



تصویربرداری بر خط در خشک کردن به روش مایکروویو با تابش پیوسته و بررسی تغییر شکل و رنگ برگه‌های نازک سیب

ابوالفضل قلیخانی^{۱*}، شاهین رفیعی^۳، ناهید عقیلی ناطق^۲، مرتضی آغباشلو^۲، سلیمان حسین پور^۲

۱- دانشجوی ارشد، ۲- دانشجو دکتری، ۳- استاد و ۴- استادیاران گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

* ایمیل مکاتبه کننده: A.Gholikhani@ut.ac.ir

چکیده:

در این پژوهش، با تصویر برداری برخط از روند خشک کردن با اشعه مایکروویو، به بررسی تاثیر آن بر تغییر شکل و رنگ برگه‌های نازک سیب پرداخته شد. به همین منظور ۳ سطح توان تابشی ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ وات انتخاب گردید. برای بررسی و مقایسه کیفیت نمونه‌های خشک شده، با استفاده از تصاویر گرفته شده در طی آزمایش، سینتیک تغییرات برخی شاخص‌های رنگ (L^* ، a^* ، b^* ، کل رنگ، قهوه‌ای شدن و کیفیت خلوص رنگ) و شکل (تغییر قطرها، تغییر مساحت، کشیدگی و گردی) استخراج و ارائه گردید. بررسی‌ها حاکی از تغییرات ناگهانی در ابعاد نمونه‌ها در طول فرآیند بود. خشک کردن با اشعه مایکروویو سبب کاهش L^* و افزایش a^* و b^* در انتهای فرآیند نسبت به نمونه‌های اولیه شد. نتایج این تحقیق می‌تواند جهت بهبود فرآیند خشک کردن سیب با اشعه مایکروویو و کیفیت محصول خشک شده مفید باشد.

واژگان کلیدی: "پردازش تصویر"، "خشک کن"، "مایکروویو پیوسته"، "سیب"

۱- مقدمه

خشک کردن به وسیله مایکروویو به دلیل تفاوت سازوکار گرمادهی، یکی از روش‌های مورد توجه در سال‌های اخیر بوده است. پرتوهای مایکروویو از دست‌په‌پرتوهای الکترومغناطیسی با طول موج بلند می‌باشند. در میدان مایکروویو اجاق‌های خانگی، فرکانس موج الکترومغناطیس ۲۴۵۰ مگاهرتز است. هنگام عبور این امواج از بافت‌های غذایی، میدان الکتریکی متناوب حاصل، سبب جابه‌جایی یون‌ها و یاجرخش مولکول‌های قطب‌پذیر آب با بسامد ۲۴۵۰ مگاهرتز می‌شود تا در راستای میدان قرار گیرند. این جابه‌جایی و چرخش باعث اصطکاک و تولید گرما می‌شود. نکته قابل توجه این‌که برخلاف روش‌های دیگر خشک کردن کهدر آنها گرما باید از سطح به عمق نفوذ کند، در این روش گرما در خود بافت ماده غذایی تولید شده و از آسیب دیدن سوسختن قسمت‌های



Prothon et al., 2001; Maskan, 2001(a); Funebo et al., 2000; Schiffmann, 1992). معمولاً جهت ارزیابی کیفیت محصولات به وسیله پردازش تصویر سه فاکتور رنگ، شکل و بافت مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بین خصوصیات فیزیکی مواد غذایی، رنگ به عنوان مهمترین ویژگی ظاهری در درک کیفیت مطرح شده است (Locht et al., 1997). بررسی تغییرات رنگ محصولات غذایی معمولاً در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ یا CIELab انجام می‌شود (Krokida et al., 1999; Maskan, 2001(b); Ibarz et al., 1999). فرناندز و همکاران در سال ۲۰۰۵ از روش پردازش تصویر بصورت آفلاین برای بررسی فرآیند خشک شدن لایه نازک سیب با استفاده از جریان هوای داغ استفاده کردند. ایشان تغییر پارامترهای استخراج شده از تصویر مانند سطح نمونه، محیط نمونه، شعاع متوسط نمونه، انرژی، آنتروپی، کنتراست تصویر و... را بررسی نمودند و نتایج حاصل را بصورت نمودارهایی بر حسب زمان بدست آوردند (Fernandez et al., 2005). در تحقیقی دیگر به منظور بررسی تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیکی بره‌های سبب حین خشک کردن با خشک‌کن مایکروویو، پژوهشگران دریافتند، در صورتی که میزان آب محصول زیاد باشد، انرژی مایکروویو باعث تخریب کلی ساختار درونی نمونه خواهد شد که نتیجه آن چروکیدگی محصول است. با توجه به این که انرژی مایکروویو در هر شرایطی موجب کاهش پایداری بافت نمونه می‌شود، استفاده از پوشش جهت حفظ ساختار حجیم به وجود آمده ضروری است، که در اینجا پوشش‌های نشاسته‌ای و پکتینی بهترین تاثیر را داشتند. پوشش و انرژی مایکروویو به تنهایی اثر قابل توجهی در افزایش تخلخل نمونه‌ها ندارند، تاثیر مهمتر هنگامی مشاهده می‌شود که این دو با هم مورد استفاده قرار می‌گیرند. به کارگیری انرژی مایکروویو در شرایطی که موجب افزایش حجم نمونه‌ها شود، ویژگی‌های رنگی آنها را نیز بهبود می‌بخشد که علت این امر کاهش تراکم رنگدانه‌ها در واحد سطح است (عسگری و همکاران، ۱۳۸۴).

