



Original Article

Study of the Effects of Hot Air Drying and Ultrasound Pretreatment on Raisins Quality in the Packaging Plants

Hajar Chalak¹, Khosro Mohammadi-Ghermzogli^{1*}, Mostafa Khojastehnazhand², Hossein Ghaffari-Setoubadi¹

1- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2-Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

Acidity,
Drying,
Moisture content,
Pretreatment,
Raisins

Received:

October 25, 2024

Revised:

February 3, 2025

Accepted:

February 18, 2025

* Corresponding Author:

mohammadi.khosrow@tabrizu.ac.ir

Introduction

Raisins are high-value-added products derived from grape processing. In 2022, Iran ranked fifth among major raisin-producing countries, with exporting over 63,000 tons. In Iran, raisins are primarily prepared using traditional methods, such as sun drying, shade drying, and lye solution dipping. Typically, these traditional methods (drying in open or sun-exposed areas) result in prolonged processing times, causing the raisins to darken. Sun-dried raisins may undergo additional processes such as re-washing and hot air drying before packaging and storage. Higher drying temperatures in re-washed raisins can lead to non-enzymatic browning. Therefore, it is essential to prevent browning reactions that cause color changes and undesirable flavors in raisins. Commercially, sulfur dioxide gas or sulfite solutions were previously used as pretreatment to prevent non-enzymatic browning during secondary drying. However, due to health concerns, the use of sulfites has been restricted. Consequently, newer methods, including alternative pretreatments and hybrid drying systems, have been proposed to enhance the quality of dried products. To date, the application of ultrasound pretreatment in the secondary drying of re-washed raisins has not been studied. Therefore, this research aims to explore methods for maintaining product quality during the current secondary drying process in the packaging plants by examining the effects of the different hot air temperatures and ultrasound pretreatment

Materials and Methods

Samples (golden or green raisins) were obtained from a raisin processing plant in Bonab County and transported to the Laboratory of Biophysical and Mechanical Properties of Agricultural Products at the Faculty of Agriculture, University of Tabriz. The samples were stored at room temperature. Upon arrival at the laboratory, the samples were cleaned (removing all wood and waste materials) and then placed in appropriate packaging to prevent spoilage and moisture loss. For each experiment repeat, 120 grams of sample were used. Drying tests were conducted using a convective dryer at three different temperatures (45, 55, and 65 °C) with a constant airflow rate of 1.5 m/s. The weight of the samples was measured every 10 minutes using a digital scale with an accuracy of ± 0.01 grams. Measurements continued until the samples reached a moisture content of 12 to 13 percent. The quality characteristics of raisins (Color difference index, browning index, shrinkage, acidity, and rehydration ratio) were measured during experiments. In this research, experiments were conducted using a factorial design. The obtained data were analyzed with SPSS software, and the means were compared at a 5% significance level using Duncan's test.

Results and Discussion

How to cite:

Chalak, H., Mohammadi-Ghermzogli, KH., Khojastehnazhand, M. and Ghaffari-Setoubadi, H. (2025). *Study of the Effects of Hot Air Drying and Ultrasound Pretreatment on Raisins Quality in the Packaging Plants*. Journal of Agricultural Mechanization, 10 (1):53-66. <https://doi.org/10.22034/jam.2025.64152.1297>.



The results from data analysis indicated that hot air treatment, both with and without ultrasound pretreatment, caused significant changes in the color index of raisins. Hot air at 65 °C without pretreatment and at 55 °C with ultrasound pretreatment were identified as effective methods for color preservation. The rehydration ratio depended on the duration the raisins were submerged in water. Given the short overall submersion time, the results were not significant. The average acidity levels across all treatments were acceptable. The lowest shrinkage rate was observed at 55 °C with ultrasound pretreatment. The best browning index results were obtained first with hot air at 45 °C without pretreatment, followed by 55 °C with ultrasound pretreatment. Using ultrasound pretreatment has enhanced the drying rate and reduced the drying time of the samples compared to those without pretreatment. Ultrasound waves induce cellular disruption and increase cell permeability, which boosts heat penetration and moisture removal. This process ultimately reduces the drying time of the product

Conclusion

The objective of this study was to propose methods to enhance the quality of raisins during secondary hot air drying, which is the prevalent system used in most packaging and processing facilities. This research examined the effects of hot air temperatures at 40, 50, and 60 °C, with and without ultrasound pretreatment, on the quality indices of raisins. After considering all evaluated indices, hot air at 55 °C with ultrasound pretreatment was identified as the most suitable method. As a result of this study, it can be said that the ultrasound application may be used successfully for secondary drying of re-washed raisins.



مطالعه اثر دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت روی کیفیت کشمش در کارخانه‌های بسته‌بندی

هاجر چالاک^۱، خسرو محمدی قرمزگلی^{۱*}، مصطفی خجسته نژاد^۲ و حسین غفاری ستوبادی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰

۱- گروه مهندسی بیوسیستم - دانشکده کشاورزی - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران

۲- گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بناب، بناب، ایران

E-mail: mohammadi.khosrow@tabrizu.ac.ir

* نویسنده مسئول

چکیده

بر اساس مطالعات میدانی صورت گرفته، یکی از مراحل فرآوری کشمش در کارخانه‌های بسته‌بندی، شست‌وشوی دوباره آن جهت از بین بردن مواد شیمیایی استفاده شده در خشک کردن اولیه، گرد و خاک و مواد زاید و همچنین بهبود کیفیت محصول می‌باشد که متعاقب آن، خشک کردن مجدد (ثانویه) کشمش ضروری است. یکی از معضلات کارخانه‌های بسته‌بندی کشمش، غیریکنواختی در رطوبت و کیفیت پس از خشک کردن ثانویه کشمش است. امروزه در اکثر کارخانه‌های فراوری از سامانه هوای داغ برای خشک کردن ثانویه استفاده می‌شود. با توجه به معیاری که سامانه مذکور دارد بهینه‌سازی سامانه هوای داغ از اهمیت بالایی برخوردار است. از آنجایی که استفاده از پیش تیمارها اثر مثبتی بر خواص فیزیکی، شیمیایی و تغذیه‌ای دارد، خشک کردن با هوای داغ در سه سطح ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان هوای ثابت ۱/۵ m/s، با و بدون پیش تیمار فراصوت روی خواص کیفی کشمش (شاخص رنگ، اسیدیته، جذب مجدد آب، چروکیدگی و شاخص قهوه‌ای شدن) مورد مطالعه قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده، اثرات اصلی و متقابل پیش تیمار فراصوت و دمای هوای داغ روی شاخص‌های اسیدیته، چروکیدگی و قهوه‌ای شدن در سطح احتمال یک درصد و روی شاخص رنگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر فاکتورهای مورد مطالعه در شاخص جذب مجدد آب، معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). در حالت کلی، با در نظر گرفتن کمترین تغییرات شاخص‌های رنگی، میزان چروکیدگی و قهوه‌ای شدن و لحاظ مقدار قابل قبول اسیدیته، خشک کردن با هوای داغ ۵۵ درجه سانتی‌گراد با پیش تیمار فراصوت به عنوان بهترین حالت پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: اسیدیته، پیش تیمار، خشک کردن، کشمش، محتوای رطوبتی.

