مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال شانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۷۶-۶۷

اثر پیش‌تیمار فراصوت بر خصوصیات کیفی و بیوفیزیکی انگور خشک شده با خشک‌کن‌های هوای داغ و انجمادی

زهرا اسلامی[۱]، نارملا آصفی[۲]، سیاوش کامیار[۳]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۲- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. پست الکترونیکی:n.asefi@iaut.ac.ir
۳- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۴

چکیده

سابقه و هدف: خشک کردن انگور، یکی از محصولات راهبردی کشاورزی در ایران با چالش‌های متعددی از جمله تغییر رنگ، فسادپذیری، آلودگی و صرف زمان طولانی مواجه است. از این‌رو، در پژوهش حاضر ضمن بررسی اثر پیش‌تیمار فراصوت در دو فرکانس ۴۰ و ۵۹ کیلوهرتز بر کیفیت فیزیکوشیمیایی و بیوفیزیکی انگور خشک‌شده توسط خشک‌کن هوای داغ و انجمادی، مناسب‌ترین خشک‌کن معرفی شده است.

مواد و روش‌ها: آزمایش تجربی خشک کردن نمونه‌ها در خشک‌کن هوای داغ با دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه و خشک‌کن انجمادی با فشار ۰/۱ میلی‌بار با فرآیند پیش‌تیمار فراصوت در سه سطح (بدون پیش‌تیمار فراصوت، پیش‌تیمار با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز و پیش‌تیمار با فرکانس ۵۹ کیلوهرتز) انجام شد. داده‌های حاصل، توسط نرم‌افزار آماری Design expert تجزیه و تحلیل شده و کلیه نمودارها با نرم افزار Excel 2013 رسم شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزایش فرکانس فراصوت به ۵۹ کیلوهرتز و سپس خشک کردن با هوای داغ، سبب کاهش مدت زمان خشک‌شدن (۱۳ ساعت) نسبت به فرکانس ۴۰ کیلوهرتز (زمان خشک شدن ۱۷ ساعت) و نمونه شاهد (زمان خشک شدن ۱۸ ساعت) تا رسیدن محصول به رطوبت ۵/۵ درصد بر مبنای وزن خشک می‌شود. درحالی‌که فراصوت تأثیری در کاهش مدت زمان، در خشک‌کن انجمادی نداشت. همچنین، مشاهده شد که پیش‌تیمار فراصوت در هر دو نوع خشک‌کن سبب کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدان (DPPH) نسبت به نمونه شاهد شده است، بطوری که اثرات مستقل و متقابل پیش‌تیمار فراصوت و نوع خشک‌کن را بر میزان EC50 نمونه‌های انگور خشک شده در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود. نمونه‌های خشک‌شده در خشک‌کن انجمادی نسبت به خشک‌کن هوای داغ، خواص حسی مطلوب‌تری را به خود اختصاص داد، خشک‌کن هوای داغ اثر منفی بر ویژگی‌های حسی داشت و این اثر در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری: از نظر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان چروکیدگی کمتر و مقبولیت کلی ویژگی‌های حسی، نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن انجمادی با پیش‌تیمار فرکانس ۵۹ کیلوهرتز مطلوبیت بیشتری را نسبت به نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن هوای داغ به خود اختصاص دادند.

واژگان کلیدی: انگور، پیش‌تیمار فراصوت، خشک‌کن هوای داغ، خشک‌کن انجمادی

• مقدمه

انگور تازه به‌علت داشتن رطوبت نسبتاً بالا، در طی دوره نگهداری و حتی در شرایط سرد به فساد میکروبی بسیار حساس می‌باشد. بنابراین، در عرض چند هفته پس از برداشت یا باید مصرف شود و یا به صورت محصولات مختلف فرآوری گردد. بر اساس آمار سازمان غذا و کشاورزی (FAO)، ۷۵ هزار و ۸۶۶ کیلومتر مربع در جهان به کشت انگور اختصاص یافته است که نشانگر اهمیت زیاد این محصول راهبردی است؛ ایران با مساحت ۲۸۶۰ کیلومتر مربع در حال کاشت انگور، با رتبه پنجم جهان قبل از رومانی و بعد از ایالات متحده قرار دارد (۱). خشک کردن رایج‌ترین شکل برای فرآوری انگور است (۲). فرایند خشک کردن سبب تبدیل انگور به کشمش (Rasing) شده و با کاهش رطوبت باعث افزایش انبارمانی

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.17357756.1400.16.4.2.1]

محصول می‌شود. بر اساس تحقیقات مختلف، خشک کردن انگور و تولید کشمش تا رسیدن به محتوای رطوبت ۰/۴۲-۰/۱۷ کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک، انجام گرفته است (۳).

از میان روش‌های خشک کردن، خشک کردن انجمادی FD (Freeze drying) یک روش مناسب‌تر جهت حذف آب می‌باشد و در نتیجه نسبت به سایر روش‌های خشک کردن، محصولاتی با کیفیت بالاتر بدست می‌آید. کیفیت محصول آب‌گیری شده با این روش، نه تنها به شرایط خشک کردن بلکه به پیش‌تیمارهای انجام شده قبل از خشک کردن نیز بستگی دارد. با وجود مزایای این روش، به دلیل هزینه بالای انرژی در ارتباط با فرآیند، استفاده از این تکنولوژی در صنعت بسیار کم است (۴). خشک کردن انجمادی (FD)، که به آن لیوفیلیزاسیون نیز می‌گویند، یک روش شناخته شده برای تولید پودرها و مواد جامد غذایی با کیفیت بالا است (۵). این یک روش برای خشک کردن غذاهای حاوی ترکیباتی است که از نظر حرارتی حساس بوده و در معرض اکسیداسیون هستند زیرا اساس این روش کار کردن در دمای پایین و خلاء زیاد است. خشک شدن انجمادی، یک فرآیند جدا سازی بر اساس پدیده تصعید است. محصول خشک شده با این روش، ساختار اسفنجی دارد که آن را قادر می‌سازد تا نفوذ آب سریع‌تر انجام شده و ویژگی‌های تازه مانندِ محصول از طریق آب‌گیری مجدد بازیابی شود (۶).