در تحقیقی میوه کیوی سه روش مایکروویو، هوای داغ و ترکیب مایکروویو و هوای داغ خشک شد. نمونه‌ها به ضخامت ۸/۰۱ میلیمتر برده شدند. در روش مایکروویو از سه سطح توان ۳۵۰، ۲۱۰ و ۴۹۰ وات استفاده گردید. بعد از انجام پیش آزمایش دو سطح توان ۳۵۰ و ۴۹۰ بدلیل ایجاد جوشش در نمونه و سوختگی حذف شدند. در این تحقیق برای اندازه‌گیری تغییر اندازه از روش جابجایی مایع استفاده گردید. نتایج حاصل نشان دادند که خشک کردن تنها با مایکروویو تغییر بیشتری در ابعاد ایجاد می‌کند ولی صرفه جویی در زمان و انرژی مصرفی بیشتری نسبت به روش هوای داغ دارد (Maskan, 2001(a)). در پژوهشی دیگر این محقق به بررسی تغییر رنگ کیوی طی خشک کردن در دو حالت هوای داغ و مایکروویو پرداخت. او پارامترهای L^* ، a^* ، b^* و تغییر رنگ کلی (ΔE) و همچنین شاخص‌های قهوه‌ای شدن، زاویه هیو و کروما را با استفاده از دو مدل نوع اول و نوع دوم مدل‌سازی کرد. نتایج



این تحقیق نشان داد که خشک کردن در هوای داغ تاثیر کمتری روی تغییر رنگ کیوی دارد (Maskan, 2001(b)). در تعداد زیادی از این مطالعات تغییرات رنگ، به وسیله رنگ سنج به دست آمده است. اندازه‌گیری تغییرات رنگ محصولات غذایی به کمک رنگ سنج بسیار مشکل است (Mendoza and Aguilera, 2004). در دهه اخیر، از ماشین‌بینایی برای بررسی تغییرات رنگ محصولات غذایی استفاده می‌شود که شاید به خاطر مزیت‌های آن نسبت به رنگ سنج‌های معمولی است (Brosnan and Sun, 2004). از جمله این مزایا می‌توان به قابلیت تعیین تغییرات رنگ به صورت آنلاین اشاره کرد. در پژوهش حاضر به دلیل نبود اطلاعات کافی از نحوه تاثیر مایکروویو بر محصول در حین خشک شدن به صورت بر خط، با بررسی تصاویر استخراج شده از فرایند خشک شدن برگه‌های نازک سیب تحت تاثیر امواج مایکروویو، برخی ویژگی‌های ظاهری محصول مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- دستگاه خشک کن

در این تحقیق یک خشک‌کن آزمایشگاهی از نوع ترکیبی هوای داغ- مایکروویو استفاده شد (شکل ۱ و ۲). اجزای اصلی خشک کن عبارتند از سامانه تولید امواج مایکروویو (شامل دستگاه مگنترون SAMSUNG به همراه یک ترانس ولتاژ بالا (۲۲۰ ولت به ۲۱۰۰ ولت) و یک خازن (IF AC) ولتاژ بالا و دیود)، یک فن ساترفوژ، کانال عبور جریان هوا، چهار المنت حرارتی (یک عدد المنت ۷۵۰ واتی به منظور پیش گرم کردن جریان هوا، سه المنت ۲۰۰۰ واتی به منظور گرم کردن جریان هوا)، لوله‌های مستقیم کننده، واحد کنترل، لودسل تک نقطه‌ای، سنسورهای اندازه‌گیری دما، محفظه خشک‌کن، واحد تصویربرداری، واحد کنترل منطقی به منظور ثبت اطلاعات و کنترل سرعت فن، دمای هوا و توان مایکروویو است.

۲-۲- آماده سازی نمونه و نحوه انجام آزمایش

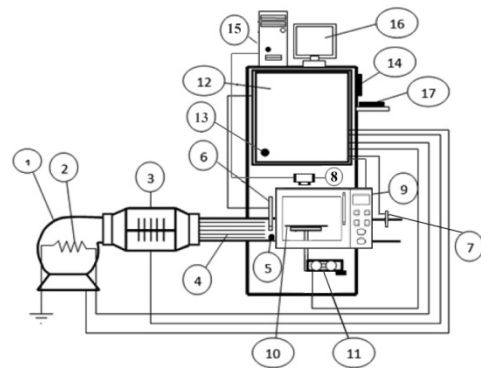
در این تحقیق از سیب رقم رد دلشس ۱ که از بازار میوه و تره بار کرج تهیه شد، استفاده کردیم و به منظور کاهش تنفس و تغییرات فیزیولوژیکی و شیمیایی تا لحظه آزمایش در یخچال نگهداری شدند. برای تعیین وزن خشک سیب، ابتدا سیب پوست گرفته و بدون هسته را وزن کرده و سپس در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیون به مدت ۱۸ ساعت قرار داده شدند (Askari et al., 2004). محتوای رطوبت اولیه سیب در حدود ۸۴٪ - ۸۶٪ بر پایه خشک بدست آمد. بلافاصله پس از