۱- مقدمه

یکی از قدیمی‌ترین روش‌ها برای حفظ محصولات کشاورزی و غذایی، خشک کردن است. به دلیل کاهش حجم و وزن محصولات خشک شده، نگهداری و حمل و نقل آن‌ها آسان است (Aghilinategh et al., 2015). کشمش، یکی از محصولات با ارزش افزوده بالا می‌باشد که از فرآوری انگور بدست می‌آید (Patidar et al., 2021). در بین کشورهای عمده تولیدکننده کشمش در سال ۲۰۲۲، ایران با صادرات بیش از ۶۳ هزار تن در رتبه پنجم صادرات قرار دارد (Anonymous, 2022). در ایران کشمش عمدتاً به صورت سنتی تهیه می‌شود از روش‌های مهم تهیه کشمش می‌توان به آفتاب خشک، سایه خشک و تیزآبی اشاره کرد. یکی از عمده‌ترین مشکلات کشمش تولیدی در ایران، پایین بودن ارزش اقتصادی آن به دلیل عدم تطبیق با استانداردهای جهانی می‌باشد که علت این امر ناشی از روش‌های نامناسب خشک کردن و فرآوری آن، بسته‌بندی، انبارداری و حمل و نقل نامناسب و بازاریابی ضعیف جهانی است که این عوامل باعث کاهش کیفیت محصول تولیدی و بازارپسندی محصول می‌شود (Khodabakhsh, 2006)

به طور کلی در تهیه کشمش به روش‌های سنتی (خشک کردن در ورزن یا بارگاه) به دلیل طولانی بودن زمان فرآیند، رنگ کشمش تیره می‌شود (Gholami et al., 2012). کشمش خشک شده در معرض آفتاب، ممکن است تحت عملیات دیگری مانند شستشوی مجدد و خشک کردن با هوای داغ قبل از بسته‌بندی و انبارداری قرار گیرد. خشک کردن با دمای هوای بالاتر در کشمش شسته شده، می‌تواند باعث قهوه‌ای شدن غیرآزیمی کشمش شود (Karathanos et al., 1995). بنابراین لازم است از واکنش قهوه‌ای شدن که موجب تغییر رنگ کشمش و هم‌چنین ایجاد طعم نامطلوب در کشمش می‌شود جلوگیری کرد (Doymaz & Pala, 2002). در حالت تجاری در گذشته، قبل از فرآیند خشک کردن ثانویه از گاز دی‌اکسید سولفور یا محلول‌های سولفیت به عنوان پیش تیمار برای جلوگیری از قهوه‌ای شدن غیرآزیمی کشمش شسته شده استفاده می‌کردند ولی امروزه به دلیل ملاحظات سلامت، استفاده از سولفیت‌ها محدود شده‌اند (Karathanos et al., 1995). به همین دلیل برای افزایش کیفیت محصول خشک شده روش‌های جدیدتری مانند استفاده از سایر پیش تیمارها به همراه سامانه هوای داغ و... برای خشک کردن مطرح شده‌اند (Gholami et al., 2012; Hamedani et al., 2014).

اثرات پیش تیمارهای گوناگون به همراه سامانه‌های مختلف خشک کردن مورد بررسی محققان قرار گرفت: Ayoubi et al. (2016) در پژوهشی تاثیر سه سطح دمایی (۶۰، ۷۰، ۸۰ درجه سانتی‌گراد) و دو سطح جریان هوا (۱/۵ و ۲/۵ متر بر ثانیه) و آماده‌سازی در چهار سطح (بدون پیش تیمار آماده‌سازی، آماده‌سازی با آب داغ، روغن زیتون، کربنات پتاسیم و روغن سبزه) بر خواص کیفی کشمش (سفتی بافت، میزان چروکیدگی و شاخص قهوه‌ای شدن) و آهنگ خشک شدن آن را بررسی کردند. کم‌ترین شاخص قهوه‌ای شدن و مطلوب‌ترین مقادیر سفتی بافت (۰/۷۳ نیوتن) و چروکیدگی (۰/۸۱/۰۴) به کشمش خشک شده در دمای ۶۰°C تعلق گرفت. در بین شرایط مورد مطالعه پیش تیمار کربنات پتاسیم و روغن سبزه، سرعت جریان هوای ۲/۵ متر بر ثانیه و دمای ۶۰°C شرایط مطلوب‌تری بوده است.

در پژوهش دیگری پارامترهای موثر بر خواص کیفی کشمش حاصل از انگور بی‌دانه قرمز مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش اثرات سرعت جریان هوا در سه سطح (۱، ۲، ۳ متر بر ثانیه) و چهار سطح دمایی (۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ درجه سانتی‌گراد) و روش‌های آماده‌سازی (بدون آماده‌سازی، آماده‌سازی با هیدروکسید سدیم ۰/۵٪، کربنات پتاسیم ۵٪ و روغن زیتون ۰/۴٪، آب داغ) بررسی شدند. نتایج نشان داد کشمش‌های به دست آمده با روش‌های آماده‌سازی با آب داغ، کربنات پتاسیم ۵٪ و روغن زیتون ۰/۴٪، هیدروکسید سدیم ۵٪ در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد کیفیت بهتری دارند (Gholami et al., 2012). طی تحقیقی (Dong et al., 2013) به مطالعه سینتیک تغییرات رنگ در انگور بی‌دانه تامپسون در طول فرایند خشک کردن پرداختند. هدف از این مطالعه بررسی ویژگی تغییر رنگ انگور بی‌دانه تامپسون در حین خشک کردن در دماهای ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود. برای اندازه‌گیری شاخص رنگ سطحی انگور از سیستم CIE LAB استفاده شد و نتایج نشان داده که قهوه‌ای شدن در دوره میانی خشک کردن شروع شد؛ جایی که پارامترهای L و b کاهش یافتند و پارامتر a در طول خشک کردن افزایش یافت. تغییرات رنگ در طول فرایند قهوه‌ای شدن به عنوان یک مدل توصیف شد که در آن انرژی فعال سازی برای پارامترهای L و b و a و کل تفاوت رنگ به ترتیب ۴۰/۱۹ و ۲۴/۲۹ و ۳۵/۴۳ و ۳۹/۴۶ کیلو ژول بر مول بود. اثر پیش تیمار فراصوت ۵۳ کیلوهرتز به مدت ۳۰۰ ثانیه و دمای هوا (۴۰ الی ۶۰ درجه سانتی‌گراد) روی حفظ ارزش تغذیه‌ای، خواص

فعلی خشک کردن ثانویه در کارخانه با بررسی اثر دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه نمونه

نمونه‌ها (کشمش طلایی یا سبزه) از کارخانه فرآوری کشمش در شهرستان بناب تهیه و به آزمایشگاه خواص بیوفیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انتقال یافته و در دمای محیط نگهداری شدند. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه پاکسازی (تمامی چوب‌ها و ضایعات نمونه‌ها جدا شدند) و سپس در بسته‌بندی مناسب جهت جلوگیری از فساد و از دست دادن رطوبت قرار داده شدند. برای هر تکرار آزمایش، ۱۲۰ گرم نمونه مورد استفاده قرار گرفت و سپس برای انجام آزمایش‌ها، نمونه‌های مورد نظر روی سینی قرار داده شدند. آزمایش‌های خشک کردن، با استفاده از خشک کن همرفتی انجام گرفت (شکل ۱).