از طرفی امروزه در فرآیندهای خشک کردن به‌منظور جلوگیری از تغییرات نامطلوب حاصل از انرژی حرارتی و برطرف کردن عیوب خشک کردن با جریان هوای داغ مثل ایجاد تغییرات ساختاری در محصولات، تولید عطر، طعم و رنگ نامطلوب، تخریب ویتامین و از دست رفتن اسیدهای آمینه ضروری و به‌منظور کاهش زمان خشک شدن، به تیمارهای جدیدی که در آن کیفیت حفظ می‌شود اهمیت زیادی داده شده است. در میان فناوری‌های جدید نوظهور، نوعی امواج مکانیکی با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز یا بیشتر، فراصوت یک فناوری پیش‌تیمار غیرحرارتی امیدوار کننده برای توسعه روند خشک شدن محصولات کشاورزی است (۷). در طی تیمار با فراصوت، بافت ماده غذایی به سرعت توسط امواج فراصوت فشرده شده و منبسط می شود و منجر به ایجاد "اثر اسفنجی" می شود، که نتیجه آن ایجاد میکروکانال‌ها و انتشار رطوبت داخل سلولی به سطح است (۸). علاوه بر این، گزارش شده است که تیمار با فراصوت می‌تواند اکسیژن محلول را در فضای داخل سلول بافت گیاه از بین ببرد که انتقال گرما و جرم را در هنگام خشک کردن تسهیل می‌کند (۴). Fijalkowska و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که پیش‌تیمار فراصوت برروی برش‌های سیب زمان خشک کردن را ۱۷-۱۳ در صد نسبت به برش‌های سیب تیمار نشده کاهش داد (۹). همچنین در مطالعه‌ای از Wang و همکاران (۲۰۱۹) نتایج نشان داد که پیش‌تیمار فراصوت در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده زمان خشک کردن برش‌های کیوی را با ۲۵-۱۶/۶۷ درصد کاهش داد (۱۰). هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر پیش‌تیمار فراصوت بر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی شامل: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، اسید آسکوربیک، چروکیدگی و خواص بیوفیزیکی انگور (شاهرودی) خشک شده توسط خشک‌کن هوای داغ و انجمادی می‌باشد.

• مواد و روش‌ها

در این تحقیق، انگور شاهرودی به عنوان ماده خام مورد استفاده قرار گرفت و قبل از انجام آزمایش‌ها در سردخانه بالای صفر درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

مواد شیمیایی که در این پروژه تحقیقی مورد استفاده قرار گرفت شامل موارد زیر است:

- سود ($NaOH$)، مرک آلمان
- تولوئن ($C_6H_5CH_3$)، مجللی ایران
- متانول (CH_4O)، مجللی ایران
- اسید متافسفریک (HPO_3)، مرک آلمان
- ۲و۲ دی فنیل ۲ پیکریل هیدرازیل (DPPH)، مرک آلمان
- معرف ۲و۶ دی کلروفنل اندوفنل ($C_{12}H_7NCl_2O2$)، مرک آلمان

روش کار

نمونه‌های انگور یک ساعت قبل از فرآوری از یخچال خارج شده و در معرض دمای محیط قرار گرفتند. پس از شستشو، رطوبت سطحی توسط کاغذ جاذب رطوبت گرفته و وزن آنها مشخص گردید. سپس نمونه‌ها به مدت دو دقیقه در محلول سود ۰/۵ مولار با نسبت (۱:۵) نمونه به سود، به‌منظور زدودن لایه‌ی مومی شکل پوست انگور و افزایش نفوذپذیری پوسته، غوطه‌ور و بعد از این مدت زمان آبکشی شدند (۱۱). سپس نمونه‌ها برای قرار گرفتن در حمام فراصوت (شرکت FALC، ایتالیا) درون ارلن حاوی آب مقطر غوطه‌ور شده و به مدت ۱۰ دقیقه تحت تأثیر امواج فراصوت قرار گرفتند. عمل فراصوت‌دهی درون حمام فراصوت و تحت دمای ثابت ۳۰ درجه سانتی‌گراد، در دو فرکانس ۴۰ و ۵۹ کیلوهرتز با توان ۱۰۰ وات صورت گرفت. بعد از طی شدن زمان، حبه‌های انگور از آب مقطر خارج گردیده و پس از حذف رطوبت سطحی

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.17357756.1400.16.4.2.1]

مجدداً توزین شدند. قبل از قرار گرفتن نمونه‌ها در خشک‌کن، توسط کاتر آلومینیومی شیار بسیار کوچکی در دانه‌های انگور ایجاد شد.

جهت خشک کردن نمونه‌ها از دو نوع خشک‌کن استفاده شد. بخشی از نمونه‌های تیمار شده، به خشک‌کن هوای داغ (شرکت Behdad، ایران) با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه منتقل شدند. به‌منظور حصول شرایط پایدار در سیستم، در تمامی موارد محفظه‌ی خشک‌کن هوای داغ یک ساعت قبل از انجام آزمایشات به دمای مورد نظر رسانده شد. بعد از خروج از خشک‌کن، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دسیکاتور خنک شده و توزین شدند. بخش دیگر از نمونه‌های تیمار شده، ابتدا به مدت ۲۴ ساعت در فریزری با دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از طی این مدت زمان به خشک‌کن انجمادی (شرکت Martin christ، مدل Alpha 1-4 LDplus، آلمان) با فشار ۰/۱ میلی بار و دمای کندانسور ۵۵- درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. خشک کردن تا زمانی ادامه داشت که تغییرات رطوبت حبه‌ها بسیار کم شده و در نتیجه شدت خشک شدن تقریباً صفر شود.