^۱ Red delicious

آنکه سیب‌ها شسته و پوست گرفته شدند، با استفاده از دستگاه ورقه‌بر (کالپاس‌بر) به ضخامت ۶ میلی‌متر برش داده می‌شدند. سپس سینی خالی نمونه‌ها را بر روی پایه T شکل (شکل ۱- شماره ۱۰) قرار داده و با استفاده از دکمه پارسنگ طراحی شده در صفحه HMI، وزن نشان داده شده توسط سیستم توزین صفر می‌شد. پس از آن سینی را بیرون آورده و ۱۳۰ گرم برگه نازک سیب با استفاده از ترازوی دیجیتال توزین شد (ترازوی مورد استفاده در دستگاه خشک‌کن مدل GF3000 ساخت شرکت A&D ژاپن می‌باشد. این ترازو دارای دقت ۰/۰۱ گرم و حداکثر وزن قابل اندازه‌گیری ۳۱۰۰ گرم می‌باشد). سپس برگه‌های سیب بر روی سینی دستگاه به گونه‌ای قرارداد می‌شد که تنها یک لایه از محصول روی سینی قرار بگیرد. حال سینی حامل نمونه‌ها دوباره به دستگاه منتقل گردیده و با تنظیم دوباره شرایط آزمایش با توجه به تیمار مورد بررسی و زدن دکمه Run در برنامه Matlab، آزمایش مربوطه انجام می‌شد. وزن نمونه‌ها هر ۶۰ ثانیه یک بار توسط دستگاه ثبت با دقت ± 0.01 و در همین زمان تصاویر روبرو و بالا از نمونه گرفته می‌شد. این کار تا زمانی که محتوای رطوبت نمونه‌ها به مقدار ثابتی برسد ادامه می‌یافت. آزمایشات شامل سه سطح توان تابشی ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ وات با سه تکرار بودند.



شکل ۲. دستگاه خشک‌کن مورد استفاده



شکل ۱. طرح خشک‌کن هوای داغ - ماکروویو. ۱- فن؛
 ۲- المنت پیش گرمایش؛ ۳- المنت های حرارتی؛ ۴- لوله های
 مستقیم کننده؛ ۵- سنسور سرعت هوا؛ ۶ و ۷- سنسورهای دما؛
 ۸- دوربین دیجیتالی؛ ۹- محفظه تولید مایکروویو؛ ۱۰- صفحه
 پلت فرم؛ ۱۱- لود سل؛ ۱۲- واحد کنترل؛ ۱۳- سنسور دمای
 بیرون؛ ۱۴- HMI؛ ۱۵ و ۱۶- کامپیوتر؛ ۱۷- صفحه کلید.



۳-۲- شاخص‌های اندازه‌گیری شده

۳-۲-۱- شاخص‌های تغییر شکل

برای بدست آوردن اطلاعات تغییر ابعاد نمونه‌ها از تصاویر دودویی استفاده شد. شاخص‌هایی که در این تحقیق استخراج شدند عبارتند از؛ قطر اصلی بزرگ^۳ و قطر اصلی کوچک^۴، تغییرات سطح برگه‌های سیب، شاخص کشیدگی^۵ (درازی) (رابطه ۱) و شاخص گردی^۶ (رابطه ۲).

$$\text{Elongation} = \frac{\text{Major A. L.}}{\text{minor A. L.}} \quad (۱)$$

$$\text{Roundness} = \frac{4\pi A}{p^2} \quad (۲)$$

۳-۲-۲- شاخص‌های تغییر رنگ

تصاویر دیجیتال دریافتی به صورت RGB هستند. این فضای رنگی شامل سه لایه قرمز، سبز و آبی است. پس از ضرب هر یک از تصاویر دیجیتال دریافتی اولیه، در تصاویر دودویی به دست آمده از آنها، روزمینه شامل برگه‌های سیب از پس زمینه جدا می‌گردد. برای تبدیل تصاویر از فضای رنگی RGB به $L^*a^*b^*$ از روش دو مرحله‌ای توضیح داده شده توسط لئون (Leon, 2006) استفاده شده است. در مرحله اول پارامترهای RGB در دامنه یک و صفر به فضای XYZ تبدیل می‌شوند:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [M] \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (۳)$$

که در این رابطه:

$$r = \left(\frac{R + 0.055}{1.055} \right)^{\gamma} \quad (۴)$$

$$g = \left(\frac{G + 0.055}{1.055} \right)^{\gamma} \quad (۵)$$

^۳Major Axis Length

^۴Minor Axis Length

^۵ Elongation

^۶ Roundness



$$b = \left(\frac{B + 0.055}{1.055} \right)^{\gamma} \quad (6)$$

در روابط فوق، γ پارامتر اصلاح کننده معادل ۲/۲، و M ماتریس تبدیل دو فضا می‌باشد که با توجه به نقطه مرجع تعیین

می‌گردد که در این تحقیق D65 به عنوان نقطه مرجع در نظر گرفته شده است و M عبارت است از:

$$M = \begin{bmatrix} 0.5767 & 0.2973 & 0.0270 \\ 0.1855 & 0.6273 & 0.0706 \\ 0.1882 & 0.0752 & 0.9912 \end{bmatrix} \quad (7)$$

در مرحله دوم، تبدیل از فضای XYZ به فضای $L^*a^*b^*$ انجام می‌گیرد:

$$L^* = 116 \times h\left(\frac{Y}{Y_w}\right) - 16 \quad (8)$$

$$a^* = 500 \times \left[h\left(\frac{X}{X_w}\right) - h\left(\frac{Y}{Y_w}\right) \right] \quad (9)$$

$$b^* = 200 \times \left[h\left(\frac{Y}{Y_w}\right) - h\left(\frac{Z}{Z_w}\right) \right] \quad (10)$$

که :

$$h(q) = \begin{cases} \sqrt[3]{q} & q > 0.008856 \\ 7.787q + \frac{16}{116} & q \leq 0.008856 \end{cases} \quad (11)$$

که X_w ، Y_w و Z_w مقادیر سه گانه رنگ اولیه برای رنگ سفید هستند (معمولاً رنگ سفیدی که پخش کننده روشنایی D65 تحت استاندارد CIE را به طور کامل منعکس می‌کند). سیستم رنگی $L^*a^*b^*$ یک جداساز عالی برای شدت روشنایی (که با L^* نمایش داده می‌شود) و رنگ (که با a^* برای قرمز منهای سبز و b^* برای زرد منهای آبی) است (گونزالس و وودز، ۱۳۹۰). در این مرحله با وجود تغییر فضای رنگی، مقادیر رنگی هر پیکسل از تصویر هنوز به شکل R، G و B باقی مانده است. در فضای رنگی RGB، مقادیر اختصاص داده شده به هر پیکسل استاندارد نمی‌باشد. بدین منظور برای استاندارد سازی مقادیر، تبدیل‌های زیر صورت گرفت.