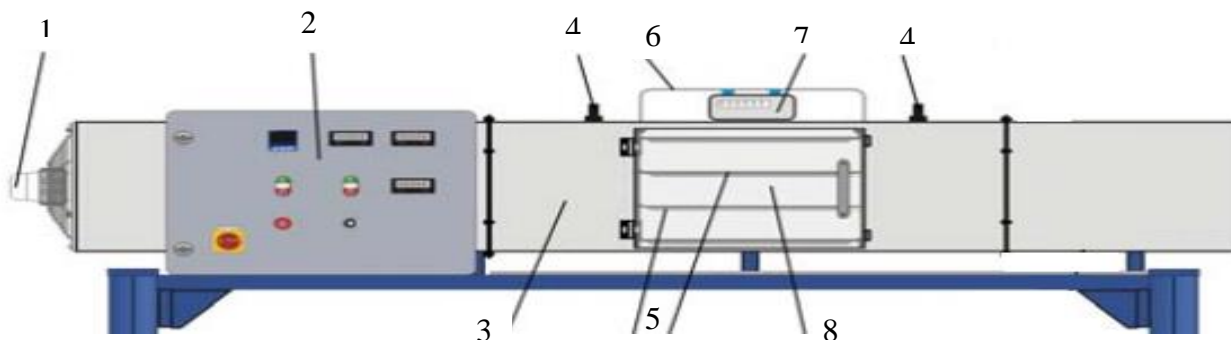
۲-۲- خشک کردن با هوای داغ با و بدون پیش تیمار فراصوت :

خشک کردن با هوای داغ در سه دمای ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت جریان هوای ثابت ۱/۵ متر بر ثانیه در سه تکرار انجام گرفت برای انجام آزمایش ابتدا خشک کن روی سرعت جریان هوا و دمای مورد نظر تنظیم گردید و پس از به تعادل رسیدن دمای خشک کن، نمونه‌ها داخل خشک کن قرار داده شدند. وزن نمونه‌ها هر ۱۰ دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ± 0.1 اندازه‌گیری گردید. وزن نمونه‌ها تا زمان رسیدن نمونه‌ها به رطوبت ۱۲ الی ۱۳ درصد اندازه‌گیری و در فایل اکسل ثبت گردید (Candemir et al., 2023; Doymaz & Pala, 2002)

به منظور اعمال پیش تیمار فراصوت، ابتدا نمونه‌ها در داخل دستگاه فراصوت (Elma sonic S 60H) موجود در آزمایشگاه تغذیه و هضم پیشرفت دام گروه علوم دامی دانشگاه تبریز و در معرض امواج فراصوت

فیزیکوشیمیایی و ظرفیت باز جذب کشمش حاصل از انگور رقم سلطانی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که پیش تیمار فراصوت بطور موفقیت‌آمیز می‌تواند در طی فرآیند خشک کردن انگور مورد استفاده قرار گرفته و در حفظ درجات بالاتر ارزش تغذیه‌ای محصول نقش مهمی ایفا نماید (Candemir et al., 2023). در پژوهشی خواص ترمودینامیکی خشک کردن لیموترش تحت تاثیر پیش تیمار فراصوت به مدت ۱۰، ۲۰ و ۴۰ دقیقه در یک خشک کن هوای داغ در سه سطح دمایی ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش دما و زمان اعمال توان فراصوت، زمان خشک کردن کاهش پیدا کرد (Kaveh et al., 2019). در مطالعه دیگری تاثیر پیش تیمار امواج فراصوت برای خشک کردن سیب بررسی کردند در این تحقیق نمونه‌ها به مدت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و با فرکانس ۳۵ کیلوهرتز در حمام فراصوت قرار داده شدند. نتایج نشان داد اعمال پیش تیمار فراصوت باعث کاهش ۳۱ درصدی زمان خشک شدن گردید (Nowacka et al., 2012).

امروزه در کارخانه‌های بسته‌بندی کشمش، شست‌وشوی مجدد برای از بین بردن مواد شیمیایی استفاده شده در خشک کردن اولیه، گرد و خاک و مواد زاید انجام گرفته و متعاقباً از سامانه هوای داغ برای خشک کردن ثانویه استفاده می‌شود. این سامانه دارای معایبی همچون طولانی بودن زمان خشک شدن، مصرف انرژی و هزینه بالا و همچنین غیر یکنواختی در رطوبت و کیفیت کشمش پس از خشک کردن ثانویه است. برای حل این مشکلات، دو راهبرد ارایه راهکار با حفظ سامانه موجود و همچنین بررسی سامانه جایگزین (خشک کردن ثانویه با کمک مادون قرمز) در پیش گرفته شد که اثر شدت تابش مادون قرمز و استفاده از پیش تیمار فراصوت توسط Chalak et al. (2024) مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در بالا اشاره شد استفاده از پیش تیمار می‌تواند در جلوگیری از قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی و همچنین حفظ کیفیت موثر باشد و تاکنون استفاده از پیش تیمار فراصوت در خشک کردن ثانویه کشمش شسته‌شده، مطالعه نشده است. بنابراین هدف این پژوهش مطالعه روش‌های حفظ کیفیت محصول در روش



شکل ۱- خشک کن همرفتی (۱: دمنده (۲) واحد کنترل (۳) کانال خشک کنی (۴) سنسورهای اندازه گیری دما و رطوبت (۵) سینی خشک کنی (۶) قلاب نگهدارنده سینی (۷) ترازوی دیجیتالی (۸) درب محفظه خشک کنی

Fig. 1. convective dryer: 1) Fan, 2) Control Unit, 3) Drying Channel, 4) Sensors for humidity and temperature, 5) Drying plates, 6) bracket for drying plates, 7) Digital balance, 8) Drying chamber door

اندیس‌های 0 و 1 به ترتیب بیانگر مشخصه‌های رنگی کشمش قبل از خشک شدن و کشمش خشک شده می‌باشد

۲-۴ محتوای رطوبت اولیه:

محتوای رطوبتی نمونه‌ها (M_0) طبق استاندارد AOAC بررسی شد بدین صورت که قبل از خشک کردن ۱۰ گرم از نمونه اولیه (M_1) در آن با دمای 80°C به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد سپس نمونه‌ها را از آن خارج کرده و دوباره وزن کرده (M_2) و از رابطه ۲، محتوای رطوبتی نمونه‌ها برپایه وزن تر محاسبه گردید (Anonymous, 2015):

$$M_0 = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (2)$$

۲-۵ طرح آزمایشی

در این تحقیق آزمایش‌ها در قالب طرح فاکتوریل انجام شدند و تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ از طریق آزمون دانکن و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گردید.

۲-۳ نتایج و بحث

با توجه به اهمیت تولید کشمش مرغوب، بهبود روش‌های فرآوری کشمش حائز اهمیت می‌باشد بنابراین در این بخش نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده، ارائه می‌شود.

۳-۱- سنتیک خشک شدن

شکل ۲ روند خشک شدن کشمش را برحسب تغییرات محتوای رطوبت در مقابل زمان خشک شدن (دقیقه) در حالت با و بدون پیش تیمار فراصوت نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود منحنی‌های خشک شدن به صورت نزولی می‌باشد و به دلیل بالا بودن رطوبت اولیه محصول در ابتدای خشک شدن، سرعت خروج رطوبت از سطح محصول بیشتر است و منحنی شیب تندی دارد ولی در ادامه خشک شدن، خروج رطوبت آهسته‌تر می‌شود که علت این روند را می‌توان این چنین بیان کرد که با افزایش دما، سطح خارجی کشمش‌ها خشک شده و باعث ایجاد چروکیدگی در سطح و هم‌چنین بسته شدن منافذ سطحی می‌شود که در نتیجه رطوبت درون ماده نمی‌تواند به سرعت خارج شود. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که در حالت کلی با افزایش دمای خشک کردن، سرعت خشک شدن نمونه‌ها افزایش یافته است که با نتایج (Gholami (2007) و Candemir et al. (2023) مطابقت دارد.

