

اثر شدت تابش مادون قرمز و استفاده از پیش تیمار اولتراسوند روی کیفیت ظاهری کشمش در مرحله خشک کردن ثانویه در کارخانه‌های بسته‌بندی

هاجر چالاک^۱، خسرو محمدی قرمزگلی^{۱*}، مصطفی خجسته‌نژاد^۱، حسین غفاری ستوبادی^۱
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۶

۱- گروه مهندسی بیوسیستم - دانشکده کشاورزی - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران
۲- گروه مهندسی مکانیک - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه بناب - بناب - ایران
* مسئول مکاتبه: خسرو محمدی قرمزگلی
E-mail: mohammadi.khosrow@tabrizu.ac.ir

چکیده

کشمش یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی در ایران است. ترکیه، آمریکا و ایران بزرگترین صادرکنندگان کشمش جهان هستند. یکی از مراحل فرآوری کشمش، شست‌وشوی دوباره آن جهت از بین بردن مواد شیمیایی استفاده شده در خشک کردن اولیه، گرد و خاک و مواد زائد و همچنین بهبود کیفیت محصول می‌باشد که متعاقب آن، خشک کردن مجدد (ثانویه) کشمش ضروری است. براساس مطالعات میدانی صورت گرفته، یکی از معضلات بسته‌بندی کشمش، غیر یکنواختی در رطوبت و کیفیت کشمش پس از خشک کردن ثانویه است. امروزه در اکثر کارخانه‌های فرآوری 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 می‌باشد. بنابراین بهینه‌سازی یا جایگزینی سامانه مذکور، از اهمیت بسزایی برخوردار است. بدین منظور روش خشک کردن مادون قرمز منفرد (در سه سطح ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ وات بر سانتی‌متر مربع) با و بدون پیش تیمار اولتراسوند بر روی خواص کیفی کشمش (شاخص رنگ، اسیدیته، جذب مجدد آب، چروکیدگی و شاخص قهوه‌ای شدن) مورد مطالعه قرار گرفت. روش‌های خشک کردن اعمال شده اثر معنی‌داری روی جذب مجدد آب و چروکیدگی نداشتند. پیش تیمار اولتراسوند باعث بهبود کیفیت کشمش از منظر تغییرات رنگ و شاخص قهوه‌ای شدن گردید. همچنین کمترین میزان اسیدیته در روش مادون قرمز با شدت 0.7 W/cm^2 بدون پیش تیمار اولتراسوند بدست آمد.

کلمات کلیدی: محتوای رطوبتی، امواج فراصوت، اسیدیته، چروکیدگی، شاخص قهوه‌ای شدن

How to cite:

Hajar Chalak, Khosro Mohammadi-Ghermezgoli, Mostafa Khojastehnazhand, Hossein Ghaffari-Setoubadi, Effects of infrared radiation intensity and ultrasound pretreatment on the appearance quality of raisins in the secondary drying stage in the packaging plants. 2023. Journal of Agricultural Mechanization 8 (4): 41-51.

Effects of infrared radiation intensity and ultrasound pretreatment on the appearance quality of raisins in the secondary drying stage in the packaging plants

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

Received: August 6, 2023

Accepted: January 23, 2024

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

*Corresponding Author: mohammadi.khosrow@tabrizu.ac.ir

Abstract

Raisin is one of the most important agricultural products in Iran. Turkey, USA and Iran are the biggest exporters in raisins industry. One of the stages of raisin processing is rewashing to remove chemical materials used in primary drying, dust and waste materials, as well as to improve the quality of the product. Therefore, secondary drying of raisins is necessary. Based on the field studies, one of the problems of packing raisins is non-uniformity in moisture content and quality of raisins after secondary drying. Today, in most processing plants, hot air systems are used for secondary crown drying. This system has some disadvantages such as long drying time, energy consumption and high cost. Therefore, the optimization or replacement of the mentioned system is very important. For this purpose, single infrared drying at three intensity levels of 0.5, 0.7 and 0.9 W/cm² were studied. The qualitative properties of raisins (color index, acidity, rehydration, shrinkage and browning index) were studied with and without ultrasound pretreatment. The applied drying methods had no significant effect on the rehydration and shrinkage. Ultrasound pretreatment improved the quality of raisins in terms of color changes and browning index. Also, the lowest amount of acidity was obtained in the infrared intensity of 0.7 W/cm² without ultrasound pretreatment.

Keywords: Moisture content, Ultrasound, acidity, Shrinkage, Browning index.

۱-مقدمه

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های تأثیرگذار در قیمت محصولات کشاورزی خشک‌شده، شکل ظاهری و رنگ محصولات می‌باشد. به دلیل اهمیت کشمش در صادرات، بهبود شاخص‌های کیفی آن نقش به‌سزایی در بازارپسندی این محصول دارد (Maskan, 2001). به‌طور کلی در تهیه کشمش به روش‌های سنتی رنگ کشمش تیره می‌شود که علت این امر مرتبط با پوسته حبه‌های انگور است که مانع از خروج سریع آب شده و با طولانی‌شدن خروج رطوبت، شدت تغییر رنگ (میزان قهوه‌ای شدن) کشمش افزایش می‌یابد (Gholami et al., 2012). از آنجایی که محصول کشمش با رنگ روشن بازارپسندی بیشتری دارد، بنابراین لازم است از واکنش قهوه‌ای شدن که موجب تغییر رنگ کشمش و هم‌چنین ایجاد طعم نامطلوب در کشمش می‌شود جلوگیری کرد. از این‌رو استفاده از پیش‌تیمارها قبل از خشک کردن اثر مثبتی برخواص فیزیکی، شیمیایی و تغذیه‌ای دارد (Doymaz & Pala, 2002). به همین دلیل برای افزایش کیفیت محصول خشک‌شده روش‌های جدیدتری مانند استفاده از پیش‌تیمارها به‌همراه سامانه مایکروویو، سامانه مادون قرمز و... برای خشک کردن مطرح شده‌اند (همدانی و همکاران؛ ۱۳۹۳، نجاتیان، ع؛ ۱۳۹۷ و پرشکوهی؛ ۱۳۸۸). امروزه تابش مادون قرمز به عنوان روشی برای رطوبت‌گیری مطرح است که در این روش، سرعت بالای تبخیر آب با