$$L^* = \frac{\text{Lightness}}{255} \times 100 \quad (12)$$

$$a^* = \frac{240a}{255} - 120 \quad (13)$$



$$b^* = \frac{240b}{255} - 120$$

تغییر رنگ کلی (ΔE) که بیان کننده تغییرات رنگ برگه‌های سیب در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ است، از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود. که زیر نویس صفر در آن نشان دهنده پارامترهای رنگی در لحظه شروع آزمایش می‌باشد.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (15)$$

سپس مقادیر کیفیت خلوص رنگ، شاخص قهوه‌ای شدن برای تعیین تغییرات رنگ در طی خشک شدن با استفاده از روابط شماره (۱۶) و (۱۷) محاسبه شدند:

$$Ch = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (16)$$

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad (17)$$

که در رابطه BI مقدار x از رابطه شماره (۱۸) قابل محاسبه است:

$$x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)} \quad (18)$$

که شاخص قهوه‌ای شدن، میزان تغییر رنگ محصول به سمت رنگ قهوه‌ای را در طی فرایند خشک شدن نشان می‌دهد (Hosseinpour et al., 2013).

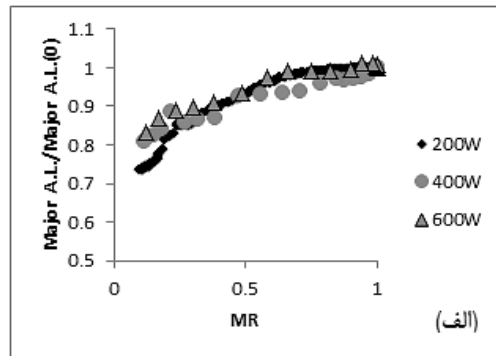
۳- نتایج و بحث

۳-۱- شاخص‌های تغییر شکل

با افزایش سطح توان تابشی مایکروویو تغییرات سرعت تغییر قطر در تیمارها به هم نزدیک‌تر می‌شود. علت نزدیک‌تر بودن تغییرات در توان‌های بالا مانند ۴۰۰ و ۶۰۰ را می‌توان سرعت زیاد تبخیر آب و در نتیجه فشردن لایه‌های بیرونی و بسته شدن منافذ برگه‌های سیب دانست. این امر سبب افزایش حجم در لحظه تابش اشعه می‌شود. (شکل ۳). آنگونه که از شکل ۴ (الف) برمی‌آید با گذشت زمان و کاهش نسبت رطوبت، مساحت سطح نمونه‌ها در تمام آزمایشات به طور کلی کاهش می‌یابد (ابراهیمی و همکاران،

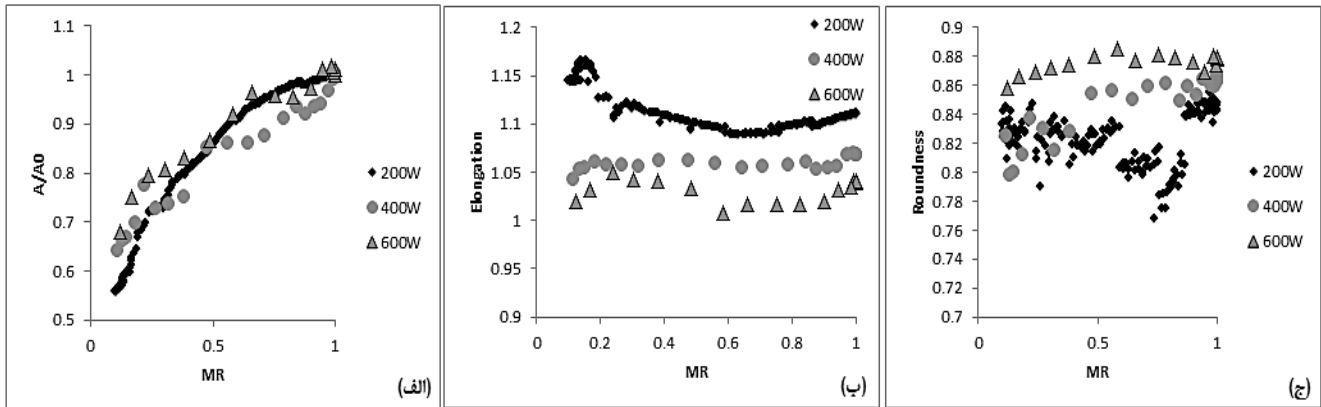


۱۳۹۰) با تابش امواج مایکروویو شدت کاهش سطح در آزمایش بیشتر شده است. با افزایش توان، نوساناتی در نمودار تغییر سطح رخ داده است که این نوسانات در توان‌های ۴۰۰ و ۶۰۰ وات محسوس‌تر می‌باشد. علت این نوسانات را می‌توان تلاقی زمان عکس برداری با تابش اشعه مایکروویو دانست.



