینی در حین خشک شدن و در شرایط مختلف را بدست آورد. در این تحقیق، تاثیر ضخامت برش محصول و توان خشک کن بر روی تغییرات رنگ مورد بررسی قرار گرفت. فاکتور توان دارای چهار سطح (۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ وات) و ضخامت سه سطح (۸، ۱۰ و ۱۳ میلی‌متر) بود. خشک کردن به مدت ۲۴۰ ثانیه برای تمامی نمونه‌ها در نظر گرفته شد و تغییرات رنگ بر حسب سه شاخص  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  گزارش گردید. نتایج این مطالعه نشان داد با افزایش توان ماکروویو و کاهش ضخامت محصول، شاخص  $L^*$  کاهش و شاخص‌های  $a^*$  و  $b^*$  افزایش یافت.

**واژگان کلیدی:** پردازش تصویر، خشک کردن، رنگ، سیب زمینی

### مقدمه

خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌ها برای حفظ محصولات کشاورزی و غذایی می‌باشد. همچنین خشک کردن مواد غذایی به خاطر کاهش حجم و وزن فرآورده قابلیت جابجایی آن را آسان‌تر می‌سازد. امروزه استفاده از تکنولوژی‌های جدید مانند فراصوت، مایکروویو و مادون قرمز به منظور کاهش زمان خشک شدن، بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات خشک شده و برطرف کردن عیوب خشک کردن با جریان هوای داغ، به طور وسیعی مورد توجه قرار گرفته است (طهماسبی پور و همکاران، ۱۳۹۳). خشک کردن محصولات غذایی با استفاده از مایکروویو می‌تواند جایگزین مناسبی برای خشک کن‌های هوای گرم محسوب شود. در طیف امواج الکترومغناطیسی بسامدهای بین ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز مربوط به امواج مایکروویو است. برخلاف سامانه‌های گرمایشی رایج، امواج مایکروویو در غذا نفوذ کرده و گرمایش در سراسر ماده غذایی گسترش می‌یابد. در

خشک‌کن میکروویو انرژی الکترومغناطیسی مستقیماً به انرژی جنبشی مولکول‌های آب تبدیل می‌شود. بنابراین، حرارت در داخل محصول تولید شده و انتقال انرژی بوسیله موانع انتقال، به ویژه در مواد ویسکوز تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. نظر به اینکه امواج میکروویو قادر به نفوذ به داخل ماده بوده و بدین ترتیب انرژی را ذخیره می‌کند، لذا در این روش حرارت در سراسر حجم ماده تولید شده و ماده سریع‌تر خشک می‌شود (Krulis et al., 2006).

یکی از شاخص‌های ظاهری مورد توجه خریداران و استفاده‌کنندگان، رنگ محصول خشک شده می‌باشد. اکثر محصولات پس از برداشت و یا در طی فرآیند خشک شدن دچار تغییر رنگ می‌شوند. تمایل فزاینده مصرف‌کننده به محصولات سالم و با ظاهر زیبا موجب شده که روش‌های ارزیابی خصوصیاتی کیفی ظاهری و همچنین دقت و سرعت این روش‌ها مورد توجه قرار گیرد. امروزه روش‌های قدیمی ارزیابی توسط انسان با سامانه‌هایی که بر مبنای رایانه و دوربین کار می‌کنند، جایگزین شده است. این سامانه‌ها به عنوان بینایی ماشین شناخته شده‌اند که در ارزیابی واقعی کیفیت محصولات غذایی مختلف به کار می‌روند (Brosnan and Sun, 2002). برای بررسی میزان تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های رنگی ماده غذایی طی فرآیند خشک شدن، از اصطلاح پارامترها یا شاخص‌های رنگی استفاده می‌شود. این پارامترها شامل میزان روشنایی یا  $L^*$  از رنگ سیاه (0) تا سفید (100)، میزان قرمزی یا  $a^*$  از سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) و میزان زردی یا  $b^*$  از آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) می‌باشند (Guine and Fernandes, 2006). در زمینه کاربرد روش‌های خشک کردن و پردازش تصویر در محصولات کشاورزی و مواد غذایی، همچنین تلفیق این دو مورد، تحقیقات مختلفی صورت گرفته که به چند مورد آن اشاره می‌شود:

در تحقیقی، استخراج شاخص‌های رنگی ورقه‌های نازک سیب در طی فرآیند خشک شدن مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش مقادیر به‌دست آمده از روش پردازش تصویر با دستگاه رنگ‌سنج مقایسه شد. نتایج این مقایسه ضریب تعیین مناسبی برابر با 0/91، 0/94 و 0/95 به ترتیب برای  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  ارائه نمود (Fernandez et al., 2005). طبقه‌بندی چپس‌های سیب زمینی با استفاده از روش رنگ و بافت تصویر مطابق ذائقه گروهی از مصرف‌کنندگان انجام شد. نتایج نشان داد ویژگی بافت نسبت به رنگ در طبقه‌بندی چپس‌ها ارجحیت بیشتری دارد (Mendoza et al., 2007). در آزمایشی، جداسازی غده‌های سالم سیب زمینی از غده‌های ناسالم، همچنین گل‌های چسبیده به سیب زمینی قبل از ورود به انبار بررسی شد. با انعکاس نور فرابنفش تابیده شده به غده‌ها و کلوخه‌ها، همچنین به کارگیری الگوریتم آستانه‌گیری مابین آن دو دقتی معادل 98/78٪ برای تفکیک غده‌ها و 98/28٪ برای کلوخه‌ها به‌دست آمد (Mallahi et al., 2009). در تحقیق دیگری از سامانه ماشین بینایی و تکنیک پردازش تصویر برای بررسی چروکیدگی لایه‌های سیب زمینی طی فرآیند خشک شدن استفاده کردند. در این سامانه تنها تصویر سطح محصول دریافت می‌شد. بنابراین مبنای چروکیدگی، تغییرات سطح، محیط، میزان کشیدگی و میزان گردی نمونه‌ها بود. آن‌ها گزارش کردند که با کاهش محتوای رطوبتی، 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. در این مطالعه نیز اثر سرعت هوای خشک کردن بر



روی میزان چروک‌شدگی ناچیز گزارش شد (Yadollahinia and Jahangiri, 2009). در تحقیقی، محلول الکی اتیل اولئات علاوه بر کاهش زمان خشک شدن انگور بی دانه، میزان روشنایی (شاخص L) را نیز افزایش داد. استفاده از پیش تیمار اسمزی نیز باعث افزایش میزان L نمونه‌های انگور شد. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد رنگ مطلوب کشمش در مقادیر بالای L و مقادیر پایین a/b بدست می‌آید (Pahlavanzade et al., 2002).

پژوهش حاضر به دلیل نبود اطلاعات کافی و مستند در رابطه با تاثیر شرایط خشک‌کردن توسط خشک‌کن میکروویو بر میزان تغییر رنگ محصول سیب زمینی تحت ضخامت‌های مختلف و زمان ثابت صورت گرفته است.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق، ابتدا سیب زمینی‌های پوست‌گیری شده در ضخامت‌های (۸، ۱۰ و ۱۳ میلی‌متر) به وسیله‌ی چاقوی تیزی برش داده شدند و جهت اعمال پیش‌تیمار حرارتی، در آب مقطر به مدت ۲ دقیقه حرارت دیدند. آزمایش در قسمت خشک کردن شامل چهار سطح توان ماکروویو (۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ وات) بود. رنگ سیب زمینی‌های پوست‌گیری شده قبل از خشک‌کردن، با تصویربرداری از آن‌ها و همچنین با استفاده از نرم افزار MATLAB 2015 محاسبه شد. برای عملیات خشک کردن از میکروویو (AEG، مدل Micromat 725 آلمان) استفاده شد. تمامی نمونه‌ها به مدت ۲۴۰ ثانیه در داخل خشک‌کن قرار گرفتند و بلافاصله پس از خارج شدن از آن، عملیات تصویربرداری انجام شد. روند تصویربرداری از نمونه‌ها و پردازش تصویر انجام شده به شرح زیر می‌باشد:

الف- تصویرگیری: در این تحقیق از یک سطح مستطیلی با دو ستون نگاه‌دارنده به عنوان سکوی تصویربرداری استفاده شد. در قسمت بالای این دو ستون و در وسط، محل قرارگیری دوربین قرار داشت. برای تصویربرداری از یک دوربین دیجیتال ۱۲ مگاپیکسل کانن مدل G16 استفاده شد. سیستم نورپردازی از دو لامپ فلورسنت تشکیل شده بود که در دو طرف سکو قرار داشتند. فاصله لامپ‌ها از نمونه ۳۰ سانتی‌متر بود. و تصویربرداری به طور عمودی در فاصله ۴۰ سانتی‌متری نمونه انجام شد (شکل ۱). برای پردازش بهتر تصاویر از یک زمینه‌ی تیره برای قرارگیری محصول هنگام تصویربرداری استفاده شد.

