یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

تاثیر شرایط خشک‌کردن روی خصوصیات کیفی رنگ ورقه‌های خشک‌شده سیب

حمید قاسم‌خانی[1]، فرهاد خوشنام[2]، محمدرضا کماندار [3]

[1] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه جیرفت، H_ghasemkhani2006@ujiroft.ac.ir
[2] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه جیرفت، F_khoshnam@ujiroft.ac.ir
[3] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه جیرفت، Mr_Kamandar@ut.ac.ir

چکیده

در این تحقیق به بررسی خشک شدن ورقه‌های سیب با استفاده از یک خشک‌کن دوار سینی‌دار به منظور تاثیر بر خصوصیات کیفی رنگ ورقه‌های خشک شده سیب (پارامترهای L، a، b، تغییر رنگ کلی (ΔE) و شاخص قهوه‌ای شدن) پرداخته شده است. متغیرهای انتخاب شده سه سطح دما (۵۰، ۶۵ و ۸۰ درجه)، دو سطح سرعت هوای ورودی (۱ و ۲ متر بر ثانیه)، سه سطح چرخش سینی (صفر، ۶ و ۱۲ دور بر دقیقه) و دو سطح مبدل حرارتی (با مبدل حرارتی و بدون مبدل حرارتی) و در سه تکرار انجام گرفتند. مشخص شد که مقادیر پارامترهای L، a، b و تغییر رنگ کلی (ΔE)، فقط تحت تاثیر دما بوده و با افزایش دما مقدار روشنایی، قرمزی و زردی ورقه‌های سیب خشک شده افزایش یافته است. ولی شاخص قهوه‌ای شدن تحت تاثیر هیچکدام از متغیرهای خشک‌کردن نبود.

کلمات کلیدی: سیب، سینی‌دار دوار، رنگ، مبدل حرارتی

The effect of drying conditions on the quality characteristics of the color of dried apple slices

Hamid Ghasemkhani[1], Farhad Khoshnam[2], Mohammad Reza Kamandar [3]

1: Assistance Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, University of Jiroft, H_ghasemkhani2006@ujiroft.ac.ir
2: Assistance Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, University of Jiroft, F_khoshnam@ujiroft.ac.ir
3: Assistance Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Universit y of Jiroft, Mr_Kamandar@ut.ac.ir

ABSTRACT

In this research, the drying of apple slices using a rotary tray dryer has been investigated in order to influence the color properties (L, a, b, total color difference and browning index). Experiments were performed at air temperatures of 50, 65 and 80°C, air velocities of 1 and 2 m/s, tray rotation speeds of 0, 6 and 12 rpm with and without application of the heat exchanger with three replications. It was found that the parameters L, a, b and total color difference(ΔE) were only affected by temperature and with increasing temperature the lightness, redness and yellowing of the dried apple slices increased. But the browning index was not affected by any of the drying variables.

Keywords: Dryer, Apple, Rotating-tray, Color, Heat Exchange

۱- مقدمه

خشک کردن یک روش مرسوم برای نگه‌داری مواد غذایی و سبزیجات می‌باشد. از مهمترین مزایای خشک کردن مواد غذایی علاوه بر جلوگیری از ضایعات شیمیایی در آن، کاهش هزینه نگه‌داری و حمل و نقل می‌باشد (Ekechukwu and Norton, 1998). تغییرات زیادی در پارامترهای مربوط به کیفیت محصول در طی عمل خشک‌کردن و ذخیره‌سازی محصول اتفاق می‌افتد. مقدار این تغییرات بستگی به نوع عملیات خشک‌کردن و دقت آماده-

۲- نویسنده مسئول: فرهاد خوشنام، جیرفت، کیلومتر ۸ جاده بندرعباس، دانشگاه جیرفت کدپستی: ۷۸۶۷۱۶۱۱۶۷ ، تلفن ۰۳۴۴۳۳۴۷۰۶۲

سازی مواد قبل از خشک‌کردن دارد. به‌طور کلی تغییرات کیفیت را می‌توان به چهار گروه فیزیکی، شیمیایی، میکروبی و مواد مغذی تقسیم کرد:

الف- تغییرات فیزیکی مربوط به کیفیت: این تغییرات شامل تغییرات ساختمانی محصول، سفت‌شدن پوسته، از هم پاشیدگی، تشکیل حفره‌ها، ترک، آبگیری، شکل‌گیری و چسبناکی است که می‌توانند روی کیفیت محصول نهایی موثر باشند.