کشمش دانه‌های خشک‌شده انگور است که سرشار از خواص آنتی-اکسیدانی، دارویی، و... است (Patidar et al., 2021). در بین کشورهای عمده تولیدکننده کشمش در سال ۲۰۲۰، ایران با صادرات بیش از ۹۳ هزارتن در رتبه دوم صادرات پس از ترکیه قرار دارد (Anonymous, 2020). در ایران کشمش بیشتر به‌صورت سنتی تهیه می‌شود از روش‌های مهم تهیه کشمش می‌توان به آفتاب خشک، سایه خشک و تیزآبی اشاره کرد. خشک کردن با این روش‌ها باعث کاهش فعالیت‌آبی کشمش‌ها می‌شود که این امر باعث جلوگیری از فساد میکروبی، شیمیایی و افزایش عمر نگهداری موادغذایی می‌شود (Araya-Farias & Ratti, 2008; Pangavhane & Sawhney, 2002). البته این روش معایبی نظیر طولانی بودن زمان خشک‌شدن، قرار گرفتن در معرض آلودگی‌ها از جمله گرد و خاک و حشرات و... دارد که وجود این معایب از جنبه اقتصادی نیز اثر منفی دارد. بررسی وضعیت کشمش ایران در بازارهای جهانی طی سال‌های گذشته نشان داد به دلیل عدم تطبیق کیفیت این محصول با استانداردهای جهانی، کشمش تولیدی در ایران به قیمت پایین‌تر از قیمت جهانی به فروش می‌رسد (Ashrafi et al., 2007).

مورد استفاده قرار گرفت و نمونه‌های مورد نظر روی سینی قرار داده شدند.

میزان اسیدیته، شاخص قهوه‌ای شدن، میزان جذب مجدد آب و میزان چروکیدگی با توجه به روش‌هایی که در ادامه ذکر شده است اندازه‌گیری گردید و آزمایش‌های خشک کردن، با استفاده از خشک‌کن مجهز به سامانه حرارت‌دهی مادون قرمز انجام گرفت (شکل ۱).

۲-۲ خشک کردن مادون قرمز با و بدون پیش تیمار اولتراسوند

خشک کردن با استفاده از لامپ مادون قرمز با ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ وات بر سانتی مترمربع در سه تکرار انجام گرفت. در ابتدا لامپ مادون قرمز را روی توان مورد نظر تنظیم کرده و ۱۰ دقیقه بعد از اینکه دمای داخل خشک‌کن به تعادل رسید، نمونه‌ها در داخل دستگاه قرار داده شده و وزن نمونه‌ها هر ۱۰ دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ ± اندازه‌گیری گردید. رطوبت نمونه‌ها تا زمان رسیدن به رطوبت ۱۲ الی ۱۳ درصد اندازه‌گیری و در فایل اکسل ثبت گردید (Setareh et al., 2023)

به منظور اعمال پیش تیمار اولتراسوند، ابتدا نمونه‌ها در داخل دستگاه التراسونیک (Elma sonic S 60H) موجود در آزمایشگاه تغذیه و هضم پیشرفت دام گروه علوم دامی دانشگاه تبریز و در معرض امواج اولتراسوند با توان ۱۵۰ وات به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند. سپس آب سطحی نمونه‌ها را خشک کرده و ۱۲۰ گرم از نمونه‌ها روی سینی خشک‌کن قرار گرفتند.

۲-۳ تعیین خواص کیفی

۲-۳-۱ اسیدیته:

اسیدیته با تیتراسیون نمونه‌ها با محلول سود ۰/۱ مولار (۰/۱٪) و معرف فنل فتالین به دست می‌آید. بدین منظور ۵ گرم ۰/۰۱ ± از نمونه با دقت به طور کامل خرد کرده و درون ارلن قرار داده شده و سپس ارلن درون آب جوش به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده و پس از خنک شدن ارلن محتویات آن درون بالن ژوژه ۵۰ میلی لیتری منتقل و تا ۵۰ میلی لیتر با آب رقیق و مخلوط شد. سپس محتویات بالن توسط قیف بوخنر و کاغذ صافی فیلتر گردید. سپس ۲۵ میلی لیتر از مخلوط صاف شده به بشر ۵۰ میلی لیتری منتقل و ۰/۵ میلی لیتر معرف فنل فتالین اضافه و هم زده شد. ضمن هم زدن مخلوط، با استفاده از بورت سود ۰/۱ مولار به مخلوط اضافه گردید تا رنگ صورتی ماندگار حاصل شود. میزان اسیدیته از رابطه ۱ به دست آمد (Canellas et al., 1993)

$$(۱) \quad (\%) \text{ اسید مالیک} = \left(\frac{50}{M}\right) \times V \times C \times \left(\frac{100}{V_0}\right) \times 0.067$$

حداقل افت کیفیت محصول (تغییرات رنگ، چروکیدگی، سفتی سطح، تغییر شکل محصول، عطر و طعم و ...) همراه است (Riadh et al., 2015).