ارزیابی محتوای رطوبتی نمونه‌ها: محتوای رطوبتی نمونه‌ها از طریق خشک کردن آن‌ها در آون با گردش هوای داغ در دمای ۱۰۵ ±۱درجه سانتی‌گراد، تا رسیدن به وزن ثابت انجام شد. در نهایت محتوای رطوبتی بر مبنای ماده خشک گزارش گردید (۱۰).

تعیین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی: یک گرم انگور خشک‌شده با استفاده از هموژنایزر (شرکت Heidolph، آلمان) در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳ دقیقه در ۵۰ میلی‌لیتر مخلوط حلال متانول: آب: اسید فرمیک استخراج شد. سپس عصاره در g × ۴۰۰۰ در مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (شرکت Eppendorf، مدل R5415، آلمان) شد. مایع رویی را به یک ظرف شیشه‌ای منتقل کرده و باقی‌مانده با مخلوط متانول-آب دوباره استخراج شد. مجدد مایع رویی حاصل از دو ماده استخراج شده در یک ظرف شیشه‌ای ریخته و تا زمان آنالیز در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد ذخیره گردید. اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از محلول ۲و۲-دی فنیل، ۲-پیکریل هیدرازیل (DPPH)، انجام شده و نتایج آن بر پایه IC50 بیان گردید. IC50 معمولاً نشان دهنده غلظت مؤثری از نمونه‌ها است که توانایی مهار ۵۰ درصد DPPH را دارد. برای محاسبه IC50، ابتدا مقادیر درصد بازدارندگی با استفاده از فرمول زیر محاسبه و نمودار درصد بازدارندگی رادیکال DPPH در برابر غلظت عصاره رسم شد. سپس از روی معادله خط رگرسیون بدست آمده، مقدار IC50 و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها محاسبه گردید و نتایج به صورت میلی‌گرم ماده خشک گزارش شد (۱۲).

$$\%\text{بازدارندگی} = \frac{A_{DPPH} - A_{\text{عصاره}}}{A_{DPPH}} \times 100 \quad (۱)$$

A: میزان جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر

ارزیابی چروکیدگی(S): میزان چروکیدگی نمونه‌ها با اندازه‌گیری تغییر حجم قبل و بعد از خشک شدن بررسی شد. برای اندازه‌گیری حجم از روش جابجایی تولوئن استفاده شد. بدین ترتیب که چروکیدگی تحت عنوان درصد تغییر حجم نمونه‌ی فرآوری شده نسبت به نمونه‌ی خام تعریف می‌شود (۱۳).

$$\%S = \frac{Vi\text{-}V}{Vi} \times 100 \quad (۲)$$

V_i : حجم نمونه قبل از خشک کردن

V : حجم نمونه بعد از خشک کردن

%S : درصد چروکیدگی

ارزیابی ویژگی‌های حسی: ارزیابی حسی توسط یک گروه ارزیاب متشکل از ۱۰ نفر انجام گرفت. کلیه ارزیابی‌ها به روش تک چشایی و با آزمون درجه‌بندی در مقیاس لذت‌بخشی (هدونیک) پنج نقطه‌ای صورت گرفت و نظر ارزیاب‌ها بر روی ویژگی‌های ظاهر، رنگ، طعم، بو، بافت و مقبولیت کلی نمونه‌ها ارزیابی شد (۱۴).

طرح آماری: در این پژوهش به‌منظور تحلیل نتایج آزمایش‌ها، از روش آماری فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای مورد بررسی شامل متغیر نوع خشک‌کن (A) در دو سطح (خشک‌کن هوای داغ (a_1) و خشک‌کن انجمادی (a_2)) و متغیر فرکانس فراصوت (B) در سه سطح (بدون پیش‌تیمار فراصوت (b_1)، پیش‌تیمار با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز (b_2) و پیش‌تیمار با فرکانس ۵۹ کیلوهرتز (b_3)) بودند. تعداد کل نمونه‌ها ۱۸ تیمار بود و کلیه آزمون‌ها در سه تکرار صورت پذیرفت. داده‌های حاصل، توسط نرم‌افزار آماری Design expert مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و کلیه نمودارها توسط نرم‌افزار Excel 2013 رسم شد. در نهایت بهینه‌سازی نهایی متغیرها توسط نرم‌افزار Dsign expert مورد بررسی قرار گرفت.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1400.16.4.2.1]