ب- تغییرات شیمیایی کیفیت محصول: این تغییرات شامل قهوه‌ای شدن، اکسیداسیون چربی‌ها، از دست رفتن رنگ و تغییرات در طعم ماده غذایی در طی خشک‌کردن و ذخیره‌سازی می‌باشد.

پ- تغییرات میکروبی کیفیت محصول: محصولات خشک‌شده از نظر خطر میکروبی، محصولات مطمئنی هستند. چون بخاطر فعالیت آبی کم، فعالیت میکروارگانیسم‌ها بسیار محدود می‌شود. باکتری‌های بیماری‌زا در فعالیت آبی زیر ۰/۸۵-۰/۸۶ نمی‌توانند رشد کنند و کپک‌ها و مخمرها در فعالیت آبی کمتر از ۰/۸ غیر فعال می‌شوند. معمولاً زیر فعالیت آبی ۰/۶۲ رشدی اتفاق نمی‌افتد.

ت- کیفیت مواد مغذی: میوه‌ها و سبزی‌ها و مواد خشک‌شده آنها از منابع خوب انرژی، مواد معدنی و ویتامین‌ها هستند. اما در طی خشک‌کردن تغییراتی در کیفیت مواد مغذی دیده می‌شود (Sablani et al., 2006).

ویژگی‌های حسی مواد خشک‌شده در تعیین کیفیت محصول خشک‌شده نیز مهم هستند که شامل رنگ، عطر، طعم، بافت و مزه می‌باشند. عطر و طعم می توانند به علت از دست رفتن مواد مغذی ناپایدار[1]تغییر کنند که معمول‌ترین حالت کاهش کیفیت از این جنبه می‌باشد. از خشک‌کردن در دمای پایین برای محصولات با ارزش اقتصادی بالا، از قبیل گیاهان دارویی، ادویه‌جات و گیاهان طعم‌دار استفاده می‌شود (Salunkhe, 1991). مشخص شده است که خشک‌کن‌های با دمای پایین، باعث کمترین صدمه به سبزیجات برگ‌دار می‌شوند و مواد غذایی بیشتری را نسبت به سایر خشک‌کن ها حفظ می‌کنند. خشک‌کردن بدون وجود اکسیژن، ترکیبات حساس به اکسیداسیون را حفظ می‌کند (Sing and Pandey, 2012).

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر شرایط خشک‌کردن (سه سطح دما، دو سطح سرعت هوای ورودی و سه سطح چرخش سینی) روی پارامترهای رنگ ورقه‌های سیب خشک شده (L، a، b، تغییر رنگ کلی و شاخص قهوه‌ای شدن) می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق از سیب رقم گلدن دلیشز استفاده شد که از بازار میوه و تره‌بار تهیه گردید و تا زمان انجام آزمایش‌ها در سردخانه با دمای ۰±۴/۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. برای خشک کردن نمونه‌ها از یک دستگاه خشک‌کن آزمایشگاهی دوار سینی‌دار استفاده شد که از قسمت‌های اصلی زیر تشکیل شده است:

الف) سامانه خشک‌کن (شامل موتور، محفظه خشک کن، مکانیزم چرخش سینی‌ها، دمنده، گرمکن الکتریکی و ...)

ب) بخش الکترونیکی (شامل میکروکنترلر، حسگرها، رله‌ها و ...)