اثرات پیش تیمارهای گوناگون به همراه سامانه‌های مختلف خشک کردن مورد بررسی محققان قرار گرفت: اثر توام امواج فراصوت (به مدت ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه) و قلیا در کاهش زمان خشک شدن انگور و تولید کشمش (Maskooki et al., 2007)، پیش تیمار شست و شو در حمام آب بادمای ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه در روش خشک کردن با مایکروویو در دو نوع خشک شده انگور (آفتابی - تیزابی) (Dehbooreh & Esmaili, 2009)، اثرات پیش تیمار اهمی بر سرعت خشک شدن انگور بی دانه قرمز (Salengke & Sastry, 2005)، تاثیر پیش تیمارهای شیمیایی، مایکروویو و پالس الکتریکی بر خشک کردن همرفتی و کیفیت کشمش (Dev et al., 2008) توسط محققان مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

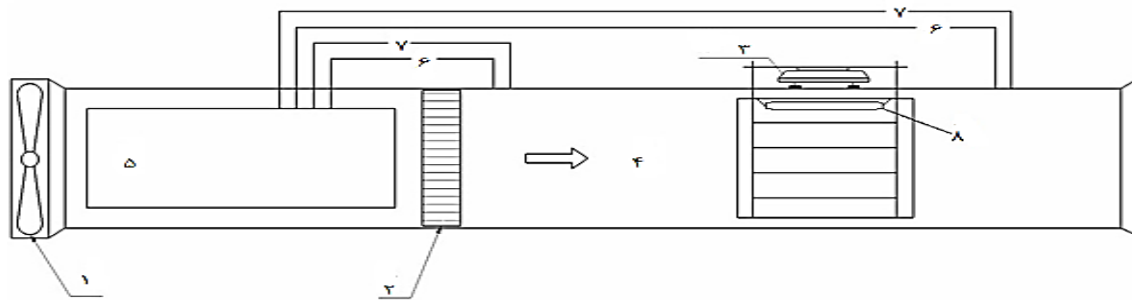
بر اساس مطالعات میدانی صورت گرفته از کارخانجات فرآوری و بسته بندی کشمش، یکی از معضلات اساسی کشمش، غیریکنواختی در رطوبت و کیفیت آن پس از خشک کردن ثانویه است. امروزه در اکثر کارخانه‌های فرآوری از سامانه هوای داغ برای خشک کردن ثانویه استفاده می‌شود. با توجه به معایبی نظیر طولانی بودن زمان خشک شدن، غیر یکنواختی و مصرف بالای انرژی که سامانه مذکور دارد بهینه سازی یا جایگزینی سامانه هوای داغ از اهمیت بسزایی برخوردار است.

از طرف دیگر استفاده از خشک کردن مادون قرمز و همچنین استفاده از پیش تیمار اولتراسوند تا بحال بر روی کشمش بررسی نشده است. لذا در این مطالعه خشک کردن با مادون قرمز و تاثیر پیش تیمار اولتراسوند به منظور حفظ کیفیت و رنگ کشمش، کاهش زمان خشک شدن، کاهش هزینه و انرژی مصرفی و افزایش بازپسندی محصول بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ تهیه نمونه

نمونه‌ها (کشمش طلایی یا سبزه) از کارخانه فرآوری کشمش در شهرستان بناب تهیه شدند. کشمش‌ها بعد از طی مرحله شست و شو و آبگیری و انجام مرحله گوگرد زنی در کارخانه 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 شدند (تمامی چوب‌ها و ضایعات نمونه‌ها جدا شدند). پس از پاکسازی، نمونه‌ها در بسته بندی مناسب جهت جلوگیری از فساد نمونه‌ها و از دست دادن رطوبت قرار داده شدند. ۱۲۰ گرم نمونه برای هر آزمایش



شکل ۱- ۱) بلامر، ۲) المنت حرارتی، ۳) ترازوی دیجیتال (۴) محفظه خشک کن (۵) واحد کنترل (۶) دماسنج (ترموتر) (۷) رطوبت سنج (۸) لامپ مادون قرمز

Fig. 1. 1) blower, 2) Thermal element, 3) Digital Balance, 4) Drying chamber, 5) Control Unit, 6) Thermometer, 7) humidity sensor, 8) Infrared Lamp

$$C = \text{مولاریته سود}$$

$$M = \text{جرم نمونه (گرم)}$$

$$V_0 = \text{حجمی از مخلوط که تیتر می شود (میلی لیتر)}$$

$$V = \text{حجم سود مصرفی (میلی لیتر)}$$

۲-۳-۲ شاخص قهوه‌ای شدن:

اندازه‌گیری می‌شود. بدین منظور قبل و بعد از خشک کردن ۵ گرم نمونه را انتخاب کرده و حجم آن اندازه‌گیری شد. نسبت حجم کشمش خشک شده به حجم اولیه کشمش برابر میزان چروکیدگی می‌باشد (Tsuruta et al., 2015).

۲-۳-۵ 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 (دویماز و مهمت؛ ۲۰۰۲). شاخص‌های رنگی L ، a ، b به ترتیب زردی و آبی، قرمزی و سبزی، میزان روشنایی نمونه را نشان می‌دهند. تفاوت رنگ کل نمونه‌های خشک‌شده با نمونه‌های خشک‌نشده در طی فرآیند خشک کردن به‌عنوان 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):

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_i)^2 + (a_0 - a_i)^2 + (b_0 - b_i)^2} \quad (3)$$

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

۲-۴ محتوای رطوبت:

محتوای رطوبتی نمونه‌ها طبق استاندارد AOAC بررسی شد بدین صورت که قبل از خشک کردن ۱۰ گرم از نمونه اولیه (تر) در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد سپس نمونه‌ها را از آون خارج کرده و دوباره وزن کرده و از رابطه ۴، محتوای رطوبتی نمونه‌ها برپایه وزن تر محاسبه گردید

$$\text{درصد باز آبیوشی} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

(Anonymous, 2015)