با توجه به جدول ۱ اثر دمای هوای ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد، استفاده از پیش تیمار فراصوت و اثر متقابل آن‌ها روی زمان مورد نیاز برای رسیدن به رطوبت حدود ۱۲ درصد در سطح احتمال

۳۷KHz با توان ۱۵۰ وات به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند (Laborde et al., 2018). سپس آب سطحی را خشک کرده و ۱۲۰ گرم محصول روی سینی خشک‌کن قرار گرفتند.

۲-۳ تعیین خواص کیفی

خواص کیفی کشمش (شاخص قهوه‌ای شدن، میزان چروکیدگی، اسیدیته، درصد جذب مجدد آب) با استفاده‌های روش‌های ذکر شده در مطالعه (Chalak et al. (2024) در سه تکرار اندازه‌گیری و ثبت گردید؛ میزان شاخص قهوه‌ای شدن رنگدانه‌های قهوه‌ای نمونه را با استفاده از محلول آبی اسید استیک - فرمالدئید ۲٪-۱٪ استخراج کرده و میزان جذب محلول حاصل در ۴۲۰ و ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان چروکیدگی نمونه را در حجم معینی از تولوئن درون استوانه مدرج ریخته و حجم جابه‌جا شده اندازه‌گیری شد. بنابراین نسبت حجم کشمش خشک شده به حجم اولیه کشمش برابر میزان چروکیدگی می‌باشد. اسیدیته با تیتراسیون نمونه‌ها با محلول سود ۰/۱ مولار (۱٪) و معرف فنل فتالئین به دست می‌آید میزان افزایش وزن نمونه پس از ریختن در آب بیانگر میزان بازآب‌پوشی (درصد جذب مجدد آب) است.

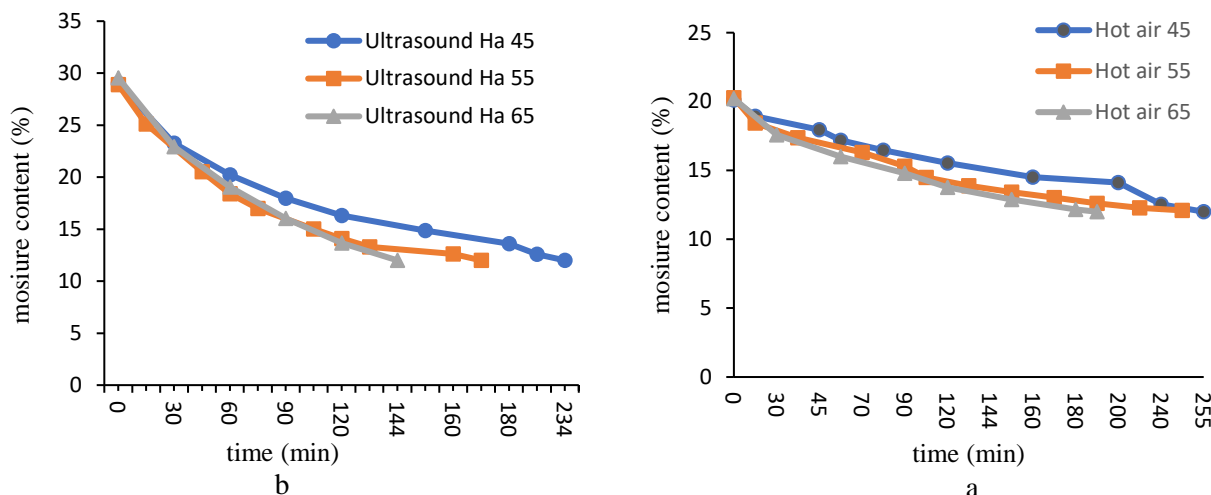
۲-۳-۱ تعیین شاخص‌های رنگی:

برای تعیین شاخص‌های رنگی در هر تکرار از آزمایش‌ها قبل و بعد از خشک کردن، نمونه‌ها در داخل محفظه هانتربل قرار داده و تصویر نمونه‌ها گرفته شد (Doymaz & Pala, 2002). در واقع این وسیله، جعبه‌ای است که در سطح بالایی آن دریچه‌ای با اندازه مناسب جهت قرارگیری دوربین تعبیه شده و تجهیزات نورپردازی نیز به منظور روشن کردن سطح جسم در داخل آن قرار گرفته است. در مطالعه حاضر از ترکیب نور لامپ‌های فلورسنت سفید و زرد استفاده شد. برای تهیه تصاویر از دوربین دیجیتال مدل Sony Cyber-shot DSC-W100 استفاده شد که مجهز به حسگر CCD با قابلیت تفکیک ۸/۱ مگاپیکسل بود. از هر نمونه دو تصویر در دو امتداد عمود برهم تهیه، در حافظه دوربین ذخیره و به رایانه منتقل شد. با استفاده از این روش، اغتشاش حاصل از کارت گیرنده تصویر از دوربین به رایانه حذف شد. شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* به ترتیب میزان روشنایی، قرمزی و سبزی، و زردی و آبی نمونه را نشان می‌دهند. تفاوت رنگ کل نمونه‌های خشک شده با نمونه‌های خشک نشده در طی فرآیند خشک کردن به عنوان معیاری برای تغییرات رنگ کلی (ΔE) از رابطه زیر و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB به دست آمدند (Aguilera et al., 1987; Dadali et al., 2007; Setareh et al., 2023):

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_i)^2 + (a_0 - a_i)^2 + (b_0 - b_i)^2} \quad (1)$$

(جدول ۲). امواج فراصوت باعث تخریب سلولی و افزایش نفوذ سلولی محصول شده و ضمن افزایش نفوذ گرما و خروج رطوبت، باعث کاهش زمان خشک شدن محصول می گردد که با نتایج مطالعه Maskooki et al. (2007) برای انگور و Candemir et al. (2023) برای کشمش، همخوانی دارد. همچنین Chalak et al. (2024) نتیجه گرفتند که اعمال پیش تیمار فراصوت و افزایش توان لامپ مادون قرمز در خشک کردن کشمش، افزایش سرعت و کاهش زمان خشک شدن را در پی داشت.

یک درصد معنی دار بود. مقایسه شکل ۲- a و b-۲ و نتایج جدول ۲ نشان می دهند که استفاده از پیش تیمار فراصوت باعث افزایش سرعت خشک شدن و همچنین کاهش معنی دار زمان خشک شدن نمونه ها نسبت به حالت بدون پیش تیمار (به استثنای دمای ۴۵ درجه) شده است. مقادیر میانگین زمان خشک شدن کشمش در سه تیمار هوای داغ ۴۵°C بدون پیش تیمار، ۵۵ درجه سانتی گراد بدون پیش تیمار و هوای داغ ۴۵°C با پیش تیمار فراصوت، اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد نداشتند ولی در بقیه تیمارها اختلاف معنی دار مشاهده شد



شکل ۲- منحنی خشک کردن هوای داغ کشمش در توان های مختلف: (a) بدون پیش تیمار فراصوت (b) با پیش تیمار فراصوت

Fig 2. Hot air Drying of raisin at different power: a) without ultrasound pretreatment b) with ultrasound pretreatment.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت بر زمان مورد نیاز برای خشک شدن

Table 1. ANOVA results for effects of hot air drying and ultrasound pretreatment on the drying time