ب- پیش پردازش تصاویر: این مرحله به منظور بهبود تصاویر و حذف قسمت‌های غیر ضروری مانند کوچک کردن سایز تصویر جهت کاهش زمانبری برنامه انجام شد.

پ- پردازش تصویر: ابتدا پس از فراخوانی تصویر در نرم افزار متلب، یک تصویر دودویی از محصول اصلی و زمینه ایجاد شد. سپس تصویر اصلی از زمینه خود جدا گشت (شکل ۲). هدف اصلی از این قسمت به دست آوردن شاخص‌های رنگی  $L^* a^* b^*$  می‌-

باشد. برای این کار تصاویر از فضای رنگی RGB به XYZ و سپس به  $L^* a^* b^*$  تبدیل گردیدند. با استفاده از معادلات زیر تصاویر را می‌توان از فضای رنگی RGB به فضای XYZ تبدیل کرد:

$$R', G', B' \leq 0.03928:$$

$$R = R'/12.92, G = G'/12.92, B = B'/12.92.$$

$$R', G', B' > 0.03928: \tag{2}$$

$$R = [(R'+0.055)/1.055]^{2.4}, G = [(G'+0.055)/1.055]^{2.4}, B = [(B'+0.055)/1.055]^{2.4}.$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4123 & 0.3537 & 0.1804 \\ 0.2126 & 0.7151 & 0.0721 \\ 0.0193 & 0.1191 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \tag{3}$$

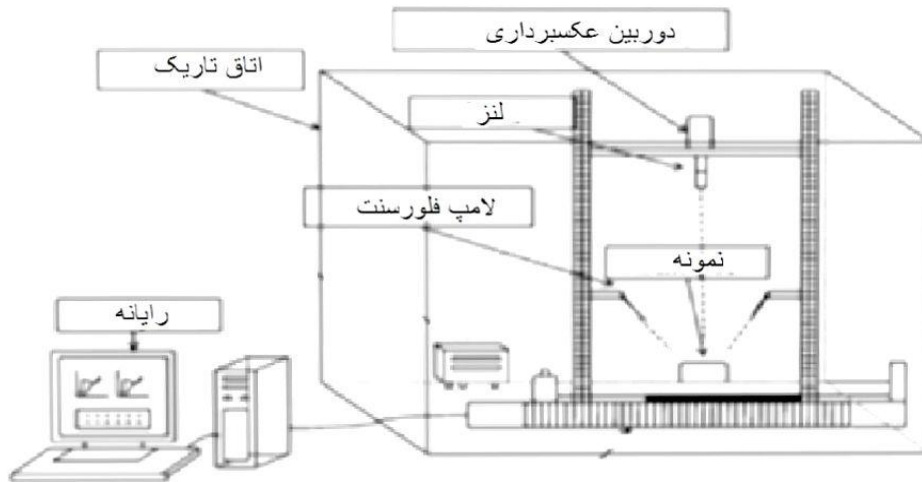
برای تبدیل تصاویر از فضای XYZ به  $L^* a^* b^*$  معادلات زیر به کار می‌روند:

$$Y/Y_n > 0.008856: L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \tag{4}$$

$$Y/Y_n < 0.008856: L^* = 903.3 Y/Y_n, a^* = 500(f(X/X_n) - f(Y/Y_n)), b^* = 200(f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)) \tag{5}$$

در رابطه فوق:

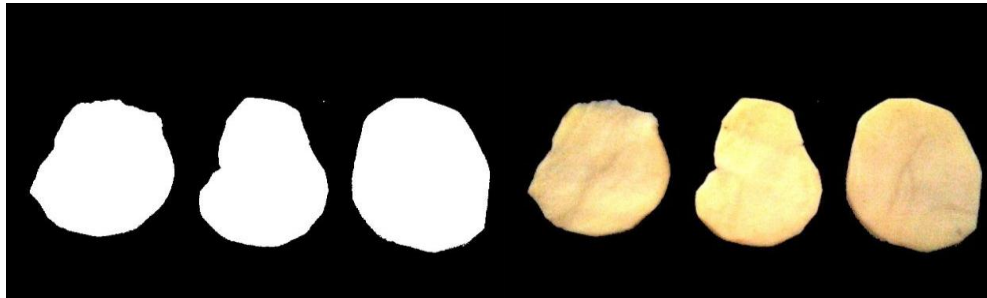
$$t > 0.008856: f(t) = t^{1/3}, \quad t < 0.008856: f(t) = (7.787 \times t) + 16.166 \tag{6}$$



شکل ۱- طرح واره سیستم تصویربرداری

این پژوهش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی بصورت فاکتوریل در چهار سطح توانی مختلف با سه سطح ضخامت و در سه تکرار انجام شد. تعیین معنی‌دار بودن اختلاف‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 16.0 و گروه بندی آنها با استفاده از

آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ صورت گرفت. برای سادگی کار کلیه پردازش‌های انجام شده بر روی تصویر با نرم افزار MATLAB 2015 انجام شده است.



شکل ۲- تصویر دودویی تشکیل شده و جداسازی تصویر اصلی از زمینه

### نتایج و بحث

تغییرات رنگ سیب زمینی در طول خشک کردن در چهار سطح توان ماکروویو و سه سطح ضخامت برش توسط سیستم ماشین بینایی مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی میزان تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های رنگی ماده غذایی طی فرایند خشک شدن، از اصطلاح پارامترها یا شاخص‌های رنگی استفاده می‌شود. همان طوری که در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد تاثیر تیمارهای توان خشک کن، ضخامت محصول و اثرات متقابل این دو بر روی شاخص‌های رنگی  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  در سطح احتمال ۵٪ معنی دار می‌باشد. به طوری که با افزایش توان و کاهش ضخامت نمونه‌ها مقدار شاخص  $L^*$  کاهش و  $a^*$  و  $b^*$  افزایش می‌یابند. این نتایج با یافته‌های محمدی و همکاران (۲۰۰۸) تطابق دارد. علت تغییر پارامترهای رنگی، واکنش‌هایی است که هنگام فرایند حرارتی در مواد غذایی اتفاق می‌افتد که از بین رفتن رنگ‌دانه‌ها و قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی مایلارد از جمله این واکنش‌ها می‌باشد. افزایش توان موجب شده است که سرعت انتشار و خروج رطوبت از نمونه‌های سیب زمینی افزایش یابد و این عوامل با کاهش ضخامت نمونه روند صعودی به خود گرفته است. همچنین واکنش‌های قهوه‌ای شدن باعث تیرگی محصول در طی فرایند خشک کردن می‌شود در حالی که رنگ محصول از نظر میزان قرمزی ( $a^*$ ) و زردی ( $b^*$ ) بهبود می‌یابد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های رنگی سیب زمینی تحت تاثیر توان‌ها و ضخامت‌های مختلف

میانگین مربعات			درجه آزادی	منبع تغییرات
$b^*$	$a^*$	$L^*$		
۱۶۵/۱۳*	۱۰/۰۴*	۶۲/۴۴۱*	۲	ضخامت
۱۰۲/۲۸*	۴۳/۷۷*	۸۸/۸۷*	۳	توان
۲/۴۷*	۰/۵۲۶*	۵/۱۶*	۶	ضخامت×توان

NS و \* به ترتیب معنی دار نبودن و معنی داری در سطح احتمال ۵٪ را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها برای شاخص  $L^*$  در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف معنی‌داری از نظر شاخص رنگی  $L^*$  در توان‌ها و ضخامت‌های مختلف وجود دارد. کمترین مقدار این شاخص رنگی در توان‌های بالای خشک کردن (۲۰۰ و ۳۰۰ وات) و در ضخامت‌های پایین‌تر از ۱۰ میلی‌متر اتفاق می‌افتد. در ضخامت‌های کمتر به دلیل از دست رفتن سریع رطوبت محصول، خشک شدن به مراتب با آهنگ بیشتری نسبت به بقیه حالات اتفاق می‌افتد.