شکل ۳. تغییرات قطر بزرگنسبت به رطوبت در هر لحظه

با تابش اشعه مایکروویو در این توان‌ها، تغییرات محسوسی در ابعاد نمونه‌ها رخ می‌داد که نشانه افزایش فشار داخلی می‌باشد. چراکه در توان ۴۰۰ و ۶۰۰ خصوصاً در ابتدای آزمایش، ماده انرژی بیشتری جذب کرده و آب درون آن سریعاً شروع به تبخیر شدن، می‌کرد. این افزایش فشار ناگهانی سبب فشردن لایه‌های بالایی و جلوگیری از خروج بخار آب می‌شد که این امر سبب افزایش حجم نمونه‌ها می‌شد. با اتمام تابش اشعه مایکروویو و سرد شدن نمونه‌ها، با میعان آب، فشار درون نمونه‌ها کاهش می‌یافت و در نتیجه حجم برگه‌های سبب کاهش پیدا می‌کرد. با استفاده از رابطه (۱) و رابطه (۲) به ترتیب مقادیر شاخص کشیدگی و شاخص گردی برای نمونه‌ها محاسبه گردید که نتایج آن در شکل (۴-ب) و شکل (۴-ج) ارائه گردیده است. هر چه این شاخص‌ها به یک نزدیک‌تر باشند نشان دهنده آن است که نمونه‌ها گردتر هستند. تغییرات افزایش کشیدگی در طول خشک شدن نشان دهنده افزایش نسبت تغییرات قطر بزرگ به قطر کوچک است.



شکل ۴- (الف) تغییر مساحت سطح نمونه‌ها، (ب) تغییرات کشیدگی و (ج) تغییرات گردی نسبت به تغییرات رطوبت

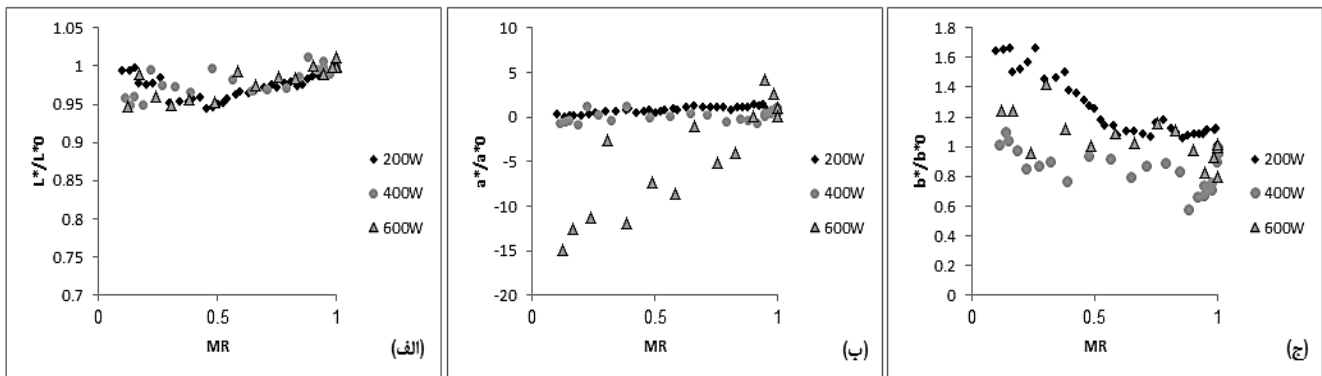
نتایج نشان می‌دهند که میزان کشیدگی نمونه‌ها در طی فرایند خشک شدن، با کاهش محتوای رطوبتی، افزایش می‌یابد (شکل ۴ (ب)) (Yadollahinia and Jahangiri, 2009). این افزایش بدلیل تغییرات نامتقارن قطرهای نمونه بوجود می‌آید. تغییرات گردی نسبت به کشیدگی رفتارهای عکس یکدیگر نشان می‌دهند (Yadollahinia et al., 2009). بدلیل همین تغییرات نامتقارن مطابق با انتقال رطوبت و کاهش محتوای رطوبتی، شکل نمونه‌ها نامنظم‌تر شده و از شاخص گردی آن‌ها کاسته می‌شود. با استفاده از تابش اشعه مایکروویو، بدلیل افزایش حجم نمونه‌ها خصوصاً در توان‌های ۴۰۰ وات و ۶۰۰ وات و بعضاً تلاقی لحظه عکس برداری با تابش اشعه، نوساناتی در نمودارها دیده می‌شود. در توان‌های تابشی ۴۰۰ و ۶۰۰ وات، بافت میوه آسیب دیده و به همین دلیل کاهش گردی ملاحظه شد.

۳-۲- شاخص‌های تغییر رنگ

رنگ، شاخص کیفیتی مهمی برای مواد غذایی خشک شده می‌باشد. شاخص L^* به میزان قند و شاخص‌های a^* و b^* به میزان کرومیل و کاروتنوئید موجود در میوه وابسته‌اند و این شاخص‌ها با رسیدن آن افزایش می‌یابند (Kudachikar et al, 2001; Ornelas-Paz et al, 2008; Vazquez-Caicedo et al, 2004). بی رنگ شدن و قهوه‌ای شدن میوه‌ها ناشی از انواع واکنش‌های شیمیایی شامل ترکیبات آمونیک، پلیمرشدن فنل و تخریب ماده رنگیاست (نادی، ۱۳۹۰). تغییر مقادیر L^* ، a^* و b^* هنگام خشک شدن، که در اثر تجزیه رنگ دانه‌های موجود در نمونه‌های غذایی اتفاق می‌افتد، می‌تواند باعث افزایش میزان ΔE و BI در نهایت افت کیفی محصول خشک‌شده شود. به دلیل میزان انرژی گرمایی که ماده غذایی در مایکروویو در معرض آن قرار می‌گیرد، پارامترهای رنگی آن بیشتر تغییر می‌کند. به طوری که این میزان گرما باعث تجزیه کاروتنوئیدها و کلروفیل‌ها و تشکیل رنگدانه‌های قهوه‌ای و در نهایت بالا رفتن میزان ΔE در نمونه‌ها می‌شود (Maskan, 2001(b)). روند تغییرات شاخص L^* (شکل ۵ (الف)) در