F	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی DF	زمان خشک شدن Drying time
73.409**	8174.886	16349.771	2	دمای هوای داغ Hot air Temperature
77.728**	8655.771	8655.771	1	پیش تیمار فراصوت Ultrasound Pretreatment
26.699**	2973.257	5946.514	2	دمای هوای داغ*پیش تیمار فراصوت Ultrasound*Hot-air
	111.360	1336.323	12	خطا Error
		798197.768	18	کل Total

** در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است (**: It is significant at the 1% probability level)

جدول ۲- مقایسه میانگین زمان مورد نیاز برای خشک شدن تحت تاثیر دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت

Table 2. Compare mean results for the drying time under influence of different drying and ultrasound treatment

دمای هوای ۶۵	دمای هوای ۵۵	دمای هوای ۴۵	دمای هوای ۶۵ بدون پیش تیمار	دمای هوای ۵۵ بدون پیش تیمار	دمای هوای ۴۵ بدون پیش تیمار	فاکتور Factor
Hot-air 65 with ultrasound pretreatment	Hot-air 55 with ultrasound pretreatment	Hot-air 45 with ultrasound pretreatment	Hot-air 65 without pretreatment	Hot-air 55 without pretreatment	Hot-air 45 without pretreatment	
144.4 ^d	165.87 ^c	242.76 ^a	191.59 ^b	249.16 ^a	255.2 ^a	زمان (دقیقه) Time (min)

مقادیر میانگین با حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

که در ابتدای فرایند خشک کردن دارای محتوای رطوبتی بالایی هستند (محصولات تر)، اعمال پیش تیمار فراصوت به دلیل کاهش قابل توجه در مدت زمان خشک کردن، عمدتاً منجر به تاثیر مثبت در ویژگی‌های رنگی محصول می‌شود (Kutlu et al., 2022)، ولی در مطالعه حاضر با توجه به اینکه کشمش، خود حاصل خشک کردن انگور است بنابراین دارای محتوای رطوبت پایین (در حدود ۲۰ درصد) بوده و در حالت کلی، اعمال پیش تیمار فراصوت باعث تغییرات مورد انتظار نشده است. محققان در سال ۲۰۲۳ با بررسی اثر پیش تیمار فراصوت و دمای هوای داغ روی خشک کردن انگور، نتیجه گرفتند که اعمال پیش تیمار فراصوت به مدت ۳۰۰ ثانیه در هر دو دمای ۵۵ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد منجر به افزایش شاخص تغییرات رنگ نسبت به حالت بدون پیش تیمار شد (Candemir et al., 2023).

۲-۳ تاثیر دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت بر تغییرات رنگ کلی کشمش

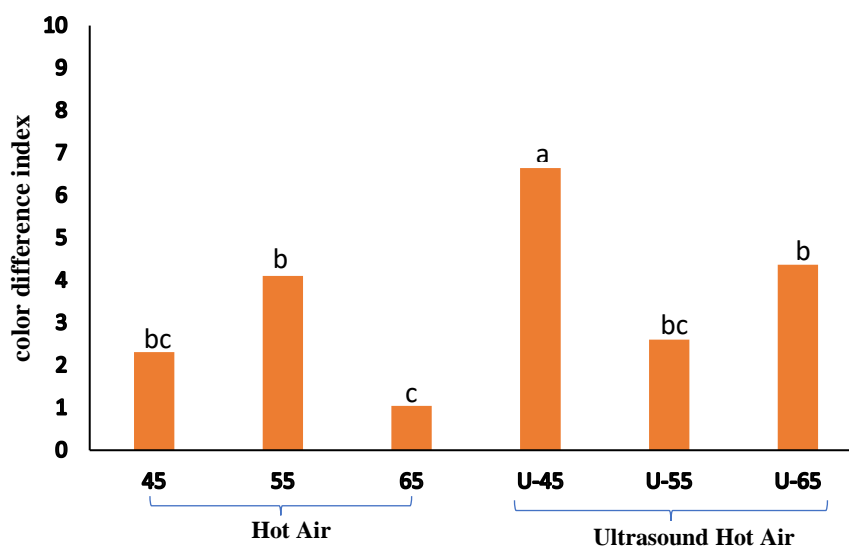
با توجه به جدول ۳ اثر دماهای هوای مورد مطالعه، استفاده از پیش تیمار فراصوت و اثر متقابل آن‌ها روی شاخص تغییرات رنگ در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. با توجه به شکل ۳، بین میانگین تغییرات رنگ مربوط به سه تیمار هوای داغ ۴۵ و ۶۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد بدون پیش تیمار و هوای داغ ۵۵ درجه سانتی‌گراد با پیش تیمار اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد مشاهده نشد. بیشترین تغییرات مربوط به تیمار هوای داغ ۴۵°C با پیش تیمار بدست آمد. در حالت کلی، اعمال پیش تیمار باعث افزایش تغییرات رنگ بغیر از دمای ۵۵ درجه گردید. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه بیان کرد؛ در محصولاتی

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت بر شاخص تغییرات رنگ

Table 3. ANOVA results for effects of hot air drying and ultrasound pretreatment on the color difference index

F	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی DF	شاخص تغییرات رنگ Color Difference Index
4.081*	4.793	9.586	2	دمای هوای داغ Hot air Temperature
16.183*	19.006	19.006	1	پیش تیمار فراصوت Ultrasound Pretreatment
12.397*	14.560	29.119	2	دمای هوای داغ*پیش تیمار فراصوت Ultrasound*Hot-air
	1.174	14.093	12	خطا Error
		294.061	18	کل Total

*: It is significant at the 5% probability level (در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار است)



شکل ۳- مقایسه میانگین تغییرات شاخص رنگ کشمش تحت تاثیر تیمارهای مختلف خشک کردن و فراصوت

Fig 3. Compare mean results for the color difference index under influence of different drying and ultrasound treatments

هوای داغ °C ۵۵ با پیش تیمار و کمترین مقدار اسیدیته مربوط به تیمار هوای داغ °C ۵۵ بدون پیش تیمار می باشد. با توجه به شکل ۴ در دماهای ۴۵ و ۶۵ درجه سانتی گراد اعمال پیش تیمار التراسوند موجب تغییرات معنی دار در میزان اسیدیته در مقایسه با حالت بدون پیش تیمار نشد. همچنین در حالت بدون پیش تیمار، بین خشک کردن با هوای داغ ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی گراد اختلاف معنی دار وجود نداشت. در کارخانه فرآوری کشمش حداکثر میزان اسیدیته قابل پذیرش، به میزان ۱/۳ در نظر گرفته می شود (Gholami, 2007; Gholami et al., 2012) بنابراین مقادیر میانگین اسیدیته در تمامی تیمارها در حد قابل قبول می باشند.