ج) مبدل حرارتی (مبدل حرارتی صفحه‌ای هوا به هوا از نوع جریان متقاطع)

آزمایش‌ها در سه سطح دمایی ۵۰، ۶۵ و ۸۰ درجه سلسیوس و دو سطح سرعت هوای ورودی یک و دو متر بر ثانیه و سه دور چرخش سینی صفر، ۶ و۱۲ دور بر دقیقه انجام شد. تمام آزمایش‌ها در دو حالت با مبدل حرارتی و بدون مبدل حرارتی و در سه تکرار انجام گرفتند. ضخامت ورقه‌های سیب در تمام آزمایش‌ها یکسان و برابر ۳ میلی‌متر در نظر گرفته شد. برای آماده کردن خشک‌کن، پس از روشن کردن رایانه، فن، سامانه کنترل و سیستم جمع آوری داده، سرعت فن برای آزمایش مورد نظر با استفاده از اینورتور تنظیم می‌شد. بعد از آن نرم‌افزار پایش و کنترل اجرا شده و دما، دور محور چرخشی و زمان ثبت داده در نرم‌افزار تنظیم می‌گردید. برای رسیدن شرایط سامانه به حالت پایدار کلیه آزمایش‌ها یک ساعت بعد از روشن کردن سیستم شروع می‌شد. سپس سینی‌های حاوی نمونه‌ها با دقت در محفظه خشک‌کن قرار داده می‌شد. برای اندازه‌گیری رنگ ظاهری نمونه‌ها، سینی حاوی ورقه‌های سیب قبل و بعد از خشک شدن، داخل سامانه ماشین بینایی قرار گرفته و توسط یک دوربین رنگی (Canon G9 digital color camera,Tokyo, Japan) از آن‌ها تصویری با اندازه ۳۰۰۰×۳۰۰۰ پیکسل گرفته شد. سپس تصاویر بر روی حافظه دوربین ذخیره شده و به رایانه منتقل گردید. برای به‌دست آوردن شاخص‌های رنگ از نرم‌افزار متلب ۲۰۱۲ استفاده شد. در این نرم‌افزار با استفاده از کد نوشته شده، بعد از فراخوانی تصویر، برای استخراج اطلاعات لازم بود که ورقه‌های سیب از زمینه جدا شوند. این کار بر اساس آستانه‌گیری انجام گردید. پس از آستانه‌گیری، تصویر رنگی با مقادیر صفر و ۲۵۵ به تصویر باینری با دو مقدار صفر و یک تبدیل شدند.

میزان رنگ با استفاده از پارامترهای هانتر بر حسب روشنی یا سفیدی (L^*)، قرمزی و سبزی (a^*) و آبی و زردی (b^*) بیان می‌گردد. تغییر رنگ کلی[2](ΔE) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد و برای برآورد تغییر رنگ طی خشک‌کردن مورد استفاده قرار گرفت (Nadian et al., 2015):

---

[1]- Volatile Organic Compounds

[2]- Total Colour Difference

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_i^*)^2 + (a^* - a_i^*)^2 + (b^* - b_i^*)^2} \quad (۱)$$

شاخص قهوه‌ای شدن[1](BI) با استفاده از رابطه زیر اندازه‌گیری شد (Maskan, 2002):

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad (۲)$$

که در آن x از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$x = \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} \quad (۳)$$

با به دست آمدن مقادیر متوسط L، a و b ، مقدار تغییر رنگ کلی با استفاده از رابطه (۱) و شاخص قهوه‌ای‌شدن توسط رابطه (۲) محاسبه گردیدند. با توجه به یکسان نبودن مقادیر اولیه L، a و b ، این شاخص‌ها به صورت نسبت مقدار اولیه به مقدار نهایی (L/L_0، a/a_0، b/b_0 و BI/BI_0) نرمال شده و از مقادیر نرمال شده آنها در محاسبات استفاده شد.