ابتدای فرایند کاهش بود که نشان از تیره‌تر شدن نمونه‌هاست. کاهش روشنایی محصول، بر اثر تخریب رنگ دانه‌ها، سوختن قسمت‌های فیبری خصوصاً در زمان استفاده از تابش مایکروویو و در نتیجه تیره شدن سطح محصول ایجاد می‌شود. اما با کاهش رطوبت نمونه‌ها این روند معکوس گردید. پیش‌تر اشاره گردید که با افزایش توان تابشی در نمونه‌ها افزایش حجم مشاهده شد. بدلیل شدت خروج مایعات داخلی، بخشی از این رطوبت در انتهای آزمایش همچنان بر روی نمونه‌ها باقی می‌ماند که سبب بازتاب بیشتر نور از سطح آن‌ها می‌شد. این رویداد تنها در تصویر برداری آنلاین از روند فرآیند آشکار می‌شود و مدتی اندکی پس از خروج نمونه‌ها از دستگاه برطرف می‌گردد. بدین ترتیب با وجود کاهش L^* در انتهای فرآیند نسبت به نمونه‌های اولیه (با نتایج سایر پژوهشگرانی که به صورت آفلاین از فرآیند تصویر برداری نموده بودند (Maskan, 2001(b); Darvishi et al, 2013) هم خوانی داشت)، در انتهای فرآیند، روند افزایشی مشاهده گردید. مقدار پارامتر a^* در ابتدای آزمایش عددی منفی و کوچک بدست آمد که نشان دهنده متمایل به سبز بودن رنگ سیب‌ها در ابتدای آزمایش‌هاست. با توجه به شکل (۵-ب)) به طور کلی a^* روند نزولی داشت و با افزایش توان تابشی به ۶۰۰ وات نرخ آن افزایش یافت. با توجه به منفی بودن مقدار این شاخص در ابتدای آزمایش و روند نزولی نمودار، رنگ سیب از سبز به قرمز در انتهای آزمایش تغییر کرده است که با یافته‌های محقق دیگر همخوانی دارد (Maskan, 2001).

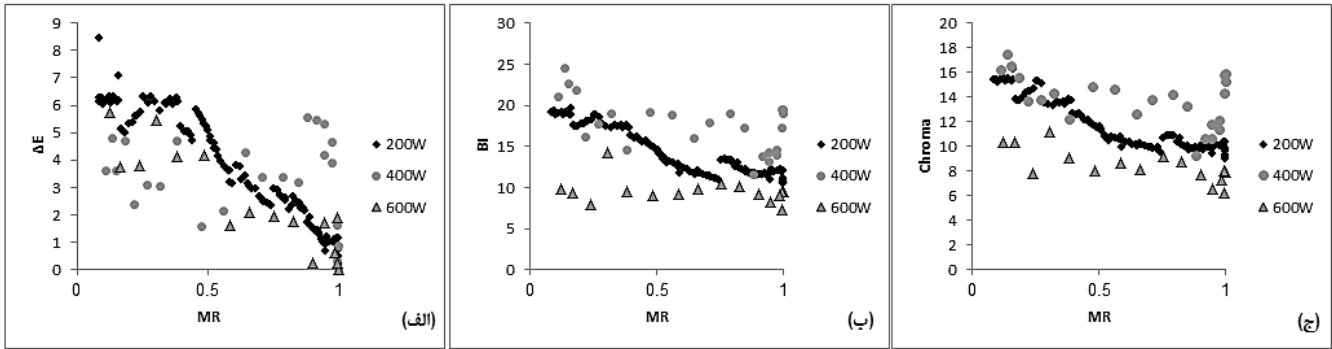


شکل ۵- تغییر شاخص‌های L^* ، a^* و b^* نسبت به تغییرات رطوبت

با افزایش توان تابشی مایکروویو نرخ این شاخص نسبت به مقدار اولیه افزایش یافت که می‌تواند در اثر افزایش شدت فرآیند حرارتی باشد. تغییرات شاخص b^* نیز در شکل ۵ قسمت (ج) نمایش داده شده است. با توجه به مثبت بودن این پارامتر برای سیب‌ها در ابتدای آزمایش، افزایش نسبت b^* به مقدار اولیه نمایانگر افزایش زردی نمونه‌هاست (Fernandez et al, 2005). مقدار زردی نمونه‌های خشک شده نسبت به ابتدای آزمایش در توان تابشی ۲۰۰ وات بیشتر است که علت را می‌توان طولانی شدن فرآیند خشک شدن مرتبط دانست. بعلاوه آنکه تیواری و همکاران (۲۰۱۰)، علت تخریب رنگدانه‌های غذایی را قرار گرفتن لایه بین سطحی نمونه غذایی