۳-۳ تاثیر دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت بر میزان اسیدیته کشمش

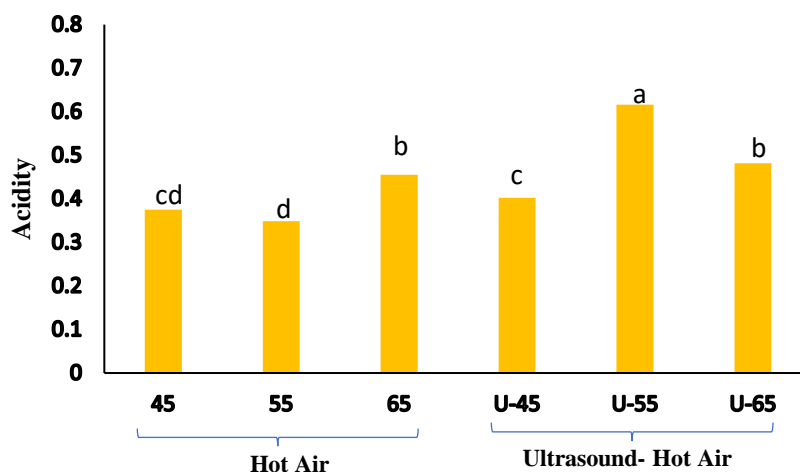
روش آماده سازی و نوع پیش تیمار بر میزان اسیدیته تاثیرگذار است (Gholami et al., 2012). با توجه به جدول ۴ اثر دمای هواغ و پیش تیمار فراصوت و همچنین اثر متقابل آن ها روی اسیدیته کشمش در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. شکل ۴ مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف روی اسیدیته را نشان می دهد. با توجه به شکل ۴، بیشترین مقدار اسیدیته مربوط به تیمار

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت بر میزان اسیدیته کشمش

Table 4. ANOVA results for effect of hot air drying and ultrasound pretreatment on the Acidity of raisins

F	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی DF	اسیدیته Acidity
24.560**	0.015	0.031	2	دمای هوای داغ Hot air Temperature
82.319**	0.052	0.052	1	پیش تیمار فراصوت Ultrasound Pretreatment
46.273**	0.029	0.058	2	دمای هوای داغ*پیش تیمار فراصوت Ultrasound*Hot-air
	0.001	0.008	12	خطا Error
		3.740	18	کل Total

**در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است (**: It is significant at the 1% probability level)



شکل ۴- مقایسه میانگین اسیدیته کشمش تحت تاثیر تیمارهای مختلف خشک کردن و فراصوت

Fig 4. Compare mean results for raisin acidity under influence of different drying and ultrasound treatments

۳-۴ تاثیر دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت بر میزان جذب مجدد آب

در این مطالعه، تیمارهای خشک کردن و پیش تیمار فراصوت تاثیر معنی داری روی میزان جذب مجدد آب کشمش نداشت (جدول ۵). میزان جذب آب به میزان تخریب سلولی محصول بستگی دارد. کوتاه شدن زمان خشک کردن و انتشار سریع تر بخار آب در ماده می تواند حفظ ساختار متخلخل محصول را تسهیل نموده و در نتیجه توانایی باز جذب آب در ماده را افزایش دهد (Dajbych et al., 2023). از طرفی جذب مجدد آب به مدت زمان

قرار دادن محصول در داخل آب نیز بستگی دارد. در حین اندازه گیری میزان جذب مجدد آب، با فاصله های زمانی ۱۵ دقیقه، نمونه را از آب خارج کرده و آب سطحی آن با دستمال خشک شده و دوباره وزن شده است. این عمل تا زمانی که دو توزین متوالی اختلافی کمتر از ± 0.1 داشته باشند ادامه یافت. در نتیجه با توجه به این که در این مطالعه، رسیدن به حالت اختلاف کمتر از یک درصد دو توزین متوالی، سریعتر اتفاق افتاده و بنابراین زمان کلی ماندگاری نمونه ها در آب کمتر بوده است (Seremet et al., 2016). فلذا نتایج معنی داری مشاهده نشد.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت بر میزان جذب مجدد آب کشمش
Table 5. ANOVA results for effect of hot air drying and ultrasound pretreatment on the raisin rehydration

F	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی DF	جذب مجدد Rehydration
.435 ^{ns}	13.189	26.377	2	دمای هوای داغ Hot air Temperature
.552 ^{ns}	16.723	16.723	1	پیش تیمار فراصوت Ultrasound Pretreatment
.470 ^{ns}	14.236	28.472	2	دمای هوای داغ*پیش تیمار فراصوت Ultrasound*Hot-air
	30.304	363.642	12	خطا Error
		1924.521	18	کل Total

^{ns} در سطح احتمال ۵٪ معنی دار نیست. (It is not significant at the 5% probability level)

۳-۵ اثر دمای هوای داغ خشک کردن و پیش تیمار فراصوت بر شاخص قهوه ای شدن

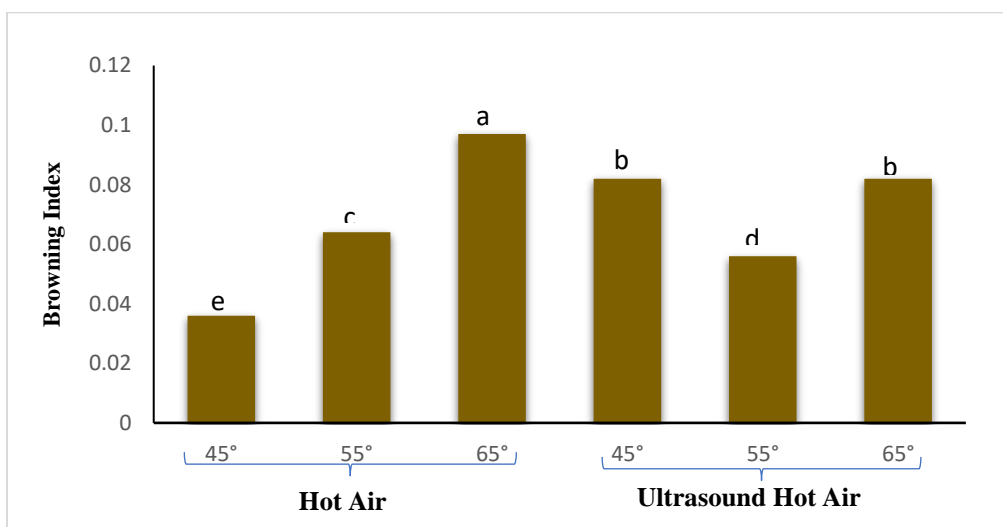
با توجه به جدول ۶، دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت اثر معنی داری روی شاخص قهوه ای شدن کشمش در سطح احتمال یک درصد داشت. قهوه ای شدن غیر آنزیمی محصولات خشک شده، ناشی از یک سری واکنش های پیچیده بین اجزای محصول می باشد که در نهایت منجر به تیره شدن نامطلوب می شود (Karathanos et al., 1995) دو نوع عمده قهوه ای شدن غیر آنزیمی شامل کاراملیزاسیون قندها در دمای بالا و رطوبت پایین و همچنین واکنش قهوه ای شدن میلارد که در نتیجه واکنش بین قندها و امینوآسید است. واکنش میلارد علاوه بر تاثیر منفی بر ویژگی های محصول، باعث کاهش ارزش تغذیه ای آن نیز می شود (Carabasa-Giribet & Ibarz-Ribas, 2000). از طرفی اسیدیته، دما و PH محصول در قهوه ای شدن غیر آنزیمی تاثیر دارند (Demirbükler

et al., 2004; Doymaz & Pala, 2002). بنابراین شاخص قهوه ای شدن کشمش به دمای خشک کردن و پیش تیمار فراصوت بستگی داشته و در دماهای بالا، افزایش می یابد. اعمال پیش تیمار فراصوت بطور قابل توجهی منجر به کاهش میزان قهوه ای شدن در هوای داغ 55°C گردید. با توجه به شکل ۵، کمترین میزان قهوه ای شدن در دمای 45°C درجه سانتی گراد بدون پیش تیمار و سپس در دمای 55°C درجه سانتی گراد با پیش تیمار فراصوت مشاهده شد. همچنین بین تیمارهای خشک کردن با پیش تیمار فراصوت در دمای 45°C و 65°C درجه سانتی گراد اختلاف معنی داری وجود نداشت ولی بین بقیه تیمارها اختلاف معنی داری مشاهده شد (شکل ۵). همچنین در حالت کلی برای کاهش قهوه ای شدن غیر آنزیمی، بایستی از دماهای بالاتر پرهیز کرد.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت بر میزان شاخص قهوه‌ای شدن کشمش
 Table 6. ANOVA results for effect of hot air drying and ultrasound pretreatment on the browning index of raisin