• یافته‌ها

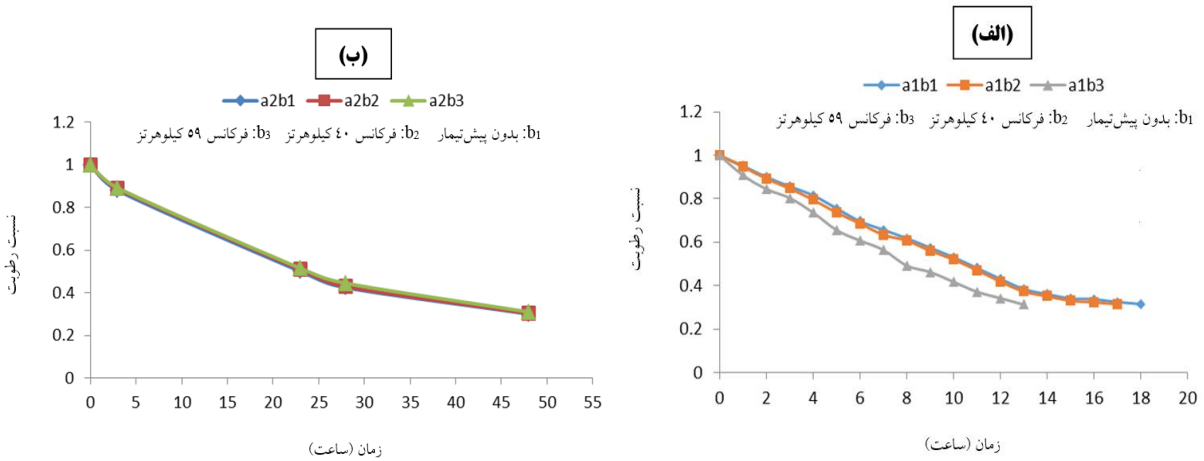
سرعت خشک شدن و افت رطوبت نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن هوای داغ و انجمادی: شکل (۱) مدت زمان لازم جهت افت رطوبت نمونه شاهد (a_1b_1) و نمونه‌های فراصوت شده با فرکانس ۴۰ (a_1b_2) و ۵۹ کیلوهرتز (a_1b_3) را، در خشک‌کن هوای داغ و انجمادی را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۱-الف مدت زمان لازم جهت خشک شدن و رسیدن محصول به رطوبت ۵/۵ درصد بر مبنای وزن خشک، به ترتیب برای نمونه شاهد (a_1b_1)، تیمار در فرکانس ۴۰ (a_1b_2) و ۵۹ کیلوهرتز (a_1b_3)، حدود ۱۸، ۱۷ و ۱۳ ساعت بود. طبق این نمودار، نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فرکانس ۵۹ کیلوهرتز سرعت افت رطوبت بیشتری در مقایسه با سایر تیمارها نشان می‌دهند و اثر پیش‌تیمار با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز در افت رطوبت نمونه‌ها با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت ($P<۰/۰۵$) که نشان دهنده بی‌اثر بودن فرکانس‌های پایین در خارج کردن آب از بافت انگور می‌باشد.

برای نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن انجمادی نیز طبق انجام پیش آزمایش‌ها و رسیدن محصول به رطوبت حدود ۴/۳ درصد، مدت زمان خشک کردن برای نمونه شاهد (a_2b_1)، نمونه تیمار شده در فرکانس ۴۰ (a_2b_2) و ۵۹ کیلوهرتز (a_2b_3)، ۴۸ ساعت بود. طبق شکل ۱-ب، نمونه‌های شاهد و پیش‌تیمار شده سرعت افت رطوبت یکسانی را نشان می‌دهند و عمل فرا صوت تأثیر معنی‌داری در کاهش مدت زمان خشک شدن در خشک‌کن انجمادی نداشت ($P<۰/۰۵$). اطلاعات زیادی در مورد نمونه‌های پیش‌تیمار شده در حمام فراصوت و سپس خشک کردن در خشک‌کن انجمادی در دسترس نیست.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی (IC50) نمونه‌های انگور خشک شده با خشک‌کن‌های هوای داغ و انجمادی: شکل (۲) مقایسه نمونه تازه را با نمونه‌های پیش‌تیمار شده و شاهد خشک شده از نقطه‌نظر IC50 نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه تازه نسبت به سایر نمونه‌ها دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری می‌باشد و عمل خشک کردن سبب کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد بطوری که این اختلاف بین نمونه تازه و نمونه‌های خشک‌شده معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). در خشک کن هوای داغ کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به نمونه تازه، به ترتیب برای تیمار (a_1b_1)، (a_1b_2) و (a_1b_3) به میزان ۲/۷۸، ۳/۱۱ و ۳ برابر و در خشک‌کن انجمادی نیز به ترتیب در تیمار (a_2b_1)، (a_2b_2) و (a_2b_3) به میزان ۲/۲۸، ۲/۴۳ و ۲/۵۲ برابر مشاهده شد. با توجه به شکل ۲ نمونه‌های خشک شده با خشک‌کن انجمادی بطور معنی‌داری میزان IC50 پایین‌تری (ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر) نسبت به نمونه‌های خشک‌شده با هوای داغ داشت ($P<۰/۰۵$).

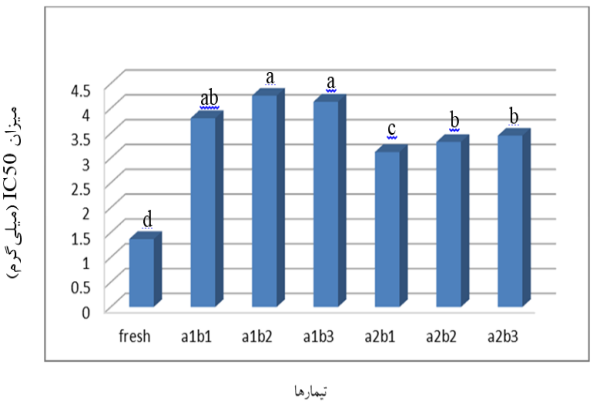
با توجه به معنی‌دار بودن ($P<۰/۰۵$) اثرات متقابل خشک‌کن‌ها و پیش‌تیمار فراصوت بر میزان IC50، شکل ۳ تغییرات IC50 نمونه‌های انگور خشک شده را نشان می‌دهد. در خشک کن هوای داغ، مقادیر پایین IC50 (ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالا) در نمونه‌های تیمار شده با فرکانس ۵۹ کیلوهرتز (a_1b_3) نسبت به فرکانس ۴۰ کیلوهرتز (a_1b_2)، به علت کاهش مدت زمان خشک شدن (۵ ساعت) نمونه‌ها بوده است که در نتیجه ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری از خود نشان داده است.