۲-۳-۳ درصد جذب مجدد آب:

میزان افزایش وزن نمونه پس از ریختن در آب بیانگر میزان بازآبیوشی می‌باشد. بدین منظور وزن اولیه نمونه اندازه‌گیری و سپس درون بشر حاوی آب هم دمای محیط قرار داده شد به طوری آب کاملا سطح کشمش را بپوشاند. با فاصله‌های زمانی ۱۵ دقیقه، نمونه را از آب خارج کرده و آب سطحی آن با دستمال خشک شده و دوباره وزن شد. این عمل تا زمانی که دو توزین متوالی اختلافی کمتر از 0.1 ± 0.1 داشته باشند ادامه یافت. باز آبیوشی نمونه از رابطه ۲ به دست آمد (Shewale et al., 2021):

۲-۳-۴ میزان چروکیدگی

برای اندازه‌گیری میزان چروکیدگی نمونه را در حجم معینی از تولوئن درون استوانه مدرج ریخته و حجم جابه‌جا شده

با توجه به جدول ۱ اثر تابش مادون قرمز بدون پیش تیمار بر تغییرات رنگ معنی دار نبود، در حالت کلی توان‌های بالا نیاز به صرف انرژی بیشتری دارند، از آنجایی که کمترین میزان تغییرات رنگ مربوط به تیمار مادون قرمز ۰/۷ وات می‌باشد (۳/۸۱۶۷)، بنابراین بهترین روش برای خشک کردن کشمش از بین سه تیمار ذکر شده، مادون قرمز ۰/۷ وات می‌باشد. اثر روش خشک کردن مادون قرمز با پیش تیمار اولتراسوند روی شاخص تغییرات رنگ در سطح احتمال ۵٪ معنی دار بود (جدول ۲). هم‌چنین با توجه به شکل ۲، اختلاف معنی داری بین تیمار اول (خشک کردن مادون قرمز ۰/۵ W/cm² با پیش تیمار اولتراسوند) و تیمارهای دوم (۰/۷ W/cm²) و سوم (۰/۹ W/cm²) در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت ولی بین تیمار دوم و سوم اختلاف معنی داری وجود نداشت. کمترین میزان تغییرات رنگی مربوط به پرتودهی مادون قرمز ۰/۵ W/cm² با پیش تیمار اولتراسوند بود.

$$M_0 = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (۴)$$

۲-۵ طرح آزمایشی

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

۴- نتایج و بحث

با توجه به اهمیت تولید کشمش مرغوب، بهبود روش‌های فراوری کشمش حائز اهمیت می‌باشد لیکن در این بخش نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده ارائه می‌گردد.

۴-۱- تأثیر روش‌های خشک کردن بر کیفیت رنگ

کشمش

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر خشک کردن مادون قرمز بدون پیش تیمار بر شاخص تغییرات رنگ

Table 1. ANOVA results for effect of infrared drying without pretreatment on the color difference index

F	میانگین مربعات Mean Squares	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی DF	تغییرات رنگ Color Difference
0.286 ^{ns}	0.578	1.555	2	بین گروهی Between groups
	2.021	12.128	6	درون گروهی Within groups
		13.284	8	کل Total

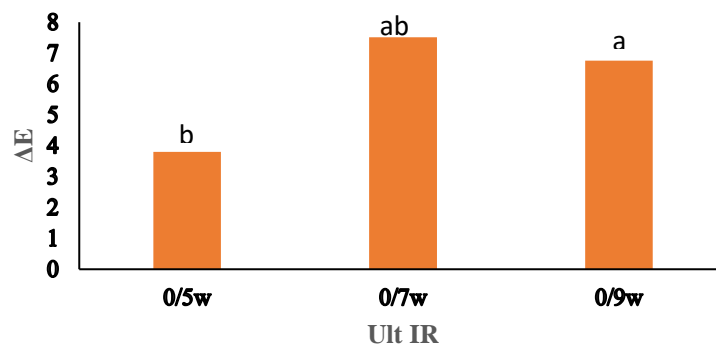
ns : عدم وجود اختلاف معنی دار

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر خشک کردن مادون قرمز با پیش تیمار بر شاخص تغییرات رنگ

Table 2. ANOVA results for effect of infrared drying with pretreatment on the color difference index

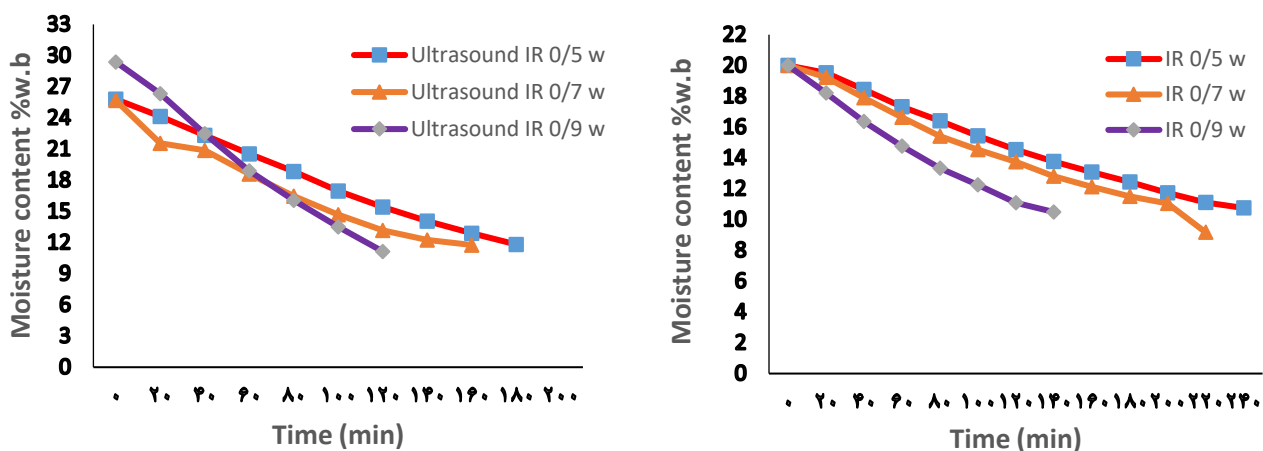
F	میانگین مربعات Mean Squares	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی DF	تغییرات رنگ Color Difference
0.063*	19.964	39.928	2	بین گروهی Between groups
	4.383	26.296	6	درون گروهی Within groups
		66.224	8	کل Total

*: در سطح احتمال ۵٪ معنی دار است.