در معرض حباب‌های هوا به مدت طولانی و ایجاد نواحی با دما و فشار بالا در سطح آن، ذکر کردند (Tiwari et al, 2010). این درحالی است که ایجاد نقطه‌های با دما و فشار بالا از پدیده‌های قالب در استفاده از امواج میکروویو است. روند تغییرات ΔE صعودی است (شکل ۶ الف)) که نشان از افزایش این شاخص در طول آزمایش است. از طرفی با افزایش توان شیب اولیه نمودار افزایش می‌یابد (Maskan, 2001). علت آن را می‌توان به دلیل قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی دانست؛ از جمله دلایل تغییرات مختلف کل رنگ در طی خشک شدن می‌تواند، اختلاف در نوع و درصد ترکیبات شیمیایی سیب‌ها باشد. آهنگ اولیه تغییرات کل رنگ به فاکتورهای زیادی از جمله ترکیب مواد بستگی دارد (Burdurlu and Karadeniz, 2003). اما واکنش‌های تغییرات رنگ در میوه‌ها پیچیده‌تر از طبقه بندی‌های پیش بینی شده مانند طبقه بندی ساده آنزیمی و غیر آنزیمی است، زیرا ممکن است تعداد زیادی از واکنش‌های ثانویه اتفاق بیفتد (Lozano, 2006). با افزایش زمان خشک شدن قهوه‌ای شدن می‌شود که این پدیده می‌تواند به دلیل واکنش‌های میلارد و همچنین قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی باشد. با افزایش دما به علت افزایش آهنگ واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی (Vega-Galvez et al, 2009)، افزایش قهوه‌ای شدن محصول خشک‌شده نسبت به شروع آزمایش مشاهده خواهد شد. بررسی میزان BI تیمارها (شکل ۶-ب))، نشان از افزایش این شاخص رنگی با کاهش رطوبت داشت که متناسب با تغییرات مقادیر a^* و b^* تیمارهای مختلف است. در توان ۲۰۰ وات روند افزایشی نوسانات کمتری نسبت به توان ۴۰۰ و ۶۰۰ وات داشت. این درحالی است که افزایش توان، فرآیند حرارتی شدیدتر و تخریب رنگدانه‌های بیشتر را به همراه خواهد داشت. اما کاهش تغییرات شاخص قهوه‌ای شدن محصول نهایی نسبت به نمونه اولیه در ابتدای آزمایش‌ها مشاهده شد که به صورت تعمر روبه بالا در نمودارها قابل مشاهده است و با نتایج محققین هم‌خوانی دارد (عابدینی، ۱۳۹۲؛ عسگری و همکاران، ۱۳۸۴). این پدیده در اثر افزایش حجم نمونه‌ها و کاهش تراکم رنگدانه‌ها در واحد سطح رخ داده است. شاخص کیفیت خلوص رنگ (کروما) با توجه به رابطه (۱۱) بطور مستقیم وابسته به مقادیر a^* و b^* می‌باشد. با توجه به (شکل ۶-ج)) شاخص کروما در توان ۲۰۰ وات با شیب ملایمی افزایش یافت. در توان ۴۰۰ و ۶۰۰ ابتدا کاهش و سپس افزایش این شاخص را شاهد بودیم به طوری که مقدار این شاخص در محصول نهایی بیشتر از نمونه اولیه بود. علت این تغییرات می‌تواند ناشی از کوتاه‌تر بودن زمان فرآیند، انجام واکنش‌های متفاوت، تغییرات pH، فعالیت و حذف آب، انجام واکنش‌های ثانویه، دگرگونی ساختار درونی، تغییر در بافت سطحی و جمع شدن و تمرکز مواد خشک است (Ibarz et al, 1999).



شکل ۶- (الف) تغییرات کل رنگ (ب) تغییرات شاخص قهوه ای شدن (ج) تغییرات شاخص خلوص رنگ نسبت به رطوبت

۴- نتیجه گیری:

رفتار خشک شدن برگه‌های نازک سیب در خشک کن مایکروویو در توان‌های ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ وات بررسی شد. در صورتی که میزان آب محصول بالا باشد، انرژی مایکروویو موجب تخریب کلی ساختار درونی نمونه خواهد شد که نتیجه نهایی آن چروکیدگی محصول است. انرژی مایکروویو در شرایطی که موجب افزایش حجم نمونه‌ها شود، ویژگی‌های رنگی آنها را نیز بهبود می‌بخشد که این امر ناشی از کاهش تراکم رنگدانه‌ها در واحد سطح است. افزایش توان مایکروویو از ۲۰۰ وات به ۶۰۰ وات، اگرچه باعث کاهش زمان فرایند شد، اما به لحاظ کیفیت محصول نهایی در اغلب موارد نتیجه مطلوبی را به همراه نداشت. علت این امر را می‌توان تشدید فرایند حرارتی با افزایش توان تابشی و افزایش بیش از حد فشار داخلی و سوختن ترکیبات قندی در نمونه‌ها و آسیب دیدن بافت میوه دانست. با آسیب دیدن بافت میوه برخی ویژگی‌های ظاهری نیز با افت کیفیت همراه بود. بایستی توجه داشت که پژوهش اخیر به دلیل تصویربرداری برخط در حین تابش اشعه مایکروویو متمایز از کار دیگر محققان است. با در نظر گرفتن همه شاخص‌ها در کنار هم، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از توان تابشی کمتر، اگرچه زمان فرایند را افزایش می‌دهد اما با آسیب کمتر به بافت محصول، کیفیت بهتری را به ارمغان می‌آورد.

منابع:

- ۱- ابراهیمی، م؛ محتسبی، س، س؛ رفیعی، ش؛ نصیری، ا. و حسین‌پور، س؛ (۱۳۹۰)، بررسی تاثیر عوامل مختلف بر میزان چروکیدگی ورقه‌های نازک موز طی فرایند خشک کردن با استفاده از روش سطح پاسخ. مجله علمی کشاورزی، ۳۶ (۲)؛ ۸۱-۹۲.



۲- عابدینی، م. (۱۳۹۲). مدلسازی و ارزیابی سینتیک تغییر رطوبت و رنگ میوه به در طی خشک شدن با هوای داغ و مایکروویو. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۳- عسکری، غ، امام جمعه، ز، ابراهیم زاده موسوی، س، م. (۱۳۸۴). بررسی تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیکی برگه‌های سیب خشک شده با روش ترکیبی خشک کن هوای گرم و مایکروویو. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۶ (۲۴): ۱-۱۴.

۴- گونزالز، ر. و وودز، ر. (۱۳۹۰). پردازش دیجیتالی تصاویر، مترجمین: مجتبی لطفی زاد، امیر مسعود عمویی، سعید میرقاسمی. انتشارات پیوند نو، ویراست سوم، بهار ۱۳۹۰.

۵- نادى، ف. (۱۳۹۰). شبیه سازی خشک کردن ورقه سیب تحت خلاء به روش اجزا محدود. رساله دکتری، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.