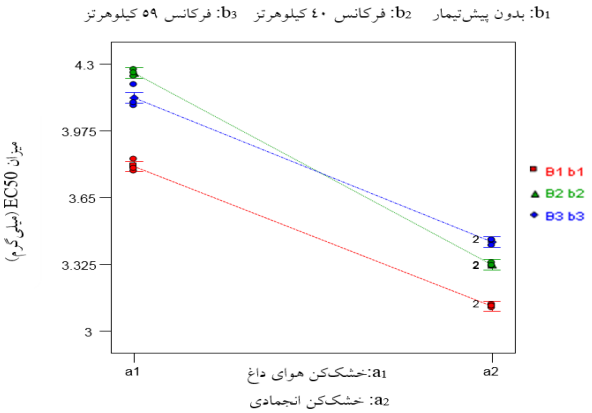
شکل ۱. الف) افت رطوبت در نمونه‌های خشک شده با خشک‌کن هوای داغ؛ ب) افت رطوبت در نمونه‌های خشک شده با خشک‌کن انجمادی

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1400.16.4.2.1]



شکل ۲. مقایسه میزان IC50 بین نمونه تازه انگور و نمونه‌های خشک شده

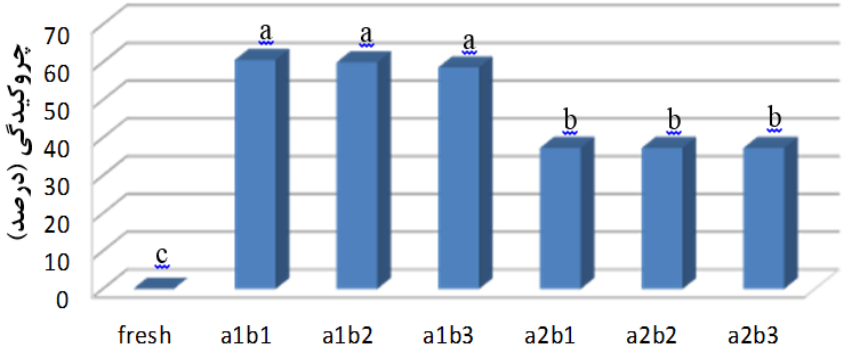


شکل ۳. اثر متقابل نوع خشک‌کن و پیش‌تیمار فراصوت بر میزان IC50

اثر پیش‌تیمار فراصوت بر درصد چروکیدگی انگور خشک شده در خشک‌کن هوای داغ و انجمادی: جدول ۱ اثرات مستقل و متقابل پیش‌تیمار فراصوت و نوع خشک‌کن را بر درصد چروکیدگی نمونه‌های انگور خشک شده، نشان می‌دهد. طبق نتایج جدول آنالیز واریانس، فقط اثر مستقل نوع خشک‌کن (A) در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار است. طبق شکل ۴ و در مقایسه نمونه تازه با نمونه‌های خشک‌شده، در خشک‌کن هوای داغ افزایش میزان چروکیدگی نسبت به نمونه تازه به ترتیب برای تیمار (a_1b_1)، (a_1b_2) و (a_1b_3) به میزان ۶۰/۶۶، ۶۰ و ۵۸/۶۶ درصد و در خشک‌کن انجمادی نیز در تمام تیمارها به میزان ۳۷/۳۳ درصد مشاهده شد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱ و شکل ۴ خشک‌کن هوای داغ باعث افزایش معنی‌داری در درصد چروکیدگی نمونه‌های خشک‌شده نسبت به نمونه تازه و نمونه‌های خشک‌شده با خشک‌کن انجمادی شده است ($P<0/01$)، اما تغییرات فرکانس بر چروکیدگی تأثیر معنی‌داری نداشته است ($P>0/01$).

جدول ۱. نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) تیمارهای مورد بررسی برای درصد چروکیدگی

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	احتمال F	احتمال P
مدل	۵	۲۲۷۳/۱۱	۴۵۴/۶۲	۴۰۹/۱۶	۰/۰۰۰۱<
A: نوع خشک‌کن	۱	۲۲۶۶/۸۹	۲۲۶۶/۸۹	۲۰۴۰/۲۰	۰/۰۰۰۱<
B: فرکانس فراصوت	۲	۳/۱۱	۱/۵۶	۱/۴۰	۰/۲۸۴۱
AB	۲	۳/۱۱	۱/۵۶	۱/۴۰	۰/۲۸۴۱
خطای خالص	۱۲	۱۳/۳۳	۱/۱۱	–	–
همبستگی کل	۱۷	۲۲۸۶/۴۴	–	–	–
R^2=۰/۹۹۴۲					



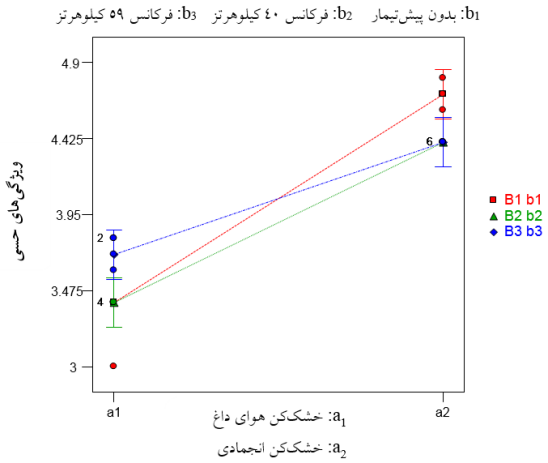
شکل ۴. مقایسه درصد چروکیدگی بین نمونه‌های خشک شده و نمونه تازه انگور

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1400.16.4.2.1]

اثرات متقابل پیش‌تیمار فراصوت و خشک‌کن‌های هوای داغ و انجمادی بر ویژگی های حسی نمونه های انگور خشک شده

با توجه به معنی‌دار بودن ($P<۰/۰۵$) اثرات متقابل خشک‌کن‌ها و پیش‌تیمار فراصوت بر ویژگی‌های حسی، شکل ۵ تغییرات ویژگی‌های حسی نمونه‌های انگور خشک شده را نشان می‌دهد. مطابق نتایج به دست آمده، نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن انجمادی (در تمام تیمارها) در مقایسه با خشک‌کن هوای داغ، از نظر ویژگی های حسی مطلوبیت بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۵. اثر متقابل نوع خشک‌کن و پیش‌تیمار فراصوت بر ویژگی‌های حسی

طبق شکل ۵ در نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن هوای داغ بیشترین میزان مطلوبیت در نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فرکانس ۵۹ کیلوهرتز (a_1b_3) و کمترین مطلوبیت نیز در نمونه شاهد (a_1b_1) و نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز (a_1b_2) مشاهده شد. در نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن انجمادی نیز، بیشترین میزان مطلوبیت در نمونه شاهد (a_2b_1) و کمترین مطلوبیت در نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فرکانس ۴۰ (a_2b_2) و ۵۹ کیلوهرتز (a_2b_3) مشاهده شد.