مقایسه میانگین داده‌ها برای شاخص‌های  $a^*$  و  $b^*$  در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. بیشترین مقدار این شاخص‌ها در توان‌های بالای خشک کردن و ضخامت‌های کمتر اتفاق می‌افتد. در اثر کاهش ضخامت محصول از ۱۰ میلی‌متر به ۸ میلی‌متر تغییرات شدیدتری در شاخص‌های رنگی بویژه شاخص  $b^*$  نسبت به توان‌های بالا دیده می‌شود. همچنین تغییرات بوجود آمده در شاخص‌ها از توان ۲۰۰ وات به ۳۰۰ وات در تمامی حالات محسوس می‌باشد.

به طور کلی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد هرچقدر ضخامت محصول زیاد و توان ماکروویو کم باشد شاخص‌های رنگی مورد مطالعه تغییرات کمتری داشته و از بوجود آمدن واکنش‌های قهوه‌ای شدن جلوگیری می‌شود. این در حالی است که در بعضی موارد، افزایش شاخص رنگی  $a^*$  موجب بازارپسندی بیشتر سیب زمینی خشک شده می‌گردد که با توجه به این امر می‌توان از توان‌های متوسط (به طور مثال در این تحقیق ۱۵۰ یا ۲۰۰ وات) و ضخامت‌های بالا برای کاهش واکنش‌های مایلارد و افزایش بازارپسندی محصول خشک شده استفاده کرد.

نمونه‌ای از تصاویر تبدیل شده سیب زمینی خام در شکل ۳ و در دو فضای رنگی RGB و Lab در شکل ۴ آورده شده است. مقادیر شاخص‌ها برای سیب زمینی خام قبل از خشک کردن به صورت زیر می‌باشد:

$$L^* = 74$$

$$a^* = -8/8$$

$$b^* = 55/2$$

جدول ۲- تغییرات شاخص ( $L^*$ ) سیب زمینی در ضخامت‌ها و توان‌های مختلف خشک کردن

توان خشک کردن (وات)				ضخامت محصول (میلی‌متر)
۳۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	
۵۴ <sup>g</sup>	۵۹/۵ <sup>f</sup>	۶۱/۸ <sup>e</sup>	۶۳ <sup>d</sup>	۸
۶۳/۳ <sup>d</sup>	۶۷/۱ <sup>c</sup>	۶۷/۵ <sup>c</sup>	۷۲/۳ <sup>b</sup>	۱۰
۶۷ <sup>c</sup>	۷۱/۴ <sup>b</sup>	۷۲ <sup>b</sup>	۷۳/۸ <sup>a</sup>	۱۳

جدول ۳- تغییرات شاخص ( $a^*$ ) سیب زمینی در ضخامت‌ها و توان‌های مختلف خشک کردن

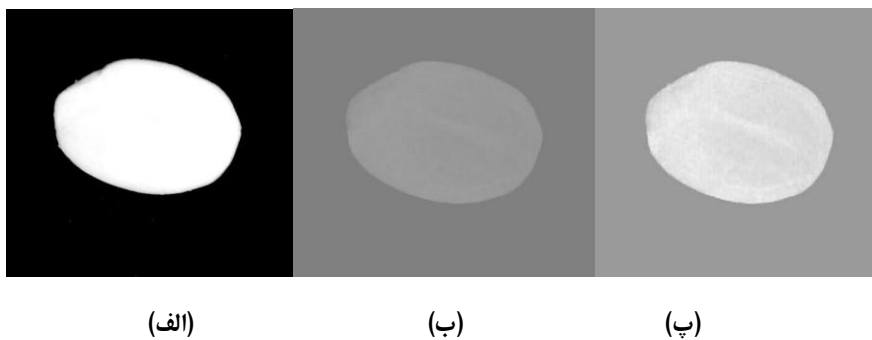
توان خشک کردن (وات)				ضخامت محصول (میلی متر)
۳۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	
-۲/۲ <sup>a</sup>	-۴/۶ <sup>b</sup>	-۶/۴ <sup>c</sup>	-۷/۴ <sup>d</sup>	۸
۲/۴ <sup>a</sup>	۶/۱ <sup>c</sup>	-۷/۳ <sup>d</sup>	-۸ <sup>e</sup>	۱۰
-۴/۳ <sup>b</sup>	-۷/۱ <sup>d</sup>	-۸ <sup>e</sup>	-۸/۵ <sup>e</sup>	۱۳