F	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی DF	شاخص قهوه‌ای شدن Browning Index
92.186**	.002	.003	2	دمای هوای داغ Hot air Temperature
18.000**	.000	.000	1	پیش تیمار فراصوت Ultrasound Pretreatment
88.536**	.002	.003	2	دمای هوای داغ*پیش تیمار فراصوت Ultrasound*Hot-air
	1.878E-5	.000	12	خطا Error
		.094	18	کل Total

** در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است (**: It is significant at the 1% probability level)



شکل ۵- مقایسه میانگین شاخص قهوه‌ای شدن کشمش تحت تاثیر تیمارهای مختلف خشک کردن
 Fig 5. Compare mean results for raisin browning index under influence of different drying treatments

مکانیکی دیواره سلولی باشد. از دست دادن رطوبت و افتراق اجزای محصول در حین فرآیند خشک کردن منجر به تخریب ساختار و بافت دیواره سلولی شده که همه این تغییرات در نهایت باعث کاهش حجم محصول (چروکیدگی) می‌شوند. اعمال پیش تیمار به کاهش تخریب ساختار محصول کمک شایانی نموده و می‌تواند در کاهش چروکیدگی موثر باشد (Khiari et al., 2019). از طرفی با افزایش دما، سرعت خشک شدن نیز افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش چروکیدگی محصول می‌شود (Feng & Tang, 1998; Wang & Brennan, 1995). در مطالعه Chalak et al. (2024) اعمال پیش تیمار اولتراسوند در خشک کردن مادون قرمز کشمش روی

۳-۶ تاثیر روش‌های خشک کردن بر چروکیدگی

اثر دمای هوای داغ با و بدون پیش تیمار فراصوت بر میزان چروکیدگی کشمش در سطح احتمال ۵٪ معنی دار بود (جدول ۷). اما اثر متقابل دمای هوای داغ - پیش تیمار فراصوت معنی دار نبود. بیشترین مقدار چروکیدگی مربوط به تیمار هوای داغ ۶۵ °C بدون پیش تیمار فراصوت می‌باشد با توجه به این که کمترین مقدار چروکیدگی مورد انتظار است بنابراین تیمار هوای داغ ۵۵ °C با پیش تیمار التراسوند بهترین روش برای خشک کردن کشمش از نظر چروکیدگی می‌باشد (شکل ۶). اثر دما روی چروکیدگی می‌تواند مرتبط با ویژگی‌های وابسته به دما، مانند ویژگی‌های الاستیکی و

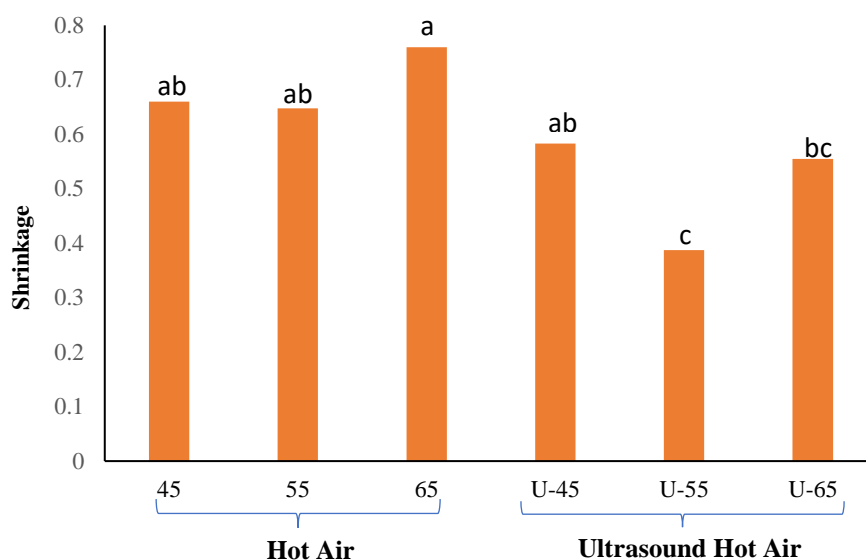
شاخص چروکیدگی محصول معنی‌دار نبود. علت متفاوت بودن نتیجه می‌تواند به نحوه خروج رطوبت در دو فرآیند خشک کردن با هوای داغ و مادون قرمز مرتبط باشد.

جدول ۷ - نتایج تجزیه واریانس اثر دمای هوای داغ و پیش تیمار فراصوت بر میزان چروکیدگی کشمش

Table 7. ANOVA results for effect of hot air drying and ultrasound pretreatment on the shrinkage of raisin

F	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی DF	چروکیدگی Shrinkage
3.257**	.032	.063	2	دمای هوای داغ Hot air Temperature
15.078**	.147	.147	1	پیش تیمار فراصوت Ultrasound Pretreatment
1.358ns	.013	.026	2	دمای هوای داغ*پیش تیمار فراصوت Ultrasound*Hot-air
	.010	.117	12	خطا Error
		6.810	18	کل Total

** : It is significant at the 1% probability level (در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است)



شکل ۶- مقایسه میانگین شاخص چروکیدگی کشمش تحت تاثیر تیمارهای مختلف خشک کردن

Fig 6. Compare mean results for raisin shrinkage index under influence of different drying treatments

تجزیه و تحلیل داده‌ها، اثر هوای داغ با و بدون اعمال پیش تیمار فراصوت باعث تغییرات معنی‌دار در شاخص رنگ کشمش شد. دمای هوای 65°C بدون پیش تیمار و هوای داغ 55°C با پیش تیمار فراصوت را می‌توان به‌عنوان روش‌های مناسب از لحاظ حفظ رنگ در نظر گرفت. جذب مجدد آب بر میزان ماندگاری محصول در آب بستگی دارد از آنجایی که زمان کلی ماندگاری محصول در آب کوتاه بود، نتایج معنادار

۴- نتیجه گیری نهایی:

هدف این مطالعه ارایه راهکار برای بهبود کیفیت کشمش در خشک کردن ثانویه با هوای داغ (سامانه فعلی مورد استفاده در اکثر کارخانه‌های بسته‌بندی و فرآوری) بود. بنابراین اثر دمای هوای داغ 40°C ، 50°C و 60°C درجه‌سنتی‌گراد با و بدون پیش تیمار فراصوت روی شاخص‌های کیفی کشمش مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده از

با هوای داغ 55°C با پیش تیمار فراصوت در پی داشت. بنابراین با در نظر گرفتن تمامی شاخص‌های مورد ارزیابی، تیمار هوای داغ 55°C با پیش تیمار فراصوت، مناسب‌ترین روش می‌باشد.