جدول ۲ امتیازبندی ویژگی‌های حسی نمونه‌های انگور خشک شده را نشان می‌دهد. در این جدول عدد ۱ کمترین و عدد ۵ بیشترین امتیاز را نشان می‌دهد. طبق این جدول مشاهده می‌شود که نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن انجمادی از نظر ظاهر، رنگ، طعم، بو و بافت نسبت به نمونه‌های خشک شده در هوای داغ از امتیاز و مقبولیت بیشتری برخوردار هستند.

بهینه‌سازی

برای بهینه‌سازی پارامترها در جهت انتخاب بهترین تیمار با حداکثر مقبولیت حسی، با حداقل میزان IC50، چروکیدگی با حداقل مقدار بررسی شد. در جدول ۳ مقایسه پارامترهای مختلف تیمار انتخاب شده و نمونه تازه انگور مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۲. میانگین امتیازبندی ویژگی‌های حسی نمونه‌های خشک شده

صفات	a_1b_1	a_1b_2	a_1b_3	a_2b_1	a_2b_2	a_2b_3
ظاهر	^{b*}۳/۱	^{b}۳/۲	^{b}۳/۴	^{a}۴/۷	^{a}۴/۶	^{a}۴/۶
رنگ	^{c}۳	^{bc}۳/۴	^{b}۳/۷	^{a}۴/۷	^{a}۴/۷	^{a}۴/۶
طعم	^{c}۳/۸	^{d}۳/۳	^{d}۳/۳	^{a}۴/۸	^{b}۴/۳	^{b}۴/۴
بو	^{c}۳/۲	^{c}۳/۲	^{c}۳/۳	^{b}۴/۳	^{bc}۳/۸	^{b}۴
بافت	^{b}۳/۹	^{b}۳/۷	^{b}۳/۷	^{a}۵	^{a}۵	^{a}۴/۹
مقبولیت کلی	^{c}۳/۴	^{c}۳/۴	^{c}۳/۷	^{a}۴/۷	^{b}۴/۴	^{b}۴/۴

* حروف کوچک (a-d) مشابه در هر ردیف نشان دهنده عدم اختلاف معنادار ($P<۰/۰۵$) بر اساس آزمون دانکن بین داده‌ها است.

جدول ۳. مقایسه پارامترهای مختلف تیمار انتخاب شده و نمونه تازه

پارامترها	نمونه تازه	حداکثر	حداقل	نمونه انتخاب شده
IC50 (میلی‌گرم)	۱/۳۶۷	۴/۲۷۲۹۷	۳/۱۱۳۹	۳/۱۲۲۱۱
چروکیدگی (درصد)	۰	۶۲	۳۶	۳۷/۳۳۳۳
مقبولیت حسی	۵	۴/۸	۳	۴/۷

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-10]
[DOR: 20.1001.1.17357756.1400.16.4.2.1]

در نهایت در شرایط پژوهش انجام یافته (پیش‌تیمار نمونه‌ها با امواج فرا صوت و خشک کردن در خشک‌کن هوای داغ و انجمادی)، نمونه شاهد خشک شده در خشک‌کن انجمادی (a_2b_1) به عنوان نمونه منتخب با مطلوبیت ۰/۹۷۱، توسط نرم‌افزار انتخاب شد.

• بحث

محتوای رطوبتی نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن هوای داغ با پیش‌تیمار فرکانس ۵۹ کیلوهرتز (a_1b_3) در مقایسه با نمونه شاهد (a_1b_1) و نمونه پیش‌تیمار شده با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز (a_1b_2)، سریع‌تر کاهش یافت. پیش‌تیمار با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز، تأثیر قابل توجه و معنی‌داری در افزایش سرعت خشک شدن نسبت به نمونه شاهد نداشت و سرعت خشک شدن این تیمار اختلاف اندکی با نمونه شاهد نشان داد. همچنین، پیش‌تیمار فراصوت تیمار مناسبی برای نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن انجمادی نبود و تأثیر معنی‌داری در کاهش مدت زمان خشک شدن و سرعت بخشیدن به کاهش محتوای رطوبتی نداشت.

یافته‌های مشابهی از جمله پیش‌تیمار فراصوت باعث کاهش زمان خشک شدن ۱۲/۶۲–۱۰/۱۳ درصد برای جلبک دریایی (۱۵)، ۱۷-۱۳ درصد برای برش سیب (۹) و ۲۵-۶/۳ درصد برای برش هویج (۸) در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده گردید، گزارش شده است. همچنین نتایج مشابهی را در بررسی اثر سیستم تماسی فراصوت برای سرعت بخشیدن به فرآیند خشک کردن انجمادی فلفل قرمز بدست آوردند و با نمونه‌های خشک‌شده در خشک‌کن انجمادی معمولی و بدون پیش‌تیمار، مقایسه کردند. نتایج حاصل نشان داد که بین نمونه‌های پیش‌تیمار شده با فراصوت و نمونه‌های تیمار نشده، در میزان سرعت افت رطوبت و کاهش مدت زمان خشک شدن تفاوت چندانی وجود ندارد. احتمال می‌رود کانال‌های میکروسکوپی ایجاد شده در طی فراصوت، با عمل انجماد قبل از خشک کردن از بین رفته و تفاوتی بین نمونه‌های شاهد و فراصوت شده در خشک‌کن انجمادی، مشاهده نگردیده است (۱۶). بنابراین، پیش‌تیمار فراصوت می‌تواند مصرف انرژی فرآیند خشک کردن را کاهش دهد (۱۷).

نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن انجمادی نسبت به نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن هوای داغ، IC50 کمتر و در نتیجه ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری داشتند. در خشک‌کن هوای داغ، کمترین میزان IC50 مربوط به نمونه‌ی شاهد (a_1b_1) و بیشترین میزان مربوط به فرکانس ۴۰ کیلوهرتز (a_1b_2) بود. در خشک‌کن انجمادی نیز کمترین میزان در نمونه‌ی شاهد (a_2b_1) و بیشترین میزان در فرکانس ۵۹ کیلوهرتز (a_2b_3) مشاهده شد. طبق بررسی‌های انجام شده نتایج مشابهی توسط محققان دیگر نیز ارائه شده است (۱۸)، خشک کردن برگ‌های کلم‌پیچ را در دو نوع خشک‌کن هوای گرم و خشک‌کن انجمادی مورد مطالعه قرار داده و نتایج مشابهی در این زمینه اعلام کرده است. به این ترتیب که در خشک‌کن انجمادی به علت خشک شدن در دمای پایین و وجود خلاء، مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تراز بسیار بالایی نسبت به نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن هوای داغ حفظ می‌شود. نتایج حاصل از تحقیق نیز نشان داد که امواج فراصوت می‌تواند به عنوان روشی جهت استخراج ترکیبات آنتی‌اکسیدانی انگور مورد استفاده قرار گیرد و سبب کوتاه کردن زمان استخراج این ترکیبات نسبت به روش‌های معمول و بهبود کیفیت عصاره شود (۱۹). در بررسی نتایج مشابه نیز، دلیل مقبولیت کم محصولات خشک شده با هوای داغ، بالا بودن دمای خشک کردن می‌باشد که سبب افت کیفیت محصول نهایی و تغییرات نامطلوب و قابل توجه در عطر و طعم مواد غذایی، رنگ و بافت محصول می‌شود که ناشی از فروپاشی سلول‌ها به علت از دست دادن رطوبت است (۲۰).

برای کوتاه شدن زمان خشک شدن و کاهش خطر آلودگی، از روش‌های مختلفی مانند خشک کردن خورشیدی، خشک کردن با آون و خشک کردن هوای داغ در تولید کشمش استفاده شده است. خواص حسی، کیفیت غذایی و هزینه محصول معمولاً در انتخاب روش خشک کردن مناسب در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که انگور میوه‌ای غنی از ترکیبات زیست فعال (مانند فنولیک کل، آنتوسیانین، فلاونول کل) و دارای فعالیت مهار کنندگی ضد رادیکالی است. روش‌های مختلف خشک کردن بر خصوصیات حسی (طعم، ظاهر، بافت) و ترکیبات زیست فعال میوه تأثیر می‌گذارد. در مطالعه‌ای تأثیر روش‌های خشک کردن با روش‌های مختلف از جمله انجمادی، هوای داغ و خورشیدی بر روی ترکیبات فنلی، آنتوسیانین‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی انگور بررسی شده است. نتایج نشان داد که خشک کردن انجمادی بهترین روش برای حفظ فنولیک‌ها و آنتوسیانین‌ها در انگور خشک‌شده است، در حالی که کمترین میزان این ترکیبات در انگور خشک شده در معرض آفتاب بود (۱۲). با این حال، وقتی صحبت از تولید انگور خشک در

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1400.16.4.2.1]

صنعت می‌شود، از روش خشک کردن در برابر آفتاب بیشتر از خشک کردن انجمادی استفاده شده است؛ به این دلیل است که روش خشک شدن انجمادی گران قیمت است. با توجه به ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و هزینه‌های تولید، روش خشک کردن هوای داغ می‌تواند جایگزینی برای خشک شدن در برابر آفتاب باشد. با این وجود، برای بهبود کیفیت محصول در روش خشک کردن هوای داغ، تحقیقات تجربی بیشتری لازم است.

نتیجه گیری

انگور، منبع خوبی از ترکیبات زیست‌فعال است. نتایج نشان داد که پیش‌تیمار فراصوت تأثیر مثبتی بر میزان خشک شدن نمونه‌های انگور دارد. از نظر چروکیدگی کمتر، فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر و حداکثر مقبولیت کلی ویژگی‌های حسی نیز، نمونه‌های خشک شده در خشک‌کن انجمادی مطلوبیت بیشتری را نسبت به نمونه‌ای خشک شده در خشک‌کن هوای داغ به خود اختصاص دادند. مطابق با نتایج حاصل از مطالعه حاضر استفاده از خشک‌کن انجمادی در اولویت است اما از آنجا که این یک فرآیند گران‌قیمت است، می‌توان استفاده از خشک‌کن هوای داغ را جایگزین نمود. پیشنهاد این مطالعه، بررسی و مطالعه بیشتر در استفاده از خشک‌کن هوای داغ با پیش‌تیمارها جهت حفظ کیفیت تغذیه‌ای و خاصیت آنتی‌اکسیدانی محصولات خشک شده است.