ارزیابی آماری نتایج به دست آمده با استفاده یک طرح فاکتوریل اسپلیت ۲×۳×۲×۳ (سه سطح دما، دو سطح سرعت هوای ورودی، سه سطح سرعت چرخش سینی‌ها و دو حالت با و بدون مبدل حرارتی) انجام شد. آنالیز واریانس جهت ارزیابی اثرات دما، سرعت هوا و سرعت چرخش سینی‌ها و مبدل حرارتی روی کیفیت ورقه‌های خشک شده سیب ($p<۰/۰۵$) انجام گرفت. آزمون های مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام گرفت. کلیه نتایج آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 (Statistical Analysis System) انجام گرفتند.

۳- نتایج و بحث

جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس تاثیر متغیرهای خشک‌کردن روی شاخص‌های رنگ ورقه‌های سیب را در سطح احتمال ۵٪ نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، فقط دما تاثیر معنی‌داری روی همه شاخص‌های رنگ، به غیر از شاخص قهوه‌ای شدن (BI/BI_0) دارد. بزرگتر بودن مقدار نسبت روشنایی (L/L_0) از یک نشان می‌دهد که برخلاف انتظار، روشنایی ورقه‌های سیب بعد از خشک شدن و با افزایش دما زیاد شده است. با توجه به جدول (۲) این افزایش روشنایی، بین دمای ۵۰ و ۶۵ درجه سلسیوس معنی‌دار نیست ولی با دمای ۸۰ درجه سلسیوس معنی‌دار هستند. این مطلب اینگونه استنباط می‌شود که L میزان بازتاب نور یا ظرفیت انتقال نور در نمونه‌ها را نشان می‌دهد. تغییر رنگ به دست آمده در نمونه‌ها احتمالاً به دلیل واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی می‌باشد. کاهش مقدار L به واکنش‌های قهوه‌ای غیر آنزیمی و تشکیل رنگدانه‌های قهوه‌ای به دلیل واکنش میلارد[2] و واکنش میان قندها و اسیدهای آمینه در میوه‌ها مربوط می‌شود (Baini and Langrish, 2009). از آنجایی که واکنش میلارد به دما و شدت رفتار حرارتی بستگی دارد، خشک کردن در دمای بالا نسبت به دمای پایین‌تر منجر به تغییر رنگ بیشتر می‌شود. البته طولانی شدن خشک‌شدن نیز (دماهای پایین) فرصت کافی برای انجام واکنش‌های میلارد و تشکیل رنگدانه‌های قهوه‌ای بیشتر را فراهم می‌کند (Nadian et al., 2015). همچنین کاهش مقدار L می‌تواند به کدری ایجاد شده در محصول به دلیل از دست دادن رطوبت و افزایش چروکیدگی محصول مربوط شود (Contreras et al., 2008). بنابراین در دمای ۶۵ درجه سلسیوس نسبت به ۵۰ درجه سلسیوس با وجود بالا بودن دما و شدت واکنش میلارد، روشنایی (L) تغییر قابل توجهی نداشته و این نشان می‌دهد که سرعت زیاد خشک‌شدن باعث شده زمان کمتری برای انجام واکنش‌های میلارد صرف شود و تاثیر زمان خشک شدن بیشتر از تاثیر شدت خشک شدن بوده است. به‌عبارت دیگر خشک‌کردن با سرعت کم (دمای ۵۰)، محصول را مدت زمان بیشتری در حالت مرطوب نگه داشته (نسبت به خشک‌کردن سریع) که به نوبه خود زمان بیشتری را برای انجام واکنش‌های میلارد و تشکیل رنگ‌دانه‌های قهوه‌ای را فراهم خواهد نمود.

در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به علت بالا بودن دما و شدت واکنش‌های میلارد، انتظار می‌رفت روشنایی (L) کمتر از دو دمای دیگر باشد ولی در تمام شرایط آزمایش مقدار آن افزایش یافته است. نتیجه اخیر احتمالاً به علت تخریب و تجزیه رنگدانه‌ها باشد (Maskan, 2002). همچنین چروکیدگی بیشتر محصول در دماهای پایین (۵۰ و ۶۵ درجه سلسیوس) نسبت به دمای ۸۰ درجه سلسیوس می‌تواند دلیل دیگری بر این یافته باشد.