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین روی کیفیت رنگ کشمش

Fig 2. Compare mean results for raisin color quality



شکل ۳- منحنی خشک کردن مادون قرمز کشمش در توان‌های مختلف: (a) بدون پیش تیمار اولتراسوند (b) با پیش تیمار اولتراسوند

Fig 3. Inferred Drying of raisin at different power: a) without ultrasound pretreatment b) with ultrasound pretreatment.

تحقیقات انجام یافته برای خشک کردن با هوای گرم (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد) و پیش تیمار اولتراسوند برای کشمش (Candemir et al., 2023) و خشک کردن سیب با استفاده از پیش تیمار اولتراسوند (El-Mesery, Ashiagbor, et al., 2023) مطابقت دارد.

۴-۲ تاثیر روش‌های خشک کردن بر میزان اسیدیته

کشمش

با توجه به جدول ۳ اثر روش‌های خشک کردن روی اسیدیته کشمش در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. شکل ۴ مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف روی اسیدیته را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴ بیشترین مقدار اسیدیته مربوط به تیمار مادون قرمز 0.5 W/cm^2 بدون پیش تیمار اولتراسوند و کمترین مقدار اسیدیته مربوط به تیمار مادون قرمز 0.7 W/cm^2 بدون پیش تیمار اولتراسوند می‌باشد. با توجه به شکل ۴ اختلاف معنی‌داری بین دو روش مادون قرمز بدون پیش تیمار با توان 0.7 W/cm^2 و خشک کردن مادون قرمز 0.9 W/cm^2 با پیش تیمار اولتراسوند وجود نداشت. همچنین بین روش خشک کردن مادون قرمز با پیش تیمار با توان 0.7 W/cm^2 و

شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش توان لامپ مادون قرمز سرعت خشک شدن نمونه‌ها افزایش یافته در نتیجه زمان خشک شدن کاهش یافته است. زمانی که پرتو مادون قرمز به کشمش تابانده می‌شود بخشی از پرتو تابیده شده توسط محصول جذب شده و بخشی از آن بازتاب می‌شود، پرتو جذب شده باعث افزایش دمای داخل محصول می‌شود، با توجه به آن که هوای اطراف پرتو مادون قرمز را جذب نمی‌کند در نتیجه پرتو جذب شده، دمای هوای اطراف را افزایش نمی‌دهد و فقط دمای نمونه افزایش می‌یابد. در روش خشک کردن با مادون قرمز، سرعت جریان هوای اطراف باعث تسریع در خروج رطوبت از سطح محصول می‌شود، این روش برای محصولات با لایه نازک که در معرض پرتو مادون قرمز قرار می‌گیرند مناسب می‌باشد (Jain & Pathare, 2004)

منحنی ۳-b خشک کردن کشمش با استفاده از پیش تیمار اولتراسوند در توان‌های مختلف مادون قرمز را نشان می‌دهد. در این حالت، شیب منحنی‌ها در مقایسه با حالت بدون پیش تیمار بیشتر است زیرا استفاده از پیش تیمار اولتراسوند به همراه مادون قرمز باعث افزایش سرعت خشک شدن و کاهش زمان خشک کردن شده است، که با نتایج

نوع پیش تیمار مورد استفاده) بر میزان اسیدیته تاثیر گذار است. علت امر می تواند مرتبط با نحوه تاثیر روش آماده سازی بر تغییرات ساختاری کشمش باشد. (Gholami et al., 2012).

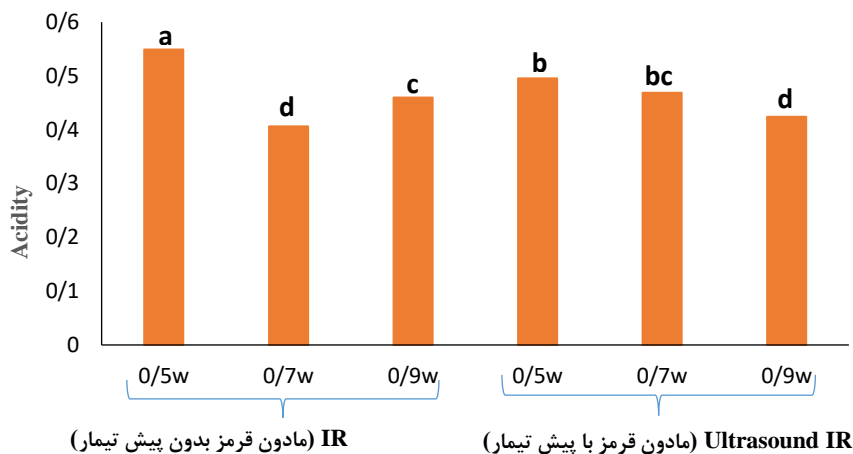
روش خشک کردن با پیش تیمار اولتراسوند با توان $0.5W/cm^2$ نیز اختلاف معنی داری مشاهده نشد. در حالی که بین بقیه تیمارها اختلاف معنی دار در میانگین اسیدیته وجود داشت روش آماده سازی

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر روش های خشک کردن روی اسیدیته کشمش

Table 3. ANOVA results for effect of drying methods on the raisin acidity

F	میانگین مربعات Mean Squares	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی DF	اسیدیته Acidity
26.430*	0.008	0.039	5	بین گروهی Between groups
	0.00	0.004	12	درون گروهی Within groups
		0.043	17	کل Total

*: در سطح احتمال ۵٪ معنی دار است.



