مطالعه چروکیدگی برگه‌های سیب‌زمینی در طی خشک‌شدن در خشک‌کن لایه نازک

فضل الله اسکندری چراتی [1]، محمد شکفته [2] ، یاسین حسین‌پور [3] و ایوب امرایی [3]

1- کارشناس ارشد مکانیزاسیون کشاورزی ؛ دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد علوم و تحقیقات آیت الله آملی ، باشگاه پژوهشگران جوان ،آمل، ایران.

2- دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت،کرمان

3- دانشجویان کارشناسی مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه جامع علمی کاربردی کشاورزی سلمانشهر،مازندران

f.eskandaricherati@gmail.com

چکیده

خشک‌کردن میوه‌ها موجب جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها می‌شود. یکی از روشها در انتخاب مواد غذایی استفاده از حس بینایی می باشد که معمولا استفاده از این حس در انتخاب میوه های خشک شده اهمیت زیادی دارد. در استفاده از حس بینایی برای انتخاب مواد معمولا ترکیبی از رنگ، شکل، اندازه و چروکیدگی مواد اهمیت زیادی دارد. این تحقیق که در مرکز آموزش جهاد کشاورزی سلمانشهر انجام شده ، که در آن میزان چروکیدگی برگه‌های سیب‌زمینی در دماهای 60، 70 و 80 درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای 0.5 و 1 متر بر ثانیه مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت . در فاصله‌های زمانی یکسان در طی خشک شدن توسط دوربین دیجیتال از نمونه ها عکس گرفته شد. از عکس‌های گرفته شده ابعاد جسم بدست آمده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت . نتایج نشان داد که در دمای 80 درجه خشک‌شدن محصول بطور یکنواخت بوده و بازارپسندی بیشتری نسبت به دماهای دیگر دارد . سرعت هوا در محدوده آزمایش تاثیری بر چروکیدگی محصول نداشت.

کلمات کلیدی: خشک‌کردن، برگه سیب‌زمینی، چروکیدگی، نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک

مقدمه

استفاده از چیپس خشک شده میوه‌ها در سالهای اخیر گسترش فراوانی یافته است . چیپس میوه‌ها و سبزیجات که در دسته خشکبار و آجیل قرار گرفته و بصورت تنقلات مصرف می شوند مصرف غذایی نیز دارد . میوه‌های خشک نسبت به سایر تنقلات دارای ارزش غذایی بالایی می باشند. میوه‌های خشک علاوه بر اینکه غنی از فیبر، انواع ویتامین‌ها، سدیم، پتاسیم و دیگر املاح مورد نیاز بدن است موجب بهبود فرایند متابولیسم و در نتیجه جذب عناصر ارزشمند در بدن می شود. خشک‌کردن میوه‌ها موجب جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها می‌شود.

یکی از روشها در انتخاب مواد غذایی استفاده از حس بینایی می باشد که معمولا استفاده از این حس در انتخاب میوه‌های خشک شده اهمیت زیادی دارد . در استفاده از حس بینایی برای انتخاب مواد معمولا ترکی بی از رنگ، شکل، اندازه و چروکیدگی مواد اهمیت زیادی دارد. در خشک‌کردن چیپس میوه ها بعلت خروج رطوبت رنگ، اندازه و بافت مواد متحمل تغییر چشمگیری می شود که تغییر در اندازه و نوع چروکیدگی محصول تاثیر بسیار زیادی بر بازارپسندی آن دارد[Yan, 2004].

در طی خشک‌شدن بعلت خروج رطوبت در ساختار ماده فضاهای خالی بوجود می آید. این فضاهای خالی موجب از بین رفتن ساختار اصلی ماده و چروکیدگی محصول می شود. چروکیدگی محصول در طی خشک شدن توسط محققان زیادی و بروشهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

یکی از این روشها استفاده از کولیس و میکرومتر برای اندازه‌گیری تغییرات در اندازه محصول می‌باشد. در این روش بعلت اینکه نیاز است برای اندازه گیری اندازه نمونه از خشک کن خارج شود موجب تغییر در روند خشک شدن محصول می‌شود علاوه بر این بعلت وابسته بودن به کاربر دارای خطای انسانی نیز می باشد. علاوه بر این اندازه‌گیری محیط و مساحت در این روش غیر ممکن بوده و اندازه گیری قطر بزرگ و کوچک نیز با خطای زیادی همراه است [Doymaz, 2007] . استفاده از علم ماشین بینایی در کشاورزی در سالهای اخیر گسترش زیادی یافته است . از ماشین بینایی در درجه‌بندی میوه‌ها و سبزیجات از لحاظ رنگ، اندازه و پوسیدگی و همچنین در اندازه گیری سطح برگ گیاهان کاربرد زیادی دارد . تعداد کمی از محققان از ماشین بینایی برای اندازه گیری ابعاد میوه ها بعلت دقت بالا و راحتی آن و حذف خطای انسانی و قابلیت اندازه گیری آنلاین استفاده کرده اند . در بررسی شکل یک چیپس محیط، مساحت، قطر بزرگ و کوچک مهم می باشد. در یک آزمایشی چروکیدگی چیپس سیب زمینی را در طی خشک‌کردن اندازه‌گیری شده بطوریکه این محققان از دو دوربین برای اندازه گیری تغییرات ابعادی چیپس و ارتباط آن به میزان رطوبت محصول استفاده کردند [Mendiola *et al*., 2007]. در آزمایش دیگری از یک دوربین برای اندازه گیری مجیط، مساحت، قطر بزرگ و کوچک و قطر دایره فرت در خشک کردن برگه های سیب استفاده کردند [Fernandez *et al*., 2005] . از سیستم ماشین بینایی هچنین برای اندازه گیری تغییرات اندازه انگور در طی خشک شدن استفاده شد [Ramos *et al*., 2005].

از آنجایی که میزان و نحوه چروکیدگی محصول در طی خشک شدن از یک نوع به نوع دیگر و در دماها و سرعتهای مختلف هوای خشک کن بسیار متفاوت می باشد در این تحقیق از علم ماشین بینایی برای اندازه گیری تغییرات ابعادی و میزان چروکیدگی در طی خشک‌کردن برگه سیب‌زمینی و ارتباط آن با رطوبت نمونه استفاده شده است.

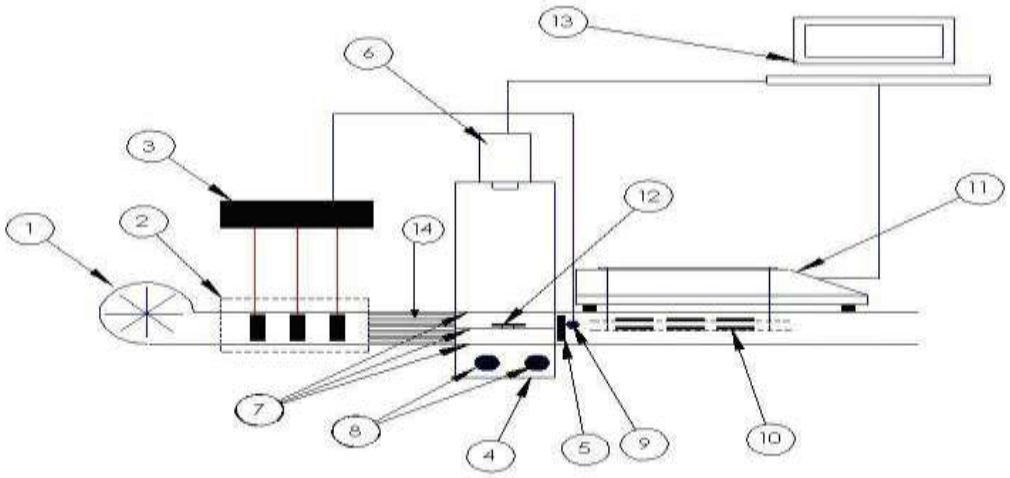
مواد و روشها

الف)خشک‌کن استفاده شده

در این تحقیق از یک خشک کن لایه نازک آزمایشگاهی مجهز به سامانه پردازش تصویر برای انجام آزمایشات لایه‌نازک استفاده شد. شکل 1 نمای شماتیک خشک‌کن استفاده شده را نشان می‌دهد. خشک‌کن مورد نظر از یک دمنده، 3عدد المنت الکتریکی 500 وات(جمعا 1500 وات)، مستقیم کننده جریان هوا، مدار کنترل و تنظیم کننده دمای هوا، سامانه تهیه تصویر و محفظه اصلی خشک کن با یک سینی دو طبقه و ترازوی دیجیتال تشکیل شده بود. تمامی قسمتهای خشک‌کن برای جلوگیری از اتلاف حرارت با توسط پشم شیشه عایق‌بندی بود.

مدار کنترل و تنظیم کننده هوا متشکل از یک میکروکنترلر AVR (ATmega32) و یک حسگر حرارتی LM35 ساخت کشور آمریکا بود. دمای مورد برای هر آزمایش در برنامه‌ای که با استفاده از نرم‌افزار ویژوال بیسیک طراحی شده بود وارد می گردید. پس از این مرحله دمای هوای خشک کن توسط حسگر دما اندازه گیری و از طریق میکروکنترلر به رایانه و برنامه منتقل می شود. برنامه با مقایسه دمای اندازه گیری شده و دمای تنظیم شده پس از خاموش یا روشن کردن المنتها از طریق میکروکنترلر دمای هوا ی خشک کن را به میزان تنظیم شده در برنامه توسط کاربر می رساند. دمای هوا در محفظه خشک کن با دقت ±2 درجه سانتی‌گراد تنظیم می گردید. برای اینکه جریان هوا کمترین اثر مزاحم را بر روی توده محصول داشته باشد جریان هوای گرم از یک محفظه مستقیم کننده

جریان هوا عبور دا ده می‌شد. این محفظه شامل تعدادی لوله آلومینیومی به قطر داخلی و خارجی 0.9 و 1.1 سانتی متر و طول 20 سانتی‌متر بود. حرکت اغتشاشی (توربولانس) هوای دمیده شده توسط دمنده پس از عبور اجباری از محفظه مستقیم کننده به حرکت خطی تبدیل می شد تا در محفظه اصلی خشک کن بصورت افقی حرکت کرده و کمترین اثر را بر روی عدد خوانده شده توسط ترازو داشته باشد . سرعت هوا در محفظه خشک کن توسط سرعت سنج لوترون (Lutron, AM-4201, Taiwan) اندازه‌گیری و از طریق یک دیمر متصل به موتور الکتریکی دمنده تنظیم می گردید. ترازو بر روی محفظه اصلی خشک کن قرار داده می‌شد و سینی دوطبقه حاوی نمونه‌ها از طریق یک مکانیزم میله ای در محفظه اصلی خشک کن از ترازو آویزان می شد. اطلاعات مربوط به وزن سینی نمونه ها با دقت 0.01 گرم توسط ترازوی سارتریوس (Sartorius GE812, Germany) در هر یک دقیقه به رایانه ارسال و در یک فایل ذخیره می‌شد.



1- فن دمنده	2- المنت ها	3- مدار میکروکنترلر	4- محفظه نورپردازی
5- حسگر سرعت	6- دوربین هندی کم	7- صفحات شیشه ای	8- لامپ کم مصرف
9- حسگر دما	10- سینی نمونه‌ها	11- ترازوی دیجیتال	12- نمونه برای تهیه عکس
13- رایانه	14- محفظه مستقیم کننده		

شکل1- نمای شماتیک خشک‌کن مورد استفاده

سامانه تهیه تصویر از یک محفظه نورپردازی، دوربین هندی کم، برنامه رایانه ای تهیه و پردازش عکس تشکیل شده است. از دو عدد لامپ کم مصرف 40 وات در قسمت پایینی (نورپردازی از پایین) محفظه نورپردازی استفاده شد. دوربین هندی کم در بالای محفظه قرار داشته و محصول بین دوربین و لامپ ها قرار می گرفت. در عکس‌های گرفته شده نمونه محصول برنگ سیاه و زمینه برنگ روشن بود . خشک‌کن مورد استفاده دارای دو برنامه رایانه ای بود. برنامه اول برای گرفتن عکس از نمونه در فاصله‌های زمانی قابل تنظیم و ذخیره در رایانه بود. نرم‌افزار دوم برای پردازش عکس‌های گرفته شده در طی آزمایش و تعیین ابعاد نمونه و ذخیره در فایل اکسل استفاده می‌شد.

ب) آزمایشات انجام شده

سیب زمینی مورد نیاز از بازار تهیه شد . برای اندازه‌گیری رطوبت سیب زمینی از روش استاندارد انجمن شیمی آمریکا (AOAC, 1990) استفاده شد. در این روش ابتدا سیب زمینی پوست کنده و به تکه های کوچک تقسیم

شد. پس از وزن کردن نمونه ها، به مدت 24 ساعت در آون با دمای 70 درجه سانتی گراد قرار داده شد تا تمامی رطوبت موجود در آن تبخیر شود. نمونه‌ها پس از خارج شدن از آون دوباره وزن شده و از طریق فرمول های 1 و 2 رطوبت نمونه‌ها بر پایه تر و پایه خشک محاسبه شد . برای بالا بردن دقت آزمون تعیین رطوبت در 3 تکرار انجام گرفت.

فرمول 1:

$$M_d = \frac{W_W - W_d}{W_d}$$

فرمول 2:

$$M_w = \frac{W_W - W_d}{W_w}$$

M_d : میزان رطوبت بر پایه خشک(درصد)

W_W : وزن نمونه تر(درصد)

W_d : وزن نمونه خشک

M_w : میزان رطوبت بر پایه تر(درصد)

رطوبت سیب‌زمینی آزمایش شده 82٪ برپایه تر و 455.5٪ (4.5 گرم آب در یک گرم ماده خشک سیب زمینی) بدست آمد. برای آماده کردن سیب زمینی برای انجام آزمایش پس از پوست کندن سیب زمینی‌ها آنها را توسط دستگاه برش کالباس به ضخامت 10 میلی‌متر برش داده شدند. سپس نمونه‌ها توسط یک استوانه حلبی توخالی به قطر 35 میلی متر به تکه‌های استوانه‌ای تبدیل می‌شدند. یکساعت قبل از انجام هر آزمایش خشک‌کن برای رسیدن به دما و سرعت مناسب و حالت تعادل روشن می شد. آزمایشات در سه دمای 60، 70 و 80 درجه سانتی‌گراد و دو سرعت هوای ورودی 0.5 و یک متر بر ثانیه انجام شدند . برای هر آزمایش 10برگه در محفظه اصلی خشک کن برای اندازه‌گیری رطوبت و یک برگه د ر محفظه تهیه تصویر برای تعیین تغییرات ابعادی قرار داده می شد. برای دقت بالاتر و کاهش خطا تمامی آزمایشات 3 مرتبه تکرار شدند. تمامی آزمایشات تا رسیدن نمونه ها به یک وزن ثابت ادامه پیدا می‌کردند. در تمام طول خشک‌کردن وزن و عکس نمونه‌ها توسط نرم‌افزارهای ترازو و دوربین در هر یک دقیقه را به رایانه ارسال می‌گردید.

ت)مطالعه ریاضی

برای اینکه اثرات تغییر جزیی رطوبت محصول در ابتدا و انتهای خشک شدن حذف شود و بتوان تمامی آزمایشات انجام شده را برای مطالعه و مقایسه بر روی یک نمودار ترسیم کرد از پارامتر نسبت رطوبت (Moisture ratio) استفاده شد. نسبت رطوبت به علت تقسیم با واحدهای یکسان بدون بعد بوده و می توان برای تیمارهای مختلف آزمایش با یکدیگر مورد مقایسه قرار گیرند. فرمول 3 محاسبه نسبت رطوبت می‌باشد.

فرمول 3:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$$

MR: نسبت رطوبت

M: رطوبت محصول در لحظه جاری

M_e: رطوبت تعادلی

Mo: رطوبت اولیه محصول

به علت اینکه مقدار رطوبت تعادلی (M_e) در مقایسه با رطوبت اولیه و رطوبت محصول در لحظه جاری محصول بسیار ناچیز بود از استفاده از رطوبت تعادلی در محاسبه نسبت رطوبت صرفنظر شد و نسبت رطوبت از طریق فرمول 4 محاسبه شد.

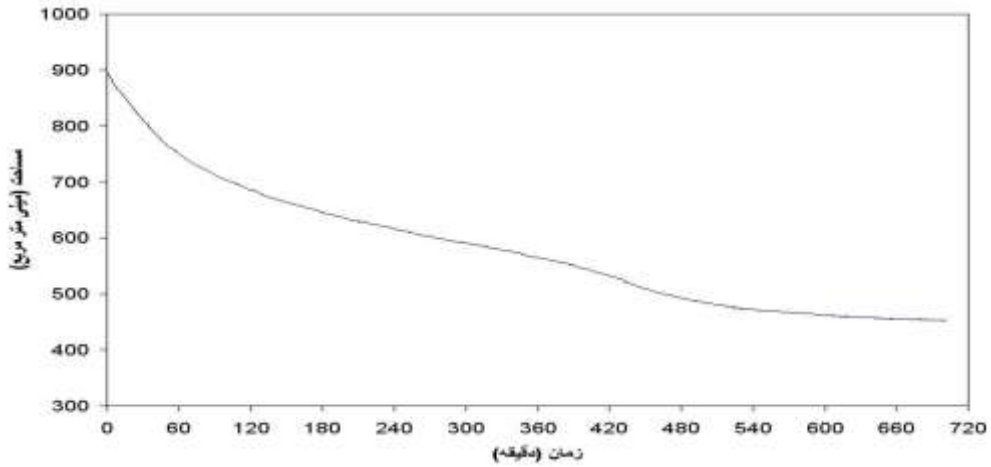
فرمول4:

$$MR = \frac{M}{M_0}$$

پس از اتمام خشک کردن برنامه پردازش تصویر تمامی عکس‌های گرفته شده در طی خشک‌شدن را بصورت متوالی باز کرده و پس از تعیین مساحت، قطر بزرگ و کوچک و نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک نمونه، تمامی اطلاعات را در یک فایل اکسل ذخیره می‌کرد.

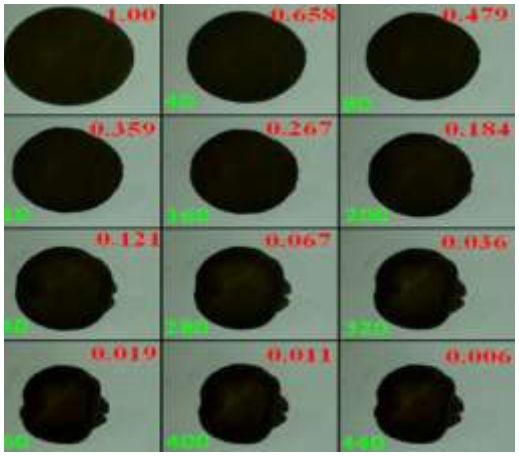
نتایج و بحث

شکل 2 نشان دهنده روند کاهش مساحت برگه سیب زمینی در طی خشک شدن برحسب زمان می باشد. مساحت نمونه سیب‌زمینی از حدود 900 میلی‌متر مربع در ابتدای خشک شدن به حدود 450 میلی‌متر مربع رسید . در ابتدای خشک‌شدن شیب نمودار که نشان دهنده سرعت کاهش مساحت می باشد بسیار بالا بوده و با پیشروی زمان شیب نمودار نیز کاهش یافته و در اواخر فرایند به صفر میرسد.

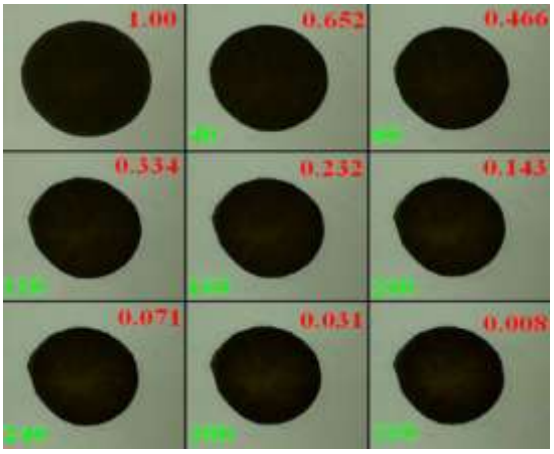


شکل2. روند کاهش مساحت در دمای 60 درجه و سرعت یک متر بر ثانیه

مجموعه ای از عکس های گرفته شده طی خشک شدن برگه سیب زمینی در دمای 70 و 80 درجه سانتی گراد به ترتیب در شکل های 3 و 4 نشان داده شده است . تغییرات اندازه و چروکیدگی در طی فرایند بطور واضح قابل مشاهده می باشد. عدد سبز(سمت چپ پایین هر تصویر) نشان دهنده مدت زمان سپری شده از ابتدای آزمایش برحسب دقیقه و عدد قرمز(سمت راست بالای هر تصویر) نشان دهنده نسبت رطوبت(MR) می‌باشد.

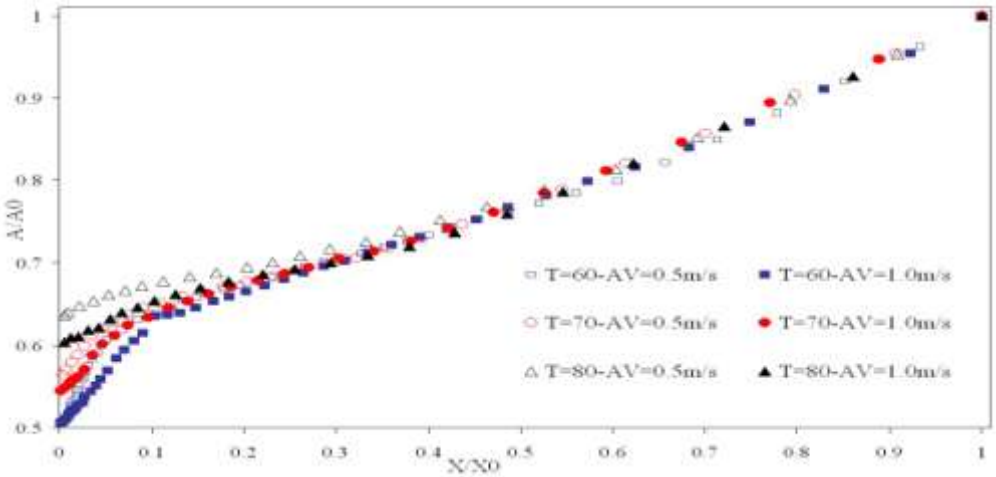


شکل3. مجموعه عکس‌های گرفته شده در دمای 70 درجه سانتی گراد



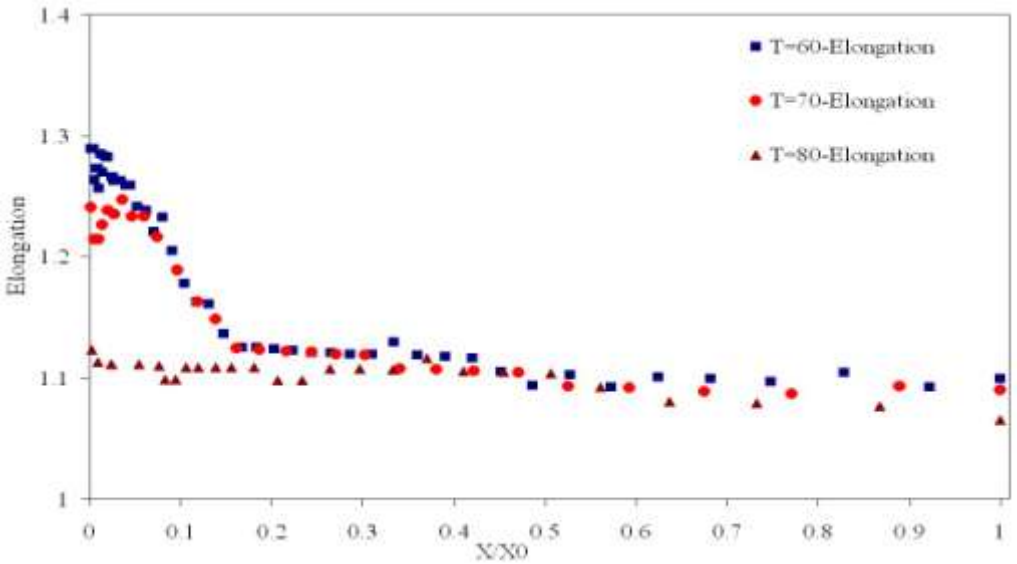
شکل4. مجموعه عکس‌های گرفته شده در دمای 80 درجه سانتی گراد

برای مقایسه اثر دما و سرعت هوای خشک‌کن بر میزان کاهش مساحت و چروکیدگی، نمودار کاهش مساحت در تمامی شرایط آزمایش شده برحسب نسبت رطوبت در شکل 5 آورده شده است . منحنی‌های ترسیم شده نشان می‌دهد که از ابتدای خشک‌شدن تا نسبت رطوبت 0.2 میزان کاهش رطوبت برای تمامی دماها و سرعت ها یکسان می‌باشد. در مراحل پایانی خشک شدن میزان کاهش مساحت برای دمای 60 درجه بیشترین و برای دمای 80 درجه کمترین میزان را دارد. با بررسی نمودار می توان دریافت که سرعت هوای خشک کن تاثیری بر میزان کاهش مساحت ندارد.



شکل5. کاهش نسبت مساحت با نسبت رطوبت در دماها و سرعت‌های مختلف

نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک (Elongation) برگه در طی خشک شدن در دماهای مختلف در شکل 6 نشان داده شده است. در ابتدای فرایند خشک شدن این نسبت برای تمام دماها نزدیک به یک بود که این نشان دهنده این است که قطر بزرگ و کوچک در ابتدا با تقریبا با هم برابر بوده و سطح مقطع نمونه حالت دایره دارد. با کاهش میزان رطوبت تا نسبت رطوبت 0.2 این پارامتر برای تمام نمونه ها ثابت باقی ماند که نشان دهنده یکنواختی چروکیدگی تا این مرحله می باشد . در مراحل انتهایی خشک شدن(کاهش نسبت رطوبت به کمتر از 0.2) میزان نسبت قطر بزرگ و کوچک برای دماهای 60 و 70 درجه افزایش یافته و نشان دهنده افزایش اختلاف اندازه قطر بزرگ و کوچک می باشد که این خود بیانگر چروکیدگی غیر یکنواخت است . برای دمای 80 درجه میزان این پارامتر تا انتهای خشک شدن تقریبا ثابت باقی ماند . یعنی در این درجه حرارت چروکیدگی در تمام زمان خشک‌شدن بصورت یکنواخت بوده و محصول شکل دایره ای خود را تقریبا تا انتها حفظ می کرد. شکلهای 3 و 4 نتایج بدست آمده از این نمودار را تائید می‌کند.



شکل6. نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک در طی آزمایش در سرعت یک متر بر ثانیه

نتیجه گیری

نتایج بدست آمده نشان دهنده این مطلب می باشد که به علت خروج آب در طی خشک شدن، محصول دچار چروکیدگی می‌شود. میزان و نوع این چروکیدگی در دماهای آزمایش شده متفاوت می باشد. در دماهای 60 و 70 درجه این چروکیدگی در انتهای خشک‌شدن بصورت غیر یکنواخت بوده اما برای دمای 80 درجه بصورت یکنواخت می‌باشد. محصول خشک شده در دمای 80 درجه بعلت چروکیدگی یکنواخت(نزدیکی بیشتر شکل به حالت دایره) دارای بازارپسندی بیشتری می‌باشد. سرعت هوا در محدوده آزمایش شده تاثیری بر چروکیدگی محصول ندارد.

قدردانی

در این قسمت از سرکار خانم زینب عمرانی که در نگارش ؛ تجزیه و تحلیل این مقاله به بنده کمک کردند ؛ کمال تشکر و امتنان را دارم.

منابع

1- Doymaz, I., 2007. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. Journal of Food Engineering., 79: 243–248
2- Mendiola, R.C., Hernandez, H.S., Perez, J.C., Beltran, L.A., Aparicio, A.J., Fito, P., Lopez, G.F., 2007. Non-isotropic shrinkage and interfaces during convective drying of potato slabs within the frame of the systematic approach to food engineering systems (SAFES) methodology. Journal of Food Engineering. 83, 285-292
3- Fernandez, L., Castillero, C., Aguilera, J.M., 2005. An application of image analysis to dehydration of apple discs. Journal of Food Engineering. 67, 185-193.
4- Ramos, I.N., a, Silva, C.L.M., Sereno, A.M., Aguilera, B.J.M., 2004. Quantification of microstructural changes during first stage air drying of grape tissue. Journal of Food Engineering. 62, 159-164.
5- Yan, Z., Sousa-Gallagher, J.M., Oliveira, A.R. F., 2007. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. Journal of Food Engineering. 83(3), 430-440.