افزایش سرعت هوا و سرعت چرخش سینی‌ها تاثیر معنی‌داری روی روشنایی ورقه‌های سیب نداشته است (جدول ۱). از این نتیجه چنین استنباط می‌شود که سرعت خشک‌شدن بیشتر تحت تاثیر دمای خشک‌کردن بوده است و تغییر سرعت هوا و سرعت چرخش در حدی نبوده است که باعث تغییر واکنش‌های میلارد یا قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی شود.

[1]- Browning Index
[2]- Maillard Reaction

جدول ۱- آنالیز واریانس تاثیر شرایط خشک‌کردن روی خصوصیات کیفی رنگ ورقه‌های خشک‌شده سیب

Table 1. ANOVA of the effect of drying conditions on the qualitative characteristics of the color of dried apple slices

Source of variations	df	Mean squares				
		ΔE	L/L_0	a/a_0	b/b_0	BI/BI_0
Heat Exchanger	1	3.05 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.017 ^{ns}
Temperature (A)	2	16.29**	0.0052*	0.134**	0.013**	0.013 ^{ns}
Air Velocity (B)	1	0.13 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.0007 ^{ns}
Rotation Speed (C)	2	0.62 ^{ns}	0.0021 ^{ns}	0.024 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.014 ^{ns}
A×B	2	0.04 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.0014 ^{ns}
A×C	4	0.71 ^{ns}	0.0034 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.0065 ^{ns}
B×C	2	0.78 ^{ns}	0.0012 ^{ns}	0.031*	0.0006 ^{ns}	0.003 ^{ns}
A×B×C	4	1.04 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0071 ^{ns}
Error	68	1.72	0.0006	0.008	0.002	0.01
C.V.		11.74	2.17	11.67	3.6	7.61

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ns عدم معنی‌داری

** Significant at 1% level, * Significant at 5% level, ^{ns} Non-significant data ignored.

قرمزی ورقه‌های سیب (a) در تمام شرایط خشک‌کردن، بعد از خشک‌شدن زیاد شده است. مقادیر اولیه این پارامتر (a) در لحظه اول (قبل از خشک کردن) منفی به دست آمد که نشان دهنده‌ی سبزی لایه‌های سیب است. بعد از خشک شدن هم دوباره مقادیر این پارامتر منفی ولی بزرگتر از اعداد اولیه به دست آمد که نشان می‌داد ورقه‌های سیب بعد از خشک شدن به سمت ناحیه قرمزی حرکت کرده‌اند. از جدول (۲) مشخص است که قرمزی با افزایش دما کاهش پیدا می‌کند (لازم به ذکر است که مقادیر نرمال شده قرمزی به طور معکوس با داده‌های واقعی متناسب هستند. چون قرمزی ورقه‌های سیب قبل و بعد از خشک‌شدن، در محدوده منفی قرار داشتند به طوری که نسبت آنها عدد مثبت شده است). علت کاهش قرمزی با افزایش دما نیز احتمالاً همان دلیل بیان شده در قسمت روشنایی است یعنی طولانی شدن زمان خشک‌شدن در دمای پایین تاثیر بیشتری نسبت به دمای خشک‌شدن داشته و این زمان طولانی خشک‌شدن، فرصت کافی برای واکنش میلارد و متعاقب آن باعث تشکیل بیشتر رنگدانه‌های قهوه‌ای شده است.