نبودند. مقادیر میانگین اسیدیته در تمامی تیمارها در حد قابل قبول می‌باشند. کمترین میزان چروکیدگی در حالت خشک کردن با دمای هوای 55°C درجه با پیش تیمار بدست آمد. بهترین نتیجه را از لحاظ شاخص قهوه‌ای شدن در درجه اول تیمار هوای داغ 45°C بدون پیش تیمار و سپس خشک کردن

منابع

- 41-51.
<https://doi.org/10.22034/jam.2024.59895.1270>
- Dadali, G., Demirhan, E., & Özbek, B. (2007). *Color Change Kinetics of Spinach Undergoing Microwave Drying*. *Drying Technology*, 25(10), 1713-1723.
<https://doi.org/10.1080/07373930701590988>
- Dajbych, O., Kabutey, A., Mizera, Č., & Herák, D. (2023). *Investigation of the Effects of Infrared and Hot Air Oven Drying Methods on Drying Behaviour and Colour Parameters of Red Delicious Apple Slices*. *Processes*, 11(10), 3027.
<https://www.mdpi.com/2227-9717/11/10/3027>
- Demirbüker, D., Simsek, S., & Yemenicioglu, A. (2004). *Potential application of hot rehydration alone or in combination with hydrogen peroxide to control pectin methylesterase activity and microbial load in cold-stored intermediate-moisture sun-dried figs*. *Journal of Food Science*, 69(3), FCT170-FCT178.
- Dong, Y. H., Zhang, R. Y., Zhang, Z. T., Yang, L. W., Xue, C. H., Wei, J., & Yang, R. Y. (2013). *Study on kinetics of color changes in thompson seedless grapes during drying process*. *Advanced Materials Research*, 726, 456-462.
- Doymaz, İ., & Pala, M. (2002). *The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes*. *Journal of Food Engineering*, 52(4), 413-417. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00133-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00133-9)
- Feng, H., & Tang, J. (1998). *Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed*. *Journal of Food Science*, 63(4), 679-683.
- Gholami, M. (2007). *Estimation of Moisture Desorption Isotherms for Thompson Seedless Raisins and Determining the Best Appropriate Model* *Journal of food science and technology (Iran)*, 4(3), 49-58.
- Gholami, M., Rashidi, M., Ranjbar, A., & Abbasi, S. (2012). *Investigating the effective parameters on quality black currant raisin*. *Food Science and Technology (Iran)*, 4(2), 57-68 (In Persian).
- Aghilinategh, N., Rafiee, S., Gholikhani, A., Hosseinpour, S., Omid, M., Mohtasebi, S. S., & Maleki, N. (2015). *A comparative study of dried apple using hot air, intermittent and continuous microwave: evaluation of kinetic parameters and physicochemical quality attributes*. *Food Science & Nutrition*, 3(6), 519-526.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.241>
- Aguilera, J., Oppermann, K., & Sanchez, F. (1987). *Kinetics of browning of sultana grapes*. *Journal of Food Science*, 52(4), 990-993.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb14258.x>
- Anonymous. (2015). *Dry fruits –Determination of the moisture content- test methods*. Iranian National Standardization Organization, ISNO 672, 1-8.
- Anonymous. (2022). *FAO Statistics*.
<https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL>.
- Ayoubi, A., Sedaghat, N., Kashaninejad, M., & Mahallati, M. N. (2016). *Investigation of the effect of drying conditions in cabinet dryer on grape drying intensity and quality characteristics of raisins*.
- Candemir, A., Çalışkan Koç, G., Dirim, S. N., & Pandiselvam, R. (2023). *Effect of ultrasound pretreatment and drying air temperature on the drying characteristics, physicochemical properties, and rehydration capacity of raisins*. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
<https://doi.org/10.1007/s13399-023-04269-8>
- Carabasa-Giribet, M., & Ibarz-Ribas, A. (2000). *Kinetics of colour development in aqueous glucose systems at high temperatures*. *Journal of Food Engineering*, 44(3), 181-189.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00027-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00027-3)
- Chalak, H., Mohammadi-Ghermezgoli, k., Khojastehnazhand, M., & Ghaffari, H. (2024). *Effects of infrared radiation intensity and ultrasound pretreatment on the appearance quality of raisins in the secondary drying stage in the packaging plants*. *Agricultural Mechanization*, 8(4),

- Maskooki, A., Mortazavi, A., & Maskooki, A. (2007). *Effects of combined caustic soda and ultrasound on reducing the drying time of grapes in raisin production* [Research]. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology, 2(1), 1-10. <http://nsft.sbmu.ac.ir/article-1-28-fa.html>
- Nowacka, M., Wiktor, A., Śledź, M., Jurek, N., & Witrowa-Rajchert, D. (2012). *Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties*. Journal of Food Engineering, 113(3), 427-433. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.013>
- Patidar, A., Vishwakarma, S., & Meena, D. (2021). *Traditional and recent development of pretreatment and drying process of grapes during raisin production: A review of novel pretreatment and drying methods of grapes*. Food Frontiers, 2(1), 46-61. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fft2.64>
- Seremet, L., Botez, E., Nistor, O.-V., Andronoiu, D. G., & Mocanu, G.-D. (2016). *Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices*. Food Chemistry, 195, 104-109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.125>
- Setareh, R., Mohammadi-Ghermezgoli, K., Ghaffari-Setoubadi, H., & Alizadeh-Salteh, S. (2023). *The effectiveness of hot-air, infrared and hybrid drying techniques for lemongrass: appearance acceptability, essential oil yield, and volatile compound preservation*. Scientific Reports, 13(1), 18820. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44934-6>
- Wang, N., & Brennan, J. G. (1995). *Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration*. Journal of Food Engineering, 24(1), 61-76. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)P1608-Z](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)P1608-Z)
- Hamedani, Z., Mojarradi, G., Shams, A., & zarrin-Ghalami, S. (2014). *Comparative study of traditional and modern methods of raisins production*. The first national snack conference, MAshhad, Iran.
- Karathanos, V. T., Karanikolas, T., Kostaropoulos, A. E., & Saravacos, G. D. (1995). *Non enzymatic browning in air-drying of washed raisins*. In G. Charalambous (Ed.), *Developments in Food Science* (Vol. 37, pp. 1057-1064). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-4501\(06\)80218-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-4501(06)80218-9)
- Kaveh, M., Jahanbakhshi, A., Askari Asli-Ardeh, E., & Imanian, K. (2019). *Sour lemon drying by hot air drying under ultrasonic pre-treatment*. Innovative Food Technologies, 6(2), 233-245. <https://doi.org/10.22104/jift.2018.2985.1727>
- Khiari, R., Zemni, H., & Mihoubi, D. (2019). *Raisin processing: physicochemical, nutritional and microbiological quality characteristics as affected by drying process*. Food Reviews International, 35(3), 246-298. <https://doi.org/10.1080/87559129.2018.1517264>
- Khodabakhsh, A. (2006). *Economics and business management: assessment of the country's raisin exports*. Business reviews, 17(20), 85-93. <https://www.noormags.ir/view/fa/articlepage/163753>
- Kutlu, N., Pandiselvam, R., Kamiloglu, A., Saka, I., Sruthi, N. U., Kothakota, A., . . . Maerescu, C. M. (2022). *Impact of ultrasonication applications on color profile of foods*. Ultrasonics Sonochemistry, 89, 106109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106109>
- Laborde, M. B., Barreto, G. P., & Pagano, A. M. (2018). *Ultrasound-assisted Dehydration Process Applied to <i>Red Globe</i> Grapes for Producing Low Calorie Raisins*. American Journal of Food Science and Technology, 6(5), 209-214. <http://pubs.sciepub.com/ajfst/6/5/3>