• References

1. Mardani A, Taghavifar H. An overview on energy inputs and environmental emissions of grape production in West Azerbayjan of Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016;54:918-24.
2. Xiao H-W, Pang C-L, Wang L-H, Bai J-W, Yang W-X, Gao Z-J. Drying kinetics and quality of Monukka seedless grapes dried in an air-impingement jet dryer. Biosystems Engineering. 2010;105(2):233-40.
3. Doymaz I. Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. Journal of Food Engineering. 2006;76(2):212-7.
4. Rawson A, Tiwari B, Tuohy M, O'donnell C, Brunton N. Effect of ultrasound and blanching pretreatments on polyacetylene and carotenoid content of hot air and freeze dried carrot discs. Ultrasonics Sonochemistry. 2011;18(5):1172-9.
5. Karam MC, Petit J, Zimmer D, Djantou EB, Scher J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. Journal of Food Engineering. 2016;188:32-49.
6. Bhatta S, Stevanovic Janezic T, Ratti C. Freeze-drying of plant-based foods. Foods. 2020;9(1):87.
7. Amami E, Khezami W, Mezrigui S, Badwaik LS, Bejar AK, Perez CT, et al. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. Ultrasonics sonochemistry. 2017;36:286-300.
8. Wang L, Xu B, Wei B, Zeng R. Low frequency ultrasound pretreatment of carrot slices: Effect on the moisture migration and quality attributes by intermediate-wave infrared radiation drying. Ultrasonics Sonochemistry. 2018;40:619-28.
9. Fijalkowska A, Nowacka M, Wiktor A, Sledz M, Witrowa-Rajchert D. Ultrasound as a pretreatment method to improve drying kinetics and sensory properties of dried apple. Journal of Food Process Engineering. 2016;39(3):256-65.
10. Wang J, Xiao H-W, Ye J-H, Wang J, Raghavan V. Ultrasound pretreatment to enhance drying kinetics of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) slices: pros and cons. Food and bioprocess technology. 2019;12(5):865-76.
11. Shamaei S, EMAM DZ, MOINIE S. Modeling and optimization of ultrasound assisted osmotic dehydration of cranberry using response surface methodology. Journal of Agricultural Science and Technology. 2012; 14: 1523-1534.
12. Çoklar H, Akbulut M. Effect of sun, oven and freeze-drying on anthocyanins, phenolic compounds and antioxidant activity of black grape (*Ekşikara*)(*Vitis vinifera* L.). South African Journal of Enology and Viticulture. 2017;38(2):264-72.
13. Noshad M, Ghasemi P. Influence of freezing pretreatments on kinetics of convective air-drying and quality of grapes. Food Bioscience. 2020;38:100763.
14. M. Doroud MD, M. R. Nateghi. The Effect of Storage Temperatures on Physicochemical, Microbial and Sensory Properties of Lime Juice. Food Engineering Research. 2019;18 (67):15-28.
15. Kadam SU, Tiwari BK, O'Donnell CP. Effect of ultrasound pre-treatment on the drying kinetics of brown seaweed Ascophyllum nodosum. Ultrasonics sonochemistry. 2015;23:302-7.
16. Schössler K, Jäger H, Knorr D. Novel contact ultrasound system for the accelerated freeze-drying of vegetables. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2012;16:113-20.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1400.16.4.2.1]

17. Cao X, Zhang M, Mujumdar AS, Zhong Q, Wang Z. Effects of ultrasonic pretreatments on quality, energy consumption and sterilization of barley grass in freeze drying. Ultrasonics sonochemistry. 2018;40:333-40.

18. Korus A. Effect of preliminary processing, method of drying and storage temperature on the level of antioxidants in kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) leaves. LWT-Food Science and Technology. 2011;44(8):1711-6.

19. Carrera C, Ruiz-Rodríguez A, Palma M, Barroso CG. Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from grapes. Analytica chimica acta. 2012;732:100-4.

20. Awad T, Moharram H, Shaltout O, Asker D, Youssef M. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. Food research international. 2012;48(2):410-27.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1400.16.4.2.1]

Effects of Ultrasound Pretreatment on Physicochemical and Biophysical characteristics of Dried Grapes using Hot Air and Freeze Dryer

*Eslamy Z[1], Asefi N [*2], Kamyar S[3]*

1- M.Sc Student, Department of Food Science & Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

*2- *Corresponding author: Associate Prof, Department of Food Sciences, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. Email: n.asefi@iaut.ac.i*

3- PhD, Department of Food Science & Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Received 25 May, 2021 **Accepted 21 Jan, 2021**

Background and Objectives: Drying of grapes as one of the agricultural strategic products in Iran makes different challenges such as fruit color change, spoilage and contamination and time consumption of the drying process. In this study, effects of ultrasound pretreatment at two frequencies of 40 and 59 kHz on physicochemical and biophysical quality of dried grapes have been investigated using hot air and freeze dryer as the most appropriate dryer for drying fruits.

Materials & Methods: Experimental sample drying was carried out in hot air dryer with temperature of 70 °C and air speed of 1.5 m/s and freeze dryer with pressure of 0.1 mbar using ultrasonic pretreatment process at three levels (without ultrasonic pretreatment and pretreatments at 40 and 59 kHz). Data were statistically analyzed using Design Expert Statistical Software and graphs were drawn using Excel 2013.

Results: Results showed that increasing ultrasonic frequency to 59 kHz and then drying with hot air until the product reached a moisture content of 5.5% based on the dry weight decreased the drying time (13 h), compared to the frequency of 40 kHz (drying time of 17 h) and the control sample (drying time of 18 h). In contrast, ultrasound included no effects on decreasing time in freeze drying. Moreover, ultrasonic pretreatment in the two types of dryers decreased the antioxidant activity (DPPH), compared to the control sample. Independent and interaction effects of the ultrasound pretreatment and dryer type on the EC50 of dried grape samples were significant at 99% probability level ($p < 0.01$). Dried samples in the freeze dryer included more desirable sensory characteristics than that the hot air dryer did. Hot air dryer included negatively significant effects on sensory characteristics at 99% probability level ($p < 0.01$).

Conclusion: Regarding antioxidant activity, less shrinkage and overall acceptability of sensory characteristics, samples dried in the freeze dryer with 59 kHz pretreatment were more desirable than the samples dried in hot-air dryer.

Keywords: Grapes, Ultrasonic pretreatment, Hot air-dryer, Freeze-dryer

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.17357756.1400.16.4.2.1]