سرعت جریان هوا بر روی تغییر میزان قرمزی محصول اثر معنی‌داری نداشت. همچنین در منابع اثر ناچیز و ضعیفی از سرعت جریان هوا بر روی تغییر رنگ سیب (Nadian et al., 2015) و سیدلو و همکاران (۲۰۱۰) در طول فرایند خشک‌شدن گزارش شده است. در جدول (۱) ملاحظه می‌شود که اثر متقابل سرعت هوا و سرعت چرخش سینی‌ها روی قرمزی ورقه‌های سیب اثر معنی‌دار دارند که این نتیجه با تحقیق سنتوز سنچز (۲۰۱۲) در مورد گوجه‌فرنگی مطابقت دارد. با افزایش سرعت هوا از یک به دو متر بر ثانیه، در سرعت چرخش صفر و ۶ دور بر دقیقه به ترتیب قرمزی ورقه‌های سیب به طور متوسط حدود ۶/۵ و ۳/۷ درصد افزایش می‌یابد ولی در سرعت چرخش ۱۲ دور بر دقیقه حدود ۷ درصد قرمزی ورقه‌های سیب کاهش می‌یابد. این نتیجه احتمالاً به زمانی که نمونه‌ها در معرض جریان هوا قرار می‌گیرند، مربوط می‌شود. آب و اکسیژن دو مولفه اصلی در واکنش میلارد می‌باشند که در آن ترکیبات قهوه‌ای رنگ تولید می‌شود (Baini and Langrish, 2009). از آنجایی که افزایش سرعت هوا در اثر چرخش، زمان در معرض هوا قرار گرفتن نمونه‌ها را کاهش می‌دهد واکنش قهوه‌ای آنزیمی و غیر آنزیمی کمتری رخ داده و شدت روشنایی زیاد می‌شود.

زردی ورقه‌های سیب (b) بعد از خشک‌شدن در تمام شرایط آزمایش افزایش پیدا کرده است. کروکیدا و همکاران (۲۰۰۱) و فرناندز و همکاران (۲۰۰۵) دریافتند که زردی در طی زمان خشک‌کردن به روش جابه‌جایی و کاهش رطوبت محصول افزایش می‌یابد که می‌تواند مربوط باشد به چروکیدگی حجمی، که سبب افزایش در غلظت کاراتنوئید[1] ورقه‌های سیب شده و در نتیجه رنگ محصول را به سمت منطقه زردی سوق می‌دهد. با توجه به جدول (۲) و جدول (۳) تنها اثر دما روی زردی ورقه‌های سیب معنی‌دار بوده و با افزایش دما از ۵۰ به ۶۵ درجه سلسیوس زردی نمونه‌ها زیاد شده ولی از ۶۵ به ۸۰ درجه سلسیوس زردی تغییری نکرده است. افزایش دما منجر به افزایش نرخ واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی شده و متعاقب آن زردی افزایش پیدا کرده است. دلیل ثابت ماندن زردی در دمای بالا، احتمالاً کاهش چروکیدگی در دماهای بالا و در نتیجه بازتاب مناسب نور و همچنین تخریب رنگدانه‌ها می‌تواند باشد.

تغییر رنگ کلی (ΔE) ترکیب پارامترهای رنگ است و شامل روشنایی، زردی و قرمزی است که منعکس کننده تغییرات رنگ در خشک شدن مواد غذایی می‌باشد. تغییرات رنگ ناشی از انتقال همزمان گرما و جرم است که در سطح محصول اتفاق می‌افتد و بستگی به زمان و دمای خشک‌شدن دارد. همان طور که قبلاً گفته شد دمای بالا و زمان طولانی خشک کردن مطلوب واکنش‌های قهوه‌ای شدن می‌باشند که سبب کاهش روشنایی و افزایش تغییر رنگ می‌شوند (Vega-Galvez et al., 2012). در مورد تغییر رنگ هم با توجه به جدول (۱) و جدول (۲) تنها اثر دما معنی دار می‌باشد و همان

[1]- Carotenoids

طور که انتظار می‌رفت با افزایش دما مقدار تغییررنگ کلی هم اندکی افزایش یافته است. این نتیجه با تحقیق وگاگالوز (۲۰۱۲) و نادیان و همکاران (۲۰۱۵) در مورد سیب مطابقت دارد.

مقادیر تغییر رنگ کلی در سرعت‌های هوا و چرخش سینی مختلف به یکدیگر نزدیک هستند که نشان‌دهنده‌ی اهمیت نداشتن تاثیر این پارامترها روی تغییر رنگ کلی است (چون همان طور که قبلاً هم گفته شد سرعت هوا و سرعت چرخش سینی تاثیری در مقادیر L، a وb نداشتند).