- 6- Askari, G.R., Emam-Jomeh, Z. and Mousavi, M.A. (2004). "Effect of drying method on microstructural changes of apple slices". Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004) São Paulo, Brazil, vol. B: 1435-1441.
- 7- Brosnan, T., and Sun, D.(2004). Improving quality inspection of food products by computer vision – a review. Journal of Food Engineering, 61 (1), 3-16.
- 8- Burdurlu, H. S., and Karadeniz, F. (2003). Effect of storage on nonenzymatic browning of apple juice concentrates. Food Chemistry, 80(1), 91-97.
- 9- Crank J. 1975. Mathematics of diffusion (2nd ed.) London: Oxford University Press. 414 pp.
- 10- Dadali, G., Apar, D. K. and Ozbek, B. (2007). "Microwave drying kinetics of okra". Drying Technology, 25(5), 917-924.(b)
- 11- Dadali, G., Demirhan, E., and Ozbek, B. (2007). Color change kinetics of spinach undergoing microwave drying. Drying Technology, 25, 1713–1723. (a)
- 12- Darvishi, H., Khoshtaghaza, M. H. and Minaei, S. (2013). "Drying kinetics and colour change of lemon slices". International Agrophysics. 28:1-6.
- 13- Fernandez, L., Castellero, C., and Aguilera, J.M. (2005). An application of image analysis to dehydration of apple discs. Journal of Food Engineering, 67(1-2), 185-193.
- 14- Funebo, T. Kidman, S and M., Langton. (2000). Microwave heat treatment of apple before air dehydration effects on physical properties and microstructure, Journal of Food Engineering 46: 173-182
- 15- Hosseinpour, S., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S. and Aghbashlo, M. (2013). "Application of computer vision technique for on-line monitoring of shrimp color changes during drying". Journal of Food Engineering, 115(2013), 99-114.
- 16- Ibarz, A., Pagan, J., & Garza, S. (1999). Kinetic models for colour changes in pear puree during heating at relatively high temperatures. Journal of Food Engineering, 39(4), 415-422.
- 17- Krokida, M. K., Tsami, E., and Maroulis, Z. B. (1997). Kinetics on color changes during drying of some fruits and vegetables. Drying Technology, 16 (3–5), 667-685.
- 18- Kudachikar, V.D., Kulkarni, S.G., Keshava Pakash, M.N., Vasantha, M.S., Aravinda Prasad, B. and Ramana, K.V.R. (2001). Physico-chemical changes during maturity of mango *Mangifera indica* L. variety "Neelum". J.Food Sci. Technol. 38(5), 540–542.
- 19- Leon, K., (2006). "Color measurement in L*a*b units from RGB digital image." Food Research International 39, 1084–1091.
- 20- Loch, P., Thomas, K., Mikkelsen, P. (1997). Full color image analysis as a tool for quality control and process development in the food industry, In 1997 ASAE Annual International Meeting, Paper No 973006, St. Joseph, Michigan, USA.
- 21- Lozano, J. E. (2006). Fruit Manufacturing (pp: 161-163). Food Engineering Series. Springer Science. New York.
- 22- Lozano, J. E., and Ibarz, A. (1997). Colour changes in concentrated fruit pulp during heating at high temperatures. Journal of Food Engineering, 31(3), 365-373.



- 23- Maskan, M. (2001) (a). "Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying." *Journal of Food engineering* 48(2): 177-182.
- 24- Maskan, M. (2001) (b). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave Drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169-175.
- 25- Mendoza, F., and Aguilera, J. M. (2004). Application of image analysis for classification of ripening bananas. *Journal of Food Science*, 69(9), 471-477.
- 26- Ornelas-Paz, J., Yahia, E.M. and Garde, A.A. (2008). Changes in external and internal color during postharvest ripening of "Manila" and "Ataulfo" mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography-APCI+-time-of-flight mass spectrometry. *Postharvest Biol. Technol.* 50, 145-152.
- 27- Prothon., Funebo, T., Kidman, S. and M., Langton. (2001). Effects of combined Osmotic and Microwave Dehydration of Apple on Texture, Microstructure and Rehydration Characteristics. *Lebensm-Wiss, u-Techno.* 34: 95-101.
- 28- Schiffman, R.F. (1992). Microwave Processing in the U.S. food industry. *Food Technology*, 46(12), 50-52, 56.
- 29- Tiwari, B. K., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P. J., O'Donnell, C. P. (2010). Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17, 598-604.
- 30- Vazquez-Cacedo, A.L., Neidhart, S. and Carle, R. (2004). Postharvest ripening behavior of nine Thai mango cultivars and their suitability for industrial applications. *Acta Hort.* 645, 617-625.
- 31- Vega-Galvez, A. K., Scala, D., Rodriguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., Lopez J., and Perez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annum*, L).
- 32- Yadollahinia, A., A. Latifi., R. Mahdavi. (2009). New method for determination of potato slice shrinkage during drying. *Computers and electronics in agriculture*, 65, 268-274.



Online Imaging on Continuous Microwave Drying and Examination of Apple Slices Shape and Color Changes

Abstract:

In this research, the effect of Microwave drying on color and appearance change of apple thin layer was examined with online imaging. Three levels of radiation power of 200, 400 and 600 (W) were chosen. Kinetic of some color parameters (L^* , a^* , b^* , ΔE , browning index and Chroma) and some appearance parameters (Diameters, Area, Elongation and Roundness) were achieved. The results showed abrupt changes on dimensions of apple slices during the process. The values of L^* decreased, whereas values of a^* and b^* increased during microwave drying. Results of this research are useful to improve microwave drying process and quality of dried samples.

Keywords: "Image Processing", "Drying", "Continues Microwave", "Apple"