جدول ۴- تغییرات شاخص (b\*) سیب زمینی در ضخامت‌ها و توان‌های مختلف خشک کردن

توان خشک کردن (وات)				ضخامت محصول (میلی متر)
۳۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	
۵۳/۷ <sup>a</sup>	۴۷/۷ <sup>b</sup>	۴۶/۴ <sup>b</sup>	۴۴/۱ <sup>c</sup>	۸
۴۷/۵ <sup>b</sup>	۴۳ <sup>c</sup>	۴۰/۷ <sup>d</sup>	۴۰ <sup>de</sup>	۱۰
۴۴/۵ <sup>c</sup>	۴۰/۸ <sup>d</sup>	۳۸/۶ <sup>e</sup>	۳۹/۲ <sup>de</sup>	۱۳

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش استفاده از تکنیک پردازش تصویر به عنوان روشی دقیق و با سرعت بالا برای اندازه‌گیری تغییرات رنگ سیب زمینی در اثر خشک کردن مورد بررسی قرار گرفت. میزان شاخص‌های رنگی  $a^*$  و  $b^*$  با افزایش توان ماکروویو و کاهش ضخامت برش محصول در زمان ثابت خشک کردن افزایش یافت، در حالی که میزان شاخص  $L^*$  با کاهش همراه بود. در این تحقیق نمونه‌ها در زمان مشخص شده از ماکروویو خارج شده و تصویربرداری از نمونه‌ها انجام می‌گرفت. با این وجود همانند خشک کن‌های متداول دیگر می‌توان از یک سیستم تصویربرداری معمولی در داخل این نوع خشک کن‌ها استفاده کرد تا تغییرات حاصله در رنگ و میزان چروکیدگی به ازای رطوبت‌های مختلف محصول را اندازه‌گیری کرد.



شکل ۳- نمونه تصاویر تبدیل شده (الف) مولفه  $L^*$  تصویر (ب) مولفه  $a^*$  تصویر (پ) مولفه  $b^*$  تصویر



(الف)

(ب)

شکل ۴- نمایش فضاهای رنگی (الف) RGB (ب) Lab

### منابع

طهماسبی پور، م. دهقان‌نیا، ج. سیدلو هریس، س.ص. قنبرزاده، ب. ۱۳۹۳. مدل‌سازی تغییرات رنگی طی خشک کردن انگور پیش تیمار شده با فراصوت و کربوکسی متیل سلولز و بررسی ویژگی‌های حسی آن. فصلنامه علوم و فناوری‌های نوین غذایی.

Al-Mallahi, A., Kataoka, H., shibata, Y. 2009. Detection of potato tubers using an ultraviolet imaging-based machine vision system. *Biosystem Engineering* 105:257-265.

Brosnan, T., Sun, D. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision – a review. *Journal of Food Engineering* 61:3-16.

Fernandez, L., Castellero, C., Aguilera, J. M. 2005. An application of image analysis to dehydration of apple discs. *Journal of Food Engineering* 67:185-193.

Guiné, R. P. F., Fernandes, R. M. C. 2006. Analysis of the drying kinetics of chestnuts. *Journal of Food Engineering* 76:460-467.

Krulis, M., Kuhnert, S., Leiker, M. 2005. Influence of energy input and initial moisture on physical properties of microwave-vacuum dried strawberries. *Eur Food Res Technol* 221:803-808

Mendoza, F., Dejmek, P., Aguilera, J. M. 2007. Coloure and image texture analysis in classificayion of commercial potato chips. *Food researchinternational* 40:1146-1154.

Mohammadi, A., Rafiee, S., Emam-Djomeh, Z., Keyhani, A. 2008. Kinetic models for colour changes in kiwifruit slices during hot air drying. *World Journal of Agricultural Sciences* 4:376-383.

Pahlavanzade, H., Basiri, A., Zarrabi, M. 2002. Grape drying. *Scientia Iranica* 9: 66-70.





Yadollahinia, A., Jahangiri, M. 2009. Shrinkage of potato slices during drying. Journal of Food Engineering 94: 52-58.