شاخص قهوه‌ای شدن میزان درجه خلوص رنگ قهوه‌ای را در نمونه نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۲) و بزرگتر بودن نسبت شاخص رنگ قهوه‌ای (BI/BI_0) از عدد یک، میزان قهوه‌ای شدن ورقه‌های سیب بعد از خشک‌شدن، افزایش یافته است. بنابراین با افزایش زمان خشک‌شدن، افزایش قهوه‌ای شدن را خواهیم داشت که به علت واکنش‌های میلارد، افزایش غلظت کاروتنوئیدها در اثر تغییر اندازه محصول و همچنین قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی می باشد (Contreras et al., 2008). باید مشاهده می‌شد که با افزایش دما به علت افزایش آهنگ واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی، افزایش قهوه‌ای شدن را داشته باشیم (Cernisev, 2010; Guinéa and Barrocab, 2011). ولی با توجه به جدول (۱) اثر دما روی این شاخص در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نبود. کاهش قهوه‌ای شدن در دمای بالا نسبت به دمای پایین، شاید به‌علت تخریب و یا تجزیه رنگدانه‌ها باشد (Ergunes and Tarhan, 2006). همچنین با توجه به رابطه ۲ و ۳ می‌توان دریافت که میزان اثر شاخص b در BI بیش از a و a بیش از L است. بنابراین افزایش b در دماهای بالا می‌تواند افزایش L را در کاهش BI خنثی کند(افزایش L و کاهش a و b باعث کاهش BI می‌شود).

اثر سرعت هوا و سرعت چرخش روی میزان قهوه‌ای شدن معنی‌دار نبود که می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که آهنگ تشکیل رنگدانه‌های قهوه‌ای، عمیقاً تحت تاثیر دمای هوا می‌باشد، که دلیل آن‌هم تاثیر کم نفوذ رطوبت در اثر افزایش سرعت هوا و متعاقب آن افزایش آهسته واکنش میلارد می-باشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین شاخص‌های کیفی رنگ ورقه‌های سیب خشک‌شده

Table 2: Comparison of the average quality indices of dried apple slices

Quality Index		ΔE	L/L_0	a/a_0	b/b_0	BI/BI_0
Heat Exchanger	Yes	11.32±1.41^a	1.095±0.026^a	0.756±0.12^a	1.24±0.047^a	1.302±0.11^a
	No	11±1.13^a	1.089±0.02^a	0.782±0.085^a	1.25±0.041^a	1.327±0.09^a
Temperature (°C)	50	10.44±1.28^a	1.086±0.018^a	0.71±0.073^a	1.22±0.042^a	1.3±0.1^a
	65	11.29±1.05^b	1.088±0.027^a	0.764±0.1^b	1.25±0.038^b	1.34±0.1^a
	80	11.76±1.2^b	1.1±0.021^b	0.832±0.106^c	1.26±0.046^b	1.31±0.1^a
Air Velocity (m/s)	1	11.2±1.38^a	1.092±0.026^a	0.773±0.103^a	1.245±0.046^a	1.32±0.1^a
	2	11.13±1.22^a	1.091±0.02^a	0.764±0.109^a	1.242±0.043^a	1.31±0.09^a
Rotation Speed (rpm)	0	11.15±1.11^a	1.092±0.025^a	0.743±0.098^a	1.236±0.04^a	1.31±0.1^a
	6	11.30±1.28^a	1.097±0.023^a	0.795±0.105^b	1.245±0.034^a	1.3±0.07^a
	12	11.04±1.49^a	1.087±0.021^a	0.768±0.11^{ab}	1.251±0.056^a	1.34±0.12^a
Root Mean Sqares		1.31	0.024	0.09	0.045	0.1
C.V.		11.74	2.17	11.67	3.61	7.61

حروف مشترک در هر تیمار، نشاندهنده‌ی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

