



پیش بینی محتوای رطوبتی شوید (*Anethum graveolens*) در خشک کن جریان هوای گرم به کمک بینایی ماشین

هاوین علی پناهی^۱، ناصر بهروزی خزائی^۲، کاوه ملازاده^۳، حسین درویشی^۴

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛ havinalipanahi@yahoo.com

^۲استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛ n.behroozi@uok.ac.ir

^۳استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛ k.mollazade@uok.ac.ir

^۴استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛ hosaindarvishi@gmail.com

چکیده

در این تحقیق سینتیک خشک شدن شوید در یک خشک کن جریان هوای گرم آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان چروکیدگی به کمک یک الگوریتم پردازش تصویر توسعه داده شده محاسبه شد. محصول شوید به صورت لایه نازک در سه سطح دمایی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد در یک خشک کن جریان هوای گرم آزمایشگاهی قرار گرفت و خشک گردید. در طی خشک شدن، از نمونه‌ها در فواصل زمانی ثابت ۵ دقیقه‌ای تصویربرداری شد. براساس نتایج به دست آمده، با افزایش دما، مدت زمان خشک شدن نمونه‌ها کاهش و میزان چروکیدگی آن‌ها افزایش یافته و بین نسبت رطوبتی و چروکیدگی سطحی یک رابطه‌ی خطی با ضریب تبیین ۰.۹۳۹۳ وجود داشت. این پژوهش نشان داد که بینایی ماشین یک ابزار سودمند برای اندازه گیری محتوای رطوبتی محصولات در طی فرایند خشک کردن می باشد.

کلمات کلیدی: پردازش تصویر، چروکیدگی، مدل سازی

Moisture Content Prediction of Dill (*Anethum graveolens*) in Hot Air Dryer by Machine Vision

Havin Alipanahi¹, Nasser Behroozi-Khazaei², Kaveh Mollazade³, Hosain Darvishi⁴

¹M.Sc. Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran, Email: havinalipanahi@yahoo.com

²Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran, Email: n.behroozi@uok.ac.ir

³Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran, Email: k.mollazade@uok.ac.ir

⁴Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran, Email: hosaindarvishi@gmail.com

ABSTRACT

In this study, the kinetic of drying of dill in a hot air dryer was evaluated and an image processing algorithm was developed for calculating the shrinkage. The thin layer of dill was dried at 50, 60 and 70°C. During the drying, images were taken from the samples every 5 minutes. The results showed that the drying time of samples decreased with increasing temperature. Also a linear relationship between shrinkage and moisture ratio with correlation coefficient of 0.9393 was obtained. This study demonstrated that machine vision is a promising tool for measuring the moisture content of product during the drying process.

Keywords: Image processing, Modeling, Shrinkage.



استفاده از داروهای شیمیایی در هنگام بروز بیماری از طرفی موجب بالا رفتن هزینه‌ها و همچنین در دراز مدت سبب ایجاد عوارض جانبی می‌گردد. به همین دلیل در سال‌های اخیر تمایل به استفاده از داروهای گیاهی رو به افزایش نهاده است (Karamian and Kiamanesh., 2014). یکی از گیاهانی که ساقه و برگ آن به صورت تازه، خشک‌شده و همچنین دانه‌ی آن به منظور خواص دارویی (درمان دل درد و نفخ شکم و مداوای بیماری‌های مربوط به جهاز هاضمه و ...) مورد استفاده قرار می‌گیرد، شوید است. شوید یا شبت یک گیاه یک ساله و معطر از خانواده‌ی Apiaceae می‌باشد. این گیاه یک منبع غنی از ویتامین‌های C، E، بتاکاروتن، تیامین و موادمعدنی ارگانیک می‌باشد و در میان گونه‌های کاهنده‌ی خطر ابتلا به بیماری سرطان قرار دارد (Naidu et al., 2016). از آنجایی که دسترسی به تمامی گیاهان دارویی در تمامی فصول سال امکان‌پذیر نمی‌باشد، لذا باید از روش‌های معمول نگهداری محصولات کشاورزی بهره‌برد. یکی از قدیمی‌ترین روش‌های حفظ و نگهداری مواد غذایی خشک‌کردن می‌باشد (Wannapakhe et al., 2012). خشک‌کردن به معنی کاهش رطوبت تا سطحی از رطوبت است که بتوان محصول را برای مدت زمان معینی در انبار بدون فساد نگهداری کرد (Wankhade et al., 2013). این روند اغلب به صورت سنتی بوده که باعث ایجاد تغییرات در برخی خواص فیزیکی و شیمیایی محصولات شامل رنگ، بافت، اندازه و کاهش مواد مغذی می‌شود (Adak et al., 2017) و در مواردی که به صورت صنعتی خشک می‌گردند کنترل محتوای رطوبتی آن‌ها به صورت تجربی بوده و سامانه‌ای جهت نظارت بر محتوای رطوبتی نهایی محصول طی خشک شدن وجود ندارد. این امر موجب بیش‌تر خشک‌کنی محصول و کاهش کیفیت آن محصول یا خشک‌کردن با محتوای رطوبتی بالاتر از مقدار استاندارد (۸-۱۲٪) بر پایه تر، که طی دوره انبارمانی موجب کاهش کیفیت می‌شود، می‌گردد. به همین دلیل برای خشک‌کردن محصولات کشاورزی از خشک‌کن‌ها استفاده می‌شود. جهت کنترل مراحل عملیاتی خشک‌کن‌ها و بهینه‌سازی این فرآیندها از انواع مدل‌سازی استفاده می‌شود. هدف کلی از انجام مدل‌سازی انتخاب یک مدل مناسب و برازش داده‌های به‌دست آمده به کمک آن و تعیین مناسب‌ترین مدل با کمترین خطا جهت بررسی سینتیک خشک کردن می‌باشد (Midilli et al., 2002).

سینتیک خشک شدن لایه نازک گیاه دارویی شوید در چهار دمای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و سه سرعت هوای ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه در یک خشک‌کن خورشیدی مدل‌سازی شد. نتایج نشان‌داد مدل آغباشلو و همکاران بهترین برآورد از منحنی سینتیک خشک‌کردن را ارائه می‌دهد و میزان سرعت خشک شدن با افزایش دما و سرعت هوای ورودی افزایش می‌یابد (Mirzaee Ghaleh et al., 2015). مدل‌سازی خشک کردن گیاه ریحان به دو روش خورشیدی و آفتابی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌داد سرعت خشک شدن با افزایش دما افزایش می‌یابد و مدل هندرسون برای هر دو مورد بهترین برآورد را ارائه داد (Tavakolipoor et al., 2011). در سرعت هوای ثابت ۱/۵ متر بر ثانیه ورقه‌های سیب‌زمینی با ضخامت‌های متفاوت ۳، ۶ و ۹ میلی‌متر را در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد در یک خشک‌کن کابینتی جریان هوای موازی خشک شدند. میزان چروکیدگی آن‌ها با استفاده از تکنیک پردازش تصویر در نرم افزار MATLAB مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان دادند که دمای هوا، راستای قرارگیری نمونه‌ها در مقابل جریان هوای گرم و ضخامت نمونه‌ها تاثیر معنی‌داری بر مساحت و نسبت کرویت داشته‌اند (Roostapoor et al., 2012). برش‌های سیب در دماهای ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند و برای اندازه‌گیری تغییرات چروکیدگی و بافت از بینایی ماشین استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده‌ی آن بود که سیستم بینایی ماشین می‌تواند برای اندازه‌گیری چروکیدگی برش‌های سیب در طول فرآیند خشک‌کردن استفاده شود. اما چروکیدگی به دلیل توسعه تخلخل طی فرآیند نشانگر خوبی برای پایان خشک شدن نبود (Sampson et al., 2014). در این تحقیق به بررسی سینتیک خشک‌شدن گیاه دارویی شوید در یک خشک‌کن جریان هوای گرم آزمایشگاهی و پیش‌بینی محتوای رطوبتی آن به کمک بینایی ماشین پرداخته شده‌است. در نهایت یک مدل ریاضی برای روند چروکیدگی شدن با کمترین خطا ارائه گردیده‌است.

۲- بخش مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها از یک سینی که نمونه‌ها بر روی آن قرار می‌گرفتند استفاده شد. جهت خشک کردن شوید از یک دستگاه خشک‌کن جریان هوای گرم آزمایشگاهی، برای اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها از یک ترازوی دیجیتال (GF-600, A&D, Japan) با دقت ۰/۰۱ گرم و همچنین برای گرفتن تصاویر از نمونه‌ها از یک محفظه که شامل چهار عدد لامپ LED و یک دوربین (Logitech C920) بود، استفاده گردید.



۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها

محصول شوید از یک فروشگاه محلی در سنج خریداری شد. پس از جداسازی ساقه‌ها و شستشو، محصول در یخچال نگهداری گردید و نیم ساعت قبل از انجام آزمایشات خارج می‌شدند. میانگین محتوای رطوبتی اولیه محصول بر پایه خشک $5/90$ (kg water/ kg dry matter) بود. برای انجام هر آزمایش $15/2$ گرم از محصول به صورت لایه نازک بر روی سینی قرار گرفت.

۲-۲- خشک کردن نمونه‌ها در خشک کن

قبل از شروع آزمایشات ابتدا خشک کن را به مدت ۲۰ دقیقه روشن کرده تا دمای آن به دمای موردنظر رسیده سپس سینی حاوی نمونه در داخل آن قرار داده شد. هر پنج دقیقه یکبار نمونه‌ها را خارج کرده، به کمک ترازو وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد، در محفظه‌ی تصویربرداری قرار گرفته و از آن‌ها عکس گرفته شد. این کار در سه سطح دمایی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و سرعت هوای $0/5$ متر بر ثانیه انجام گردید.

۲-۳- محاسبه‌ی محتوای رطوبتی

میزان محتوای رطوبتی (X) نمونه (بر پایه خشک) به کمک رابطه‌ی (۱) در هر بار وزن کردن محاسبه شد (Chen et al., 2012):

$$X = \frac{m(t) - m_s}{m_s} \quad (1)$$

که در این رابطه، $m(t)$ وزن نمونه‌ها در لحظه‌ی t و m_s وزن ماده خشک می باشد. میزان نسبت رطوبتی (MR) از رابطه‌ی (۲) محاسبه شد:

$$MR = \frac{X_t}{X_0} \quad (2)$$

در این رابطه، X_t محتوای رطوبتی در لحظه t و X_0 مقدار محتوای رطوبتی اولیه می باشد.

۲-۴- توسعه‌ی الگوریتم پردازش تصویر

برای بدست آوردن میزان چروکیدگی در هر لحظه، از تصاویر رنگی گرفته شده در نرم افزار MATLAB استفاده شد. این تصاویر رنگی شامل پیکسل‌های مربوط به نمونه و پس زمینه بودند (شکل ۱.a). برای محاسبه‌ی چروکیدگی لازم بود ابتدا تصویر بخش بندی شود و پیکسل‌های مربوط به پس زمینه حذف شوند.

جهت حذف پس زمینه، تصویر RGB اولیه به یک تصویر HSV تبدیل شد (شکل ۱.b). کانال S تصاویر استخراج و به باینری تبدیل گردید (شکل ۱.c و شکل ۱.d). تصویر بدست آمده به کمک یک فیلتر دیسکی یکبار سایش و یکبار اتساع داده شد (شکل ۱.e و شکل ۱.f) و از یک فیلتر دیگر هم برای پر کردن نواحی خالی استفاده شد (شکل ۱.g). در نهایت تصویر رنگی اولیه به کمک تصویر حاصل شده ماسک گذاری گردید و نمونه‌ها کاملاً از پس زمینه جدا شدند (شکل ۱.h).

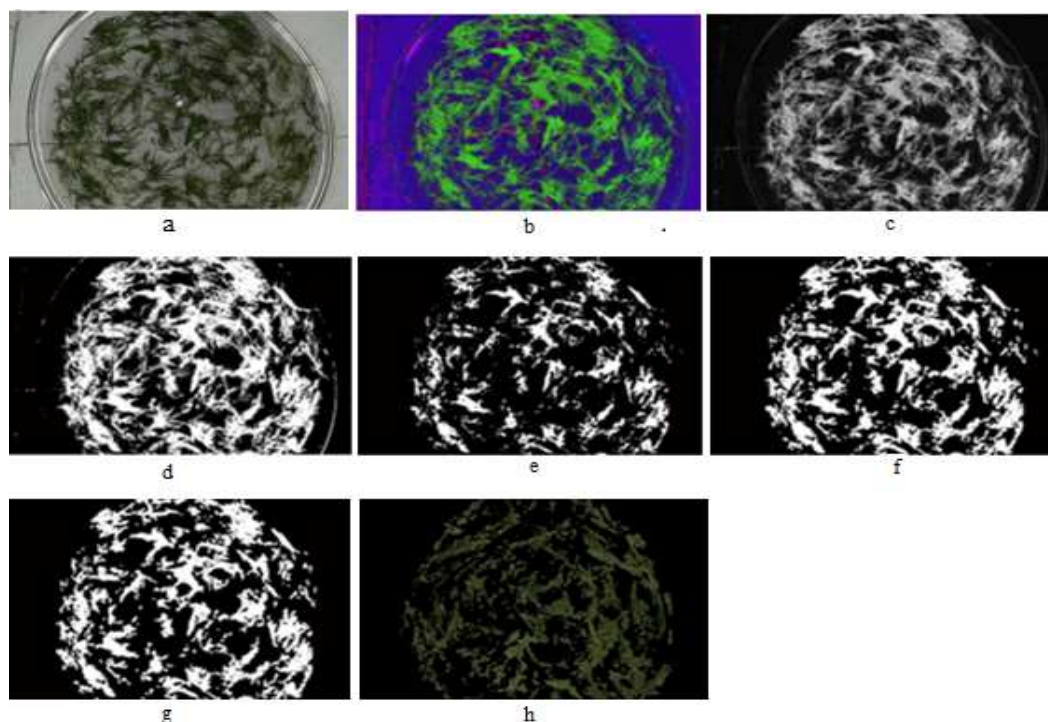


Figure 1. Image segmentation.

شکل ۱- بخش بندی تصویر.

۲-۵- محاسبه‌ی چروکیدگی سطحی

میزان چروکیدگی سطحی محصول در هر لحظه به کمک تصاویر بدست آمده (شکل ۱.g)، از رابطه‌ی (۳) محاسبه گردید:

$$AR = \frac{A}{A_0} \quad (3)$$

که در این رابطه، A تعداد پیکسل‌های هر تصویر و A_0 تعداد پیکسل‌های تصویر اولیه می‌باشد.

۲-۶- مدلسازی چروکیدگی

داده‌های بدست آمده برای چروکیدگی به کمک رابطه‌ی خطی (۴) مدلسازی شدند:

$$MR = 1.3912 * AR - 0.5214 \quad (4)$$

برای تعیین دقت رابطه خطی از ضریب تعیین (R^2) و میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده می‌شود. مدل با نزدیکترین عدد به ۱ بعنوان R^2 و کمترین عدد برای RMSE بعنوان مدل مناسب انتخاب می‌گردد. بنابراین مقدار میانگین مربعات خطا نیز به کمک رابطه‌ی (۵) محاسبه گردید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (MR_{exp} - MR_{pred})^2} \quad (5)$$

شکل (۲)، نمودار تغییرات نسبت رطوبتی، نسبت به زمان را نشان می‌دهد. زمانی که محتوای رطوبتی به مقدار ۸-۱۲٪ بر پایه تر رسید مقدار رطوبت نسبی برای هر سه دما حدود ۰/۱۵ بود. طبق شکل (۲) نمونه‌ها در ابتدای روند خشک شدن، سریع‌تر رطوبت از دست می‌دهند و با گذشت زمان این روند کندتر می‌شود. همچنین در دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد حدود ۲۵ دقیقه وقت لازم بود تا محتوای رطوبتی شوید در خشک‌کن به مقدار موردنظر برسد. این در حالی است که در دمای ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ۶۰ دقیقه و در دمای ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ۳۰ دقیقه وقت لازم بود. بنابراین با افزایش دما میزان رطوبت در مدت زمان کم‌تری به میزان موردنظر رسیده بود.

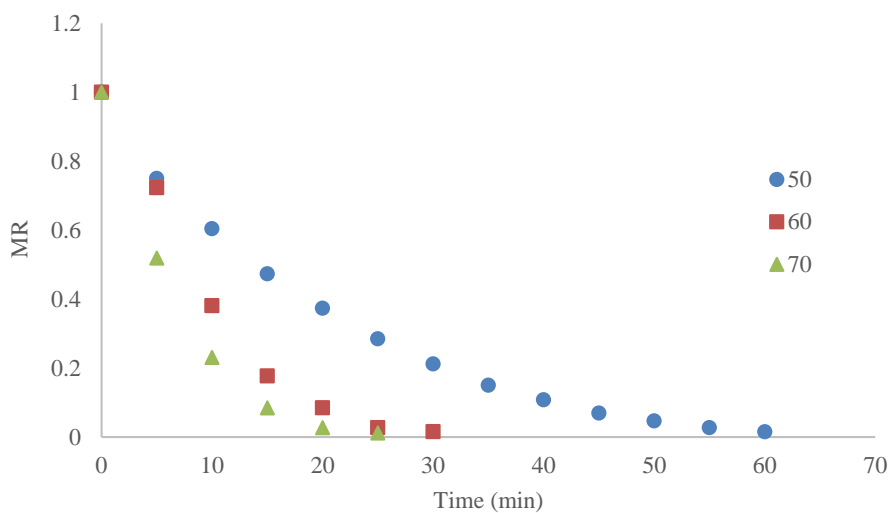


Figure 2. The effect of time on moisture ratio loss of dill.

شکل ۲- اثر زمان بر کاهش نسبت رطوبتی شوید.

شکل (۳)، نمودار تغییرات چروکیدگی سطحی نسبت به زمان را برای سه سطح دمایی نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، زمانی که مقدار محتوای رطوبتی به مقدار موردنظر رسیده بود میزان چروکیدگی سطحی برای هر سه دما حدود ۰/۴ بوده‌است. در ۱۰ دقیقه‌ی اول نمونه‌ها سریع‌تر چروکیده شده بودند. در دمای ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد از دقیقه‌ی ۴۰ به بعد میزان چروکیده شدن بسیار کمتر اتفاق افتاده بود و تقریباً چروکیدگی ثابت بود.

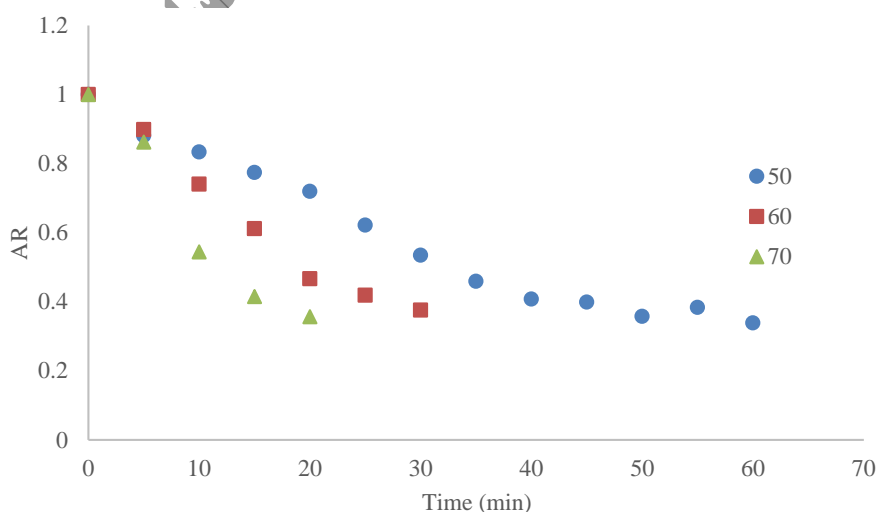


Figure 3. The effect of time on surface shrinkage increase of dill.

شکل ۳- اثر زمان بر افزایش چروکیدگی سطحی شوید.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



شکل (۴)، نمودار تغییرات نسبت رطوبتی را نسبت به تغییرات چروکیدگی سطحی نشان می‌دهد. زمانی که میزان چروکیدگی سطحی محاسبه شده برابر با یک بوده (لحظه‌ی اول)، میزان نسبت رطوبتی نیز برابر با یک بوده‌است و با کاهش نسبت رطوبتی میزان چروکیدگی نیز کاهش یافته‌است، بدین معنی که با کاهش رطوبت، نمونه‌ها بیشتر چروکیده شده بودند. همچنین نتایج این شکل نشان دهنده آن است که بین تغییرات چروکیدگی و محتوای رطوبتی رابطه خطی وجود دارد.

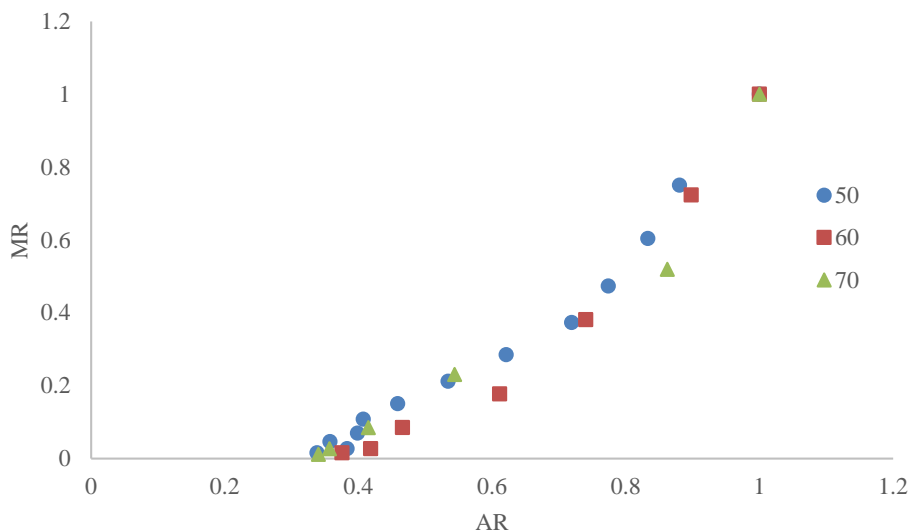


Figure 4. The effect of moisture ratio on surface shrinkage increase of dill.

شکل ۴- اثر نسبت رطوبتی بر افزایش چروکیدگی سطحی شوید.

شکل (۵)، نمودار تغییرات نسبت رطوبتی را نسبت به تغییرات چروکیدگی سطحی به کمک مدل خطی نشان می‌دهد. که در آن $R^2=0.9393$ و $RMSE=0.0808$ می‌باشد که این میزان خطای پایین مشخص کننده‌ی این است که مدل توانسته داده‌های بدست آمده برای چروکیدگی را به خوبی پیش بینی کند.

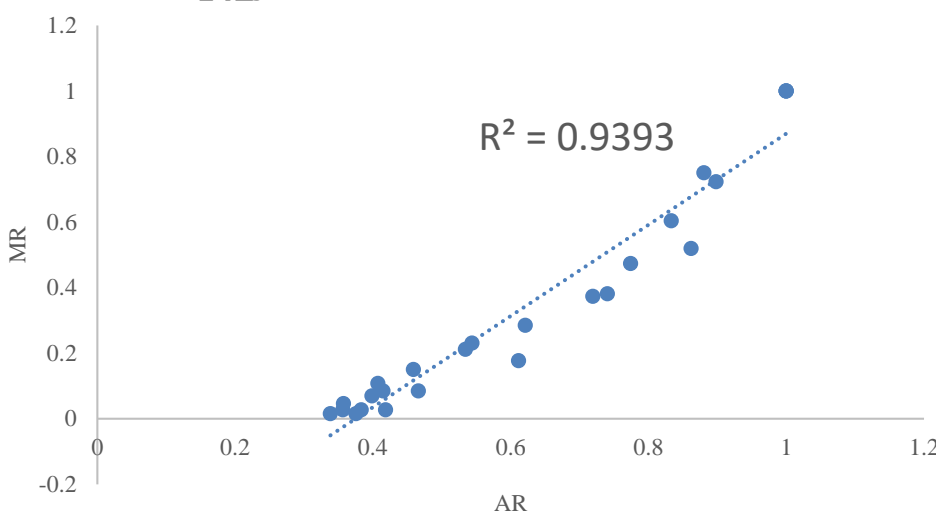


Figure 5. The effect of predicted moisture ratio on surface shrinkage

شکل ۵- اثر مقادیر پیش‌بینی شده‌ی نسبت رطوبتی بر چروکیدگی سطحی



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که رسیدن به میزان رطوبت نهایی ۱۲-۸٪ شوید خشک شده در دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد سریع‌تر از دماهای ۵۰ و ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد رخ داد. در دماهای مختلف و در رطوبت نهایی ۱۲-۸٪ میانگین چروکیدگی نهایی حدود ۰/۴ بدست آمد. به عبارتی با افزایش دما، میزان رطوبت کاهش و میزان چروکیدگی سطحی افزایش یافت. نتایج آماری نشان داد مدل خطی با مقدار $R^2=0/9393$ و $RMSE=0/0808$ بدست آمده به خوبی می‌تواند روند تغییرات رطوبت را بر اساس تغییرات چروکیدگی پیش بینی کند و ماشین بینایی یک ابزار سودمند برای اندازه‌گیری محتوای رطوبتی محصولات در طی فرایند خشک کردن می‌باشد.

۵- مراجع

- Adak, N., Heybeli, N., & Ertekin, C. (2017). Infrared drying of strawberry. *Food Chemistry*, 219, 109.
- Chen, Y., & Martynenko, A. (2012). Computer vision for real-time measurements of shrinkage and color changes in Blueberry convective drying. *Drying technology*, 31, 1114.
- Karamian, M., & Kiamanesh, P. (2014). *Introducing medicinal plants of coriander (Coriandrum sativum L) and dill (Anethum graveolens L) from Umbelliferae family*, 2th national conference on medicinal plants and sustainable agriculture, 23 August, Iran, Hamedan. (Persian)
- Madhava Naidu, M., Vedashree, M., Satapathy, P., Khanum, H., Ramasamy, R., & Hebbar, H.U. (2016). Effect of drying methods on the quality characteristics of dill (*Anethum graveolens*) greens. *Food Chemistry*, 56, 192.
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z.A. (2002). New model for single-layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503.
- Mirzaee Ghaleh, E., Nejat Lorestani, A., & Germi, H. (2015). *Modelling of thin layer drying kinetics of dill*, international conference on applied research in agriculture, June, Tehran, Iran. (Persian)
- Roostapoor, A., Mafton Azad, N., & Khalo Ahmadi, A. (2012). *Using image processing technique in the study of potato shrinkage during drying with parallel air flow dryer*, 19-20 February, 1th MEDC, Mahshahr, Iran. (Persian)
- Sampson, D. J., Chang, Y. K., Rupasinghe, H. P. V., & Zaman, Q. U.Z. (2014). A dual-view computer-vision system for volume and image texture analysis in multiple apple slices drying. *Food Engineering*, 127, 49.
- Tavakolipoor, H., Mohammadian, A., Shafafi Zanozian, M., & Pedramnia, A. (2011). *Mathematical modelling of thin layer of basil by two sunny and solar methods*. National conference on food industry, ghochan, Iran. (Persian)
- Wankhade, P. K., Sapkal, R. S., & Sapkal, V. S. (2013). Drying characteristics of okra slices on drying in hot air dryer. *Procedia Engineering*, 51, 371.
- Wannapakhe, S., Chaiwong, T., Dandee, M., & Prompakdee, S. (2012). Hot air dryer with closed-loop oscillating heat pipe with check valves for reducing energy in drying process. *Procedia Engineering*, 32, 77.