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

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

مورد مطالعه، تاثیری روی میزان جذب مجدد آب کشمش نداشت (جدول ۴). با این وجود با افزایش شدت تابش مادون قرمز از ۰/۵ تا ۰/۹ وات برسانتی مترمربع در هر دو حالت با و بدون تیمار التراسوند، ظرفیت باز جذب آب کشمش افزایش یافت (جدول ۵) که این روند با نتایج سایر محققان در مطالعه شدت تابش مادون قرمز روی ورقه های سیب همخوانی دارد (El-Mesery, Ashiagbor, et al., 2023). دلیل این امر را می توان این گونه بیان کرد؛ با افزایش شدت تابش مادون قرمز، زمان خشک شدن کاهش یافت (شکل ۳) و با کاهش زمان خشک شدن، ظرفیت باز جذب آب می تواند افزایش یابد (Candemir et al., 2023). کوتاه شدن زمان خشک کردن و انتشار سریع تر بخار آب در ماده در روش مادون قرمز 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).

۳-۴ تاثیر روش های خشک کردن بر میزان باز جذب آب

باز جذب آب می تواند یک معیار سنجش صدمات ناشی از خشک کردن و یا تیمارهای اولیه باشد (Al-Khuseibi et al., 2005). میزان جذب آب به میزان تخریب سلولی محصول بستگی دارد؛ زمانی که تخریب حداقل باشد باز جذب آب حداکثر خواهد بود. بالا بودن دما یا طولانی شدن زمان خشک کردن در روش های متداول خشک کردن با جریان هوا می تواند ظرفیت باز جذب آب محصول را کاهش دهد (Candemir et al., 2023). کندمیر و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی ظرفیت باز جذب آب کشمش نتیجه گرفتند که بخش اعظم باز جذب آب (۷۰ درصد) در ۴۰۰ دقیقه اول آزمایش اتفاق می افتد. در مطالعه حاضر، روش های خشک کردن

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر روش های خشک کردن بر میزان جذب مجدد آب کشمش

Table 4. ANOVA results for effect of drying methods on the raisin acidity

در: ns	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	بازجذب آب	سطح
احتمال		Mean Squares	Sum of Squares	DF	Rehydratin	۵٪ معنی
دار نیست	0.372 ^{ns}	5.922	29.612	5	بین گروهی	جدول ۵:
میانگین		16.846	202.151	12	درون گروهی	شاخص -
های			231.762	17	کل	بازجذب
آب و					Total	

چروکیدگی کشمش تحت تاثیر تیمارهای مختلف خشک کردن

Mean values of rehydration and shrinkage indexes at different drying tratment

تیمار	مادون قرمز ۰/۵	مادون قرمز ۰/۷	مادون قرمز ۰/۹	مادون قرمز ۰/۹	مادون قرمز ۰/۷	مادون قرمز ۰/۵
شاخص	بدون پیش تیمار	بدون پیش تیمار	بدون پیش تیمار	با پیش تیمار	با پیش تیمار	با پیش تیمار
	IR 0.5-Non-P	IR 0.7 Non-P	IR 0.9 Non-P	IR 0.9 -P	IR 0.7 -P	IR 0.9 -P
بازجذب آب	9.41	9.73	14.8	8.25	9.54	11.25
Rehydratin						
چروکیدگی	0.48	0.51	0.39	0.44	0.53	0.53
Shrinkage						

IR: Infrared Radiation, Non-P: without Ultrasound pretreatment, P: with Ultrasound treatment

تیمار بود. با توجه به شکل ۵، بین تیمارهای ۰.۲، ۰.۵، ۰.۶ اختلاف معنی-داری وجود دارد ولی بین تیمار ۰.۲ و تیمارهای ۰.۱ و ۰.۴ و همچنین بین تیمار ۰.۵ و تیمارهای ۰.۳ و نیز بین تیمار ۰.۶ و تیمار ۰.۱ اختلاف معنی-داری وجود ندارد. شاخص قهوه‌ای شدن کشمش به دمای خشک کردن و پیش تیمار اولتراسوند بستگی داشته و با افزایش دمای خشک کردن، افزایش می‌یابد. اعمال پیش تیمار اولتراسوند بطور قابل-توجهی منجر به کاهش میزان قهوه‌ای شدن در شدت ۰/۷ و 9 W/cm^2 گردید (شکل ۵). دلیل این امر می‌تواند به محدود کردن گسترش واکنش میلارد در نتیجه کاربرد التراسوند مرتبط باشد (Kutlu et al., 2022). همچنین در حالت کلی برای کاهش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی، بایستی از دماهای بالاتر پرهیز کرد.

۴-۴ تاثیر روش‌های خشک کردن بر شاخص قهوه‌ای

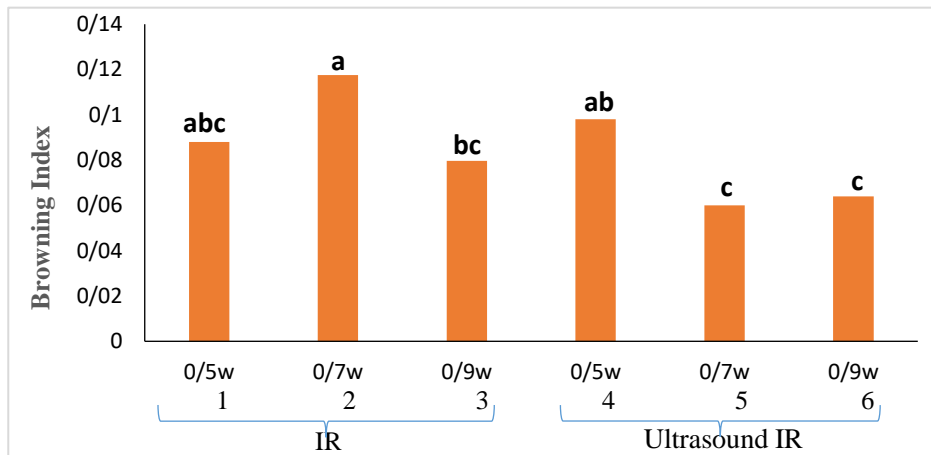
شدن

با توجه به جدول ۶، روش‌های خشک کردن اثر معنی‌داری روی شاخص قهوه‌ای شدن کشمش در سطح احتمال ۵ درصد داشت. واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی شامل واکنش‌های کاراملیزاسیون، تجزیه اسید اسکوروبیک و واکنش میلارد است. (Carabasa- Giribet & Ibarz-Ribas, 2000). اسیدیته، دما و PH محصول در قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی تاثیر دارند. (Demirbükler et al., 2004; I. Doymaz, 2005). بیشترین میزان شاخص قهوه‌ای شدن مربوط به روش خشک کردن با شدت 0.7 W/cm^2 بدون استفاده از پیش-

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر روش‌های خشک کردن بر میزان شاخص قهوه‌ای شدن کشمش**Table 5. ANOVA results for effect of drying methods on the browning index of raisin**

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	شاخص قهوه‌ای شدن
	Mean Squares	Sum of Squares	DF	Browning Index
5.103*	0.001	0.007	5	بین گروهی
	0.00	0.003	12	درون گروهی
		0.010	17	کل
				Total

*: در سطح احتمال ۵٪ معنی دار است.



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

(Seren, 2004). همچنین گرادیان رطوبتی در طی فرآیند خشک شدن محصول باعث ایجاد تنش در ساختار سلولی و در نهایت تخریب می‌شود که تغییرات ابعاد، شکل و یا حجم مواد (چروکیدگی) را در پی دارد (Katekawa & Silva, 2006). محققان نتایج متفاوتی در مورد شدت تابش مادون قرمز روی محصولات مختلف گزارش نموده‌اند؛ در خشک کردن ورقه‌های سیب، افزایش شدت تابش مادون قرمز از $0/13$ الی $0/34 \text{ W/cm}^2$ منجر به کاهش شاخص چروکیدگی از $0/2$ به $0/18$ شد (El-Mesery, Ashiagbor, et al., 2023). در مقابل مقادیر بیشتر چروکیدگی در شدت‌های بالای تابش برای پیاز (Mongpraneet et al., 2002) و بامیه (El-Mesery, Qenawy, et al., 2023) بدست آمده است.

۴-۵ تاثیر روش‌های خشک کردن بر چروکیدگی

اثر روش‌های خشک کردن بر میزان چروکیدگی کشمش در سطح احتمال 5% معنی‌دار نبود (جدول ۷). اسلامی و همکاران (۲۰۲۲) نتیجه گرفتند که اعمال پیش تیمار اولتراسوند اثر معنی‌داری روی چروکیدگی انگور در خشک کن هوای داغ و انجمادی نداشت. با این-حال باتوجه به این که کمترین مقدار چروکیدگی مورد انتظار است؛ بنابراین تیمار ۳ (مادون قرمز $0/9 \text{ W/cm}^2$) بهترین روش برای خشک کردن کشمش از نظر چروکیدگی می‌باشد (جدول ۵). چروکیدگی به دلیل سفت شدن پوسته و کاهش سطح موثر، انتقال رطوبت را کاهش می‌دهد، همچنین با صدمه به لوله‌های موبین سبب کاهش جذب آب نمونه‌های خشک شده نیز می‌شود (Mayor &)

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر روش‌های خشک کردن بر میزان چروکیدگی کشمش

Table 6. ANOVA results for effect of drying methods on the shrinkage of raisin

F	میانگین مربعات Mean Squares	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی DF	چروکیدگی Shrinkage
0.905 ^{ns}	0.017	0.084	5	بین گروهی Between groups
	0.019	0.223	12	درون گروهی Within groups
		0.307	17	کل Total

ns: در سطح احتمال 5% معنی دار نیست.

ولی اعمال پیش تیمار اولتراسوند باعث تغییرات رنگ معنی‌دار در کشمش شد. پیش تیمار اولتراسوند با مادون قرمز $0/5 \text{ W/cm}^2$ را می‌توان به عنوان روش مناسب از لحاظ تغییرات رنگی

۵- نتیجه گیری نهایی:

با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل داده‌ها، اثر تابش مادون قرمز بدون پیش تیمار بر تغییرات رنگ معنی‌دار نبود

- 25(10), 1713-1723.
doi: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.
- Dehbooreh, R., & Esmaili, M. (2009). *Evaluation of Microwave and Convective Finish Drying Parameters and Drying Effects on Color of Dried Grapes*. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 5(2), -. doi:10.22067/ifstrj.v5i2.3740
- Demirbükür, 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.
- Dev, S. R. S., Padmini, T., Adedeji, A., Gariépy, Y., & Raghavan, G. S. V. (2008). *A Comparative Study on the Effect of Chemical, Microwave, and Pulsed Electric Pretreatments on Convective Drying and Quality of Raisins*. *Drying Technology*, 26(10), 1238-1243. doi:10.1080/07373930802307167
- Doymaz, I. (2005). *Sun drying of figs: an experimental study*. *Journal of Food Engineering*, 71(4), 403-407.
- 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. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00133-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00133-9)
- El-Mesery, H. S., Ashiagbor, K., Hu, Z., & Alshaer, W. G. (2023). *A novel infrared drying technique for processing of apple slices: Drying characteristics and quality attributes*. *Case Studies in Thermal Engineering*, 52, 103676. doi:<https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103676>
- El-Mesery, H. S., Qenawy, M., Hu, Z., & Alshaer, W. G. (2023). *Evaluation of infrared drying for okra: Mathematical modelling, moisture diffusivity, energy activity and quality attributes*. *Case Studies in Thermal Engineering*, 50, 103451. doi:<https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103451>
- Eslamy, Z., Asefi, N., & Kamyar, S. (2022). *Effects of Ultrasound Pretreatment on Physicochemical and Biophysical characteristics of Dried Grapes using Hot Air and Freeze Dryer*. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 16(4), 67-76.
- در نظر گرفت. کمترین میزان اسیدیته در روش خشک کردن با مادون قرمز 0.7 W/cm^2 بدون پیش تیمار اولتراسوند مشاهده شد. با توجه به اینکه کمترین مقادیر برای شاخص های چروکیدگی و شاخص قهوه‌ای شدن مورد انتظار است بنابراین به ترتیب تیمارهای مادون قرمز 0.9 W/cm^2 و پیش تیمار اولتراسوند با مادون قرمز 0.7 W/cm^2 مناسب ترین روش می-باشند.

منابع

- Aguilera, J., Oppermann, K., & Sanchez, F. (1987). *Kinetics of browning of sultana grapes*. *Journal of Food Science*, 52(4), 990-993. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb14258.x>
- Al-Khuseibi, M. K., Sablani, S. S., & Perera, C. O. (2005). *Comparison of Water Blanching and High Hydrostatic Pressure Effects on Drying Kinetics and Quality of Potato*. *Drying Technology*, 23(12), 2449-2461. doi:10.1080/07373930500340734
- Anonymous. (2015). *Dry fruits –Determination of the moisture content- test methods*. *Iranian National Standardization Organization, ISNO 672*, 1-8.
- Anonymous. (2020). *FAO Statistics*, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL>.
- Araya-Farias, M., & Ratti, C. (2008). *Dehydration of foods: general concepts*. In *Advances in food dehydration* (pp. 19-54): CRC Press.
- Ashrafi, M., Karbasi, A., & Sadrolashrafi, S. M. (2007). *product ion and export comparative advantage of raisins in Iran*. *Agricultural Economics and Development*, 15(2), 39-61.
- 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*. doi:10.1007/s13399-023-04269-8
- Canellas, J., Rossello, C., Simal, S., Soler, L., & Mulet, A. (1993). *Storage conditions affect quality of raisins*. *Journal of Food Science*, 58(4), 805-809.
- 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. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00027-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00027-3)
- Dadali, G., Demirhan, E., & Özbek, B. (2007). *Color Change Kinetics of Spinach Undergoing Microwave Drying*. *Drying Technology*,

- doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00058-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00058-4)
- Pangavhane, D. R., & Sawhney, R. L. (2002). *Review of research and development work on solar dryers for grape drying. Energy Conversion and Management*, 43(1), 45-61. doi:[https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00006-1](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00006-1)
- 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. doi:<https://doi.org/10.1002/fft2.64>
- Riadh, M. H., Ahmad, S. A. B., Marhaban, M. H., & Soh, A. C. (2015). *Infrared Heating in Food Drying: An Overview. Drying Technology*, 33(3), 322-335. doi:10.1080/07373937.2014.951124
- Salengke, S., & Sastry, S. K. (2005). *Effect of Ohmic Pretreatment on the Drying Rate of Grapes and Adsorption Isotherm of Raisins. Drying Technology*, 23(3), 551-564. doi:10.1081/DRT-200054131
- 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. doi:10.1038/s41598-023-44934-6
- Shewale, S. R., Rajoriya, D., Bhavya, M. L., & Hebbar, H. U. (2021). *Application of radiofrequency heating and low humidity air for sequential drying of apple slices: Process intensification and quality improvement. LWT*, 135, 109904. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109904>
- Tsuruta, T., Tanigawa, H., & Sashi, H. (2015). *Study on Shrinkage Deformation of Food in Microwave-Vacuum Drying. Drying Technology*, 33(15-16), 1830-1836. doi:10.1080/07373937.2015.1036286
- 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).
- Jain, D., & Pathare, P. B. (2004). *Selection and Evaluation of Thin Layer Drying Models for Infrared Radiative and Convective Drying of Onion Slices. Biosystems Engineering*, 89(3), 289-296. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.07.011>
- Katekawa, M. E., & Silva, M. A. (2006). *A Review of Drying Models Including Shrinkage Effects. Drying Technology*, 24(1), 5-20. doi:10.1080/07373930500538519
- 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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106109>
- Maskan, M. (2001). *Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering*, 48(2), 177-182. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00155-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00155-2)
- Maskooki, A., Mortazavi, A., & Maskooki, A. (2007). *Effects of combined caustic soda and ultrasound on reducing the drying time of grapes in raisin production. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 2(1), 1-10.
- Mayor, L., & Sereno, A. M. (2004). *Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. Journal of Food Engineering*, 61(3), 373-386. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00144-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00144-4)
- Mongpraneet, S., Abe, T., & Tsurusaki, T. (2002). *Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions. Journal of Food Engineering*, 55(2), 147-156.