The same letters in each treatment are significantly different significance level of 0.05 according to Duncan's test.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر شرایط مختلف خشک شدن ورقه‌های سیب با استفاده از یک خشک‌کن دوار سینی‌دار بر خصوصیات کیفی رنگ ورقه‌های خشک شده سیب شامل پارامترهای L، a، b، تغییر رنگ کلی (ΔE) و شاخص قهوه‌ای شدن بررسی شد. مشخص شد که فقط دما تاثیر معنی‌داری روی همه شاخص‌های رنگ، به غیر از شاخص قهوه‌ای شدن (BI/BI_0) دارد و با افزایش دما مقدار روشنایی، قرمزی و زردی ورقه‌های سیب خشک شده افزایش یافته است. ولی شاخص قهوه‌ای شدن تحت تاثیر هیچکدام از متغیرهای خشک‌کردن نبود.

۵- مراجع

Baini, R., Langrish, T.A.G. 2009. Assessment of color development in dried bananas measurements and implications for modelling. Journal of Food Engineering.93(2). 177-182.

Cernisev, S., 2010. Effects of conventional and multistage drying processing on non-enzymatic browning in tomato. Journal of Food Engineering 96:114 –118.

Contreras, C., Martín-Esparza, M.E., Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., 2008. Influence of microwave application on convective drying: effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. J. Food Eng. 88 (1), 55–64.

Ekechukwu, O. V, Norton, B., 1998. Review of solar energy drying systems II: an over view of solar drying technology, Energy Conservation and Management. 615 -655.

Ergunes, G., Tarhan, S., 2006. Colour retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying. Journal of Food Engineering, 76: 446 –452.

Fernandez, L., Castillero, C., Aguilera, J.M., 2005. An application of image analysis to dehydration of apple discs. J. Food Eng. 67(1–2), 185–193.

Guinéa P.F.R., Barrocab. M.J., 2011. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). Food and Bioproducts Processing

Krokida, M.K., Maroulis, Z.B., Saravacos, G.D., 2001. The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. Int. J. Food Sci. Technol. 36 (1), 53–59.

Maskan, M. 2002. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruit during hot air and microwave drying. J. of food Eng. 48, 277-282.

Nadian, M. H., Rafiee, S., Aghbashlo, M., Hosseinpour, S., & Mohtasebi, S. S. 2015. Continuous real-time monitoring and neural network modeling of apple slices color changes during hot air drying. Food and Bioproducts Processing. 94, 263–274.

Sablani S.S., Datta A.K., Rahman M.S., Mujumdar, A.S., 2006. Mathematical Modeling Techniques in Food and Bioprocesses. In: Taylor & Francis (Eds.), "Handbook of Food and Bioprocess Modeling Techniques", Boca raton, London, New York.

Salunkhe, D.K., H.R. Boun and N.R. Reddy. 1991. Storage processing and nutritional quality of fruits and vegetables (pp. 156-161). Boston, MA. USA, CRC Press Inc.

Santos-Sánchez, N. T., Valadez-Blanco, R., Gómez-Gómez, M. S., Pérez-Herrera, A., Salas-Coronado, R. 2012. Effect of rotating tray drying on antioxidant components, color and rehydration ratio of tomato saladette slices. LWT - Food Science and Technology 46, 298e304.

Seiiedlou, S., Gasemzadeh, R.H., Hamdami, N., Talati, F., Moghaddam, M., 2010. Convective Drying of Apple: Mathematical Modeling and Determination of some Quality Parameters. International Journal of Agriculture & Biology. 171-178.

Sing, N.J., Pandey, R.K., 2012. Rehydration characteristics and structural changes of sweet potato cubes after dehydration. American Journal of food Technology 6(8): 709-716.

Vega-Galvez, A., Kong Ah-Hen, Marcelo Chacana, Judith Vergara, Javier Martinez-Monzo. 2012. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. *Granny Smith*) slices. Food Chemistry, 132, 51–59.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران