

بهینه‌سازی خشک‌کردن میوه پرتقال در خشک‌کن هوای گرم با پیش‌تیمار ترکیبی آب‌گیری اسمزی و امواج فراصوت

رحمان رشادت^۱، محمد هادی خوش تقاضا^{۲*} و زهره حمیدی اصفهانی^۳

چکیده

پرتقال یکی از مهم‌ترین گونه‌های مرکبات است که از نظر اقتصادی و صنعتی اهمیت زیادی دارد. هدف از این پژوهش خشک‌کردن پرتقال با پیش‌تیمار ترکیبی محلول اسمزی و امواج فراصوت به منظور کاهش زمان خشک‌کردن و بهبود کیفیت محصول خشک‌شده است. در این تحقیق از خشک‌کن هوای گرم به منظور بررسی و بهینه‌سازی زمان خشک‌کردن، قابلیت جذب مجدد آب نمونه‌های خشک‌شده و شاخص چروکیدگی نمونه‌های خشک‌شده ورقه‌های برش‌خورده پرتقال استفاده شد. پیش‌تیماری نمونه‌ها در محلول اسمزی با میزان بریکس در سه سطح ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه و زمان فراصوت در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه در حمام فراصوت صورت گرفت. برای خشک‌کردن محصول پیش‌تیمار شده، سه سطح دمایی ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سلسیوس و سه سطح سرعت هوای گرم ۱، ۱/۵ و ۲ متربرثانه در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت محلول اسمزی از ۱۵ به ۴۵ بریکس و زمان اعمال فراصوت از ۱۰ به ۳۰ دقیقه، زمان کلی فرآیند خشک‌کردن و همچنین شاخص چروکیدگی محصول کاهش یافت. جذب مجدد آب نمونه‌های خشک‌شده به متغیرهای مستقل زمان اعمال فراصوت و غلظت محلول اسمزی وابسته بود ($P < 0/01$). غلظت محلول اسمزی با میزان بریکس ۱۵ و اعمال امواج فراصوت در ۳۰ دقیقه، میزان بازجذب آب را به بهترین حالت (۹/۸) افزایش داد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی نشان داد که نقطه بهینه با بیشترین شاخص مطلوبیت (۰/۸۰۸) در تیمار مدت زمان اعمال امواج فراصوت ۳۰ دقیقه، میزان بریکس ۴۵ محلول اسمزی، دمای هوای خشک‌کن ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای خشک‌کن ۱/۰۷ متربرثانه اتفاق افتاد.

واژه‌های کلیدی: امواج فراصوت، بریکس، بازجذب آب، حمام فراصوت، چروکیدگی سطحی، محلول اسمزی.

ارجاع: رشادت ر. خوش تقاضا م. ه. و حمیدی اصفهانی ز. ۱۴۰۲. بهینه‌سازی خشک‌کردن میوه پرتقال در خشک‌کن هوای گرم با پیش‌تیمار ترکیبی آب‌گیری اسمزی و امواج فراصوت. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۷: ۱۱۵-
<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.14087.620> ۱۲۶

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳- استاد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

* نویسنده مسئول: khoshtag@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۹

مقدمه

گیاهان و میوه‌ها از جمله منابع سرشار از مواد سودمند غذایی و دارویی هستند که در صنایع مختلف کاربرد فراوانی دارند. بیشتر گیاهان و میوه‌ها در طول سال در دسترس نیستند، لذا یکی از روش‌های حفظ کردن آن‌ها نگهداری در انبار است. اما برخی از این محصولات حتی با وجود انبارداری نیز پس از مدت کوتاهی در انبار فاسد شده و غیرقابل مصرف می‌شوند. یکی دیگر از روش‌هایی که برای افزایش طول عمر نگهداری میوه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، خشک‌کردن آن‌هاست. خشک‌کردن، کیفیت میوه‌ها را به طور چشم‌گیری در طول انبارداری حفظ می‌کند. رطوبت موجود در میوه‌ها و گیاهان یکی از عوامل اصلی فساد زودهنگام آن‌ها است بر همین اساس در طول فرآیند خشک‌کردن رطوبت آن‌ها را می‌گیرند که تا جایی که بتوان محصول را طی مدتی طولانی نگهداری کرد.

مرکبات از محبوب‌ترین محصولات میوه‌ای جهان محسوب می‌شوند که با دارا بودن انواع فیتوکمیکال‌ها، می‌توانند از سلامتی انسان محافظت کنند. علاوه بر آن، منبع مناسبی از ویتامین C، اسید فولیک، پتاسیم و پکتین نیز به حساب می‌آیند (Rafiq et al., 2018). بر اساس آخرین آمار منتشر شده از سوی سازمان خواربار کشاورزی جهانی (FAO) ۵۰ درصد از میزان تولید مرکبات در سال ۲۰۲۱ مربوط به میوه پرتقال است (FAO, 2021).

فرآیند خشک‌کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری محصولات کشاورزی است. این فرآیند مبتنی بر حذف رطوبت محصول به وسیله فرآیندهای پیچیده‌ای است که در آن انتقال همزمان جرم و حرارت رخ می‌دهد (Meziane, 2011). از مزایای خشک‌کردن محصولات غذایی و کشاورزی علاوه بر جلوگیری از ضایعات شیمیایی در آن، کاهش هزینه نگهداری و حمل و نقل است.

روش‌ها و پیش‌ تیمارهای مختلفی در خشک‌کردن مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از امواج فراصوت به عنوان پیش‌ تیمار نوین در خشک‌کردن مواد غذایی چندین سال است که مورد توجه قرار گرفته است. خشک‌کردن با فراصوت دارای اهمیت تجاری بالایی است. در این روش، نسبت به حالتی که از خشک‌کن‌های مرسوم استفاده می‌شود (در شرایط دمایی یکسان)، مواد غذایی با درصد رطوبت کمتری خشک می‌شوند (Dolatowski et al., 2007).

در پژوهشی، تأثیر پیش تیمار فراصوت در فرآیند خشک کردن برگه‌های هلو مورد مطالعه قرار گرفت و مدت زمان کل خشک‌کردن و جذب آب مجدد اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که پیش‌ تیماردهی با فراصوت سبب کاهش مدت زمان خشک‌شدن نمونه‌ها گردید، به طوری که نمونه پیش تیماردهی شده با فراصوت با مدت زمان ۳۰ دقیقه کم‌ترین زمان کل خشک‌شدن (۵۹/۶۹ درصد کاهش) را نسبت به نمونه شاهد داشت. نتایج حاصل از جذب آب مجدد نشان داد که میزان آب جذب شده، با افزایش زمان موج دهی با فراصوت، به طور معنی‌داری، در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافت (Nasrabadi & Rostam-Lo, 2018). استفاده از امواج فراصوت به‌عنوان یک پیش‌ تیمار قبل از خشک‌کردن، علاوه بر کاهش زمان خشک‌شدن، باعث کاهش نیروی لازم برای برش و لهیدگی نمونه‌ها گشته و اثر منفی بر رنگ نمونه‌ها نمی‌گذارد. بنابراین با نتایج به‌دست آمده پژوهش می‌توان استنباط کرد که استفاده از امواج فراصوت در خشک‌کردن برگه‌های هلو، کاهش هزینه، کاهش مصرف انرژی و افزایش کیفیت را به دنبال خواهد داشت (Yeganeh et al., 2019).

آب‌گیری اسمزی^۱ اخیراً به عنوان یک روش مؤثر برای نگهداری میوه‌ها و سبزیجات مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان یک روش ساده، فرآوری میوه‌ها و سبزیجات مانند موز، انجیر، پرتقال، آناناس، انبه، سیب، انگور، هویج، کدو و ... را با حفظ ویژگی‌های اولیه میوه مانند رنگ، عطر، بافت و ترکیبات تغذیه‌ای تسهیل می‌کند. پیش فرآیند اسمزی، صدمات ناشی از حرارت بر ویژگی‌های ظاهری و ارگانولپتیکی^۲ در میوه‌ها را کاهش می‌دهد و علاوه بر این با خارج کردن مقدار زیادی آب از داخل محصول باعث کاهش زمان خشک‌کردن می‌شود (Lenart, 1996).

مواد غذایی خشک‌شده اغلب قبل از مصرف در معرض جذب مجدد آب قرار می‌گیرند. لذا، فرآیند جذب مجدد آب یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای تعیین کیفیت محصولات خشک‌شده است (Crapo et al., 2010). به همین دلیل، مواد غذایی که تحت شرایط بهینه خشک می‌شوند، صدمه کمتری متحمل شده و سریع‌تر و کامل‌تر آب جذب می‌کنند (Lee et al., 2006). در طی

1 Osmotic Dehydration

2 Organoleptic

زمان کلی فرآیند خشک‌کردن، میزان بازجذب آب و چروکیدگی سطحی بود. برای ارزیابی تأثیر متغیرهای مستقل مربوط به فرآیند خشک‌کردن میوه پرتقال بر متغیرهای وابسته، از روش طرح مرکب مرکزی^۲ سطح پاسخ استفاده شد. تعداد تیمارها ۲۷ عدد بوده است که تعداد ۳ تکرار برای نقطه مرکزی ثبت شد و حاصل میانگین سه تکرار آزمایش برای هر تیمار در نظر گرفته شد.

تعدادی پرتقال تامسون ناول در پاییز ۱۴۰۰ از یکی از بازارهای میوه و تره‌بار تهران خریداری شده و در یخچال آزمایشگاه خواص بیوفیزیک محصولات کشاورزی، گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس نگهداری شد. به دلیل استفاده غذایی از محصول نهایی خشک‌شده، قسمت داخلی میوه پرتقال برای خشک‌کردن مدنظر بود. در این پژوهش برای ارزیابی عامل‌های سینتیکی و تهیه نمونه خشک، قسمت داخلی میوه پرتقال (گوشت میوه) به صورت ورقه‌های دایره‌ای و به ضخامت ۵ میلی‌متر برش داده شد و در دوره‌های خشک‌کردن مورد استفاده قرار گرفت. برای به دست آوردن رطوبت اولیه از روش وزنی استفاده شد. نمونه آماده پرتقال، توزین شده و این جرم به عنوان جرم تر اعلام گردید. برای خشک‌کردن نمونه پرتقال از اجاق با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در مدت زمان ۲۴ ساعت استفاده شد. خشک‌کردن در اجاق تا زمانی صورت گرفت که تغییر وزنی بین دو بار توزین مشاهده نشود (Sharifi et al., 2010). نمونه پس از خشک‌شدن توزین شد و وزن حاصل به عنوان وزن خشک در نظر گرفته شد. با در اختیار داشتن جرم ماده خشک و جرم محصول در فاصله‌های زمانی متوالی که اندازه‌گیری شده است، میزان رطوبت محصول در هر فاصله زمانی از معادله (۱) به دست آمد: (Seremet et al., 2015)

$$X_i = \frac{m_i - m_d}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

در این معادله، X_i درصد رطوبت بر پایه تر در فاصله زمانی t_i ، مقدار جرم محصول در فاصله زمانی t_i و m_d جرم خشک محصول که برحسب کیلوگرم است. رطوبت اولیه نمونه پرتقال تقریباً ۸۰ درصد بود. بنابراین خشک‌شدن تا زمانی که رطوبت محصول به ۲۰ درصد (بر پایه تر) برسد ادامه پیدا کرد.

خشک‌کردن مواد غذایی، چروکیدگی به طور مداوم اتفاق می‌افتد، بنابراین، چروکیدگی هم روی بافت و هم روی کیفیت محصول تأثیرگذار است (Wu et al., 2015). به منظور کاهش چروکیدگی در ساختار ماده باید عوامل زیادی از قبیل رطوبت نسبی هوا، سرعت خروج آب، دمای خشک‌کردن، پیش تیمار کردن، ابعاد و مقدار ماده در طی فرآیند خشک کردن کنترل شوند (Shen et al., 2016a, 2016b). هدف از این پژوهش بهینه‌سازی خشک‌کردن میوه پرتقال با خشک‌کن هوای داغ به منظور کاهش زمان فرآیند خشک‌کردن، اندازه‌گیری میزان بازجذب آب و اندازه‌گیری چروکیدگی سطحی نمونه خشک‌شده با استفاده از پیش تیمار ترکیبی فراصوت و آب‌گیری اسمزی است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی تأثیر نوع خشک‌کن و عامل‌های خشک‌کردن و همچنین پیش تیمارهای مدنظر بر روی خواص فیزیکی پرتقال، از خشک‌کن هوای گرم به همراه پیش تیمارهای فراصوت و آب‌گیری اسمزی استفاده شد تا با استفاده از نتایج آن الگویی از شرایط بهینه خشک‌کردن پرتقال پیشنهاد شود که کمترین تغییرات در خواص فیزیکی پرتقال در طی فرآیند خشک‌کردن صورت پذیرد. هدف از بهینه‌سازی به دست آوردن شرایطی است که در آن متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها) به هدف مدنظر نزدیک‌تر باشد. در این بخش از پژوهش، برای بهینه‌سازی شرایط خشک‌کردن و پیش تیمارها، در نرم افزار Design Expert11 از روش سطح پاسخ^۱ استفاده شد. با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش یافته و کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها قابل برآورد هستند (Lou et al., 2009). در ادامه از خشک‌کن هوای گرم لایه نازک با دماهای ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سلسیوس با سرعت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه استفاده شد. برای پیش تیمار فراصوت، متغیر زمان در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و برای پیش تیمار آب‌گیری اسمزی، متغیر بریکس در سه سطح ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه بریکس تعیین گردیدند. در جدول (۱) متغیرهای مستقل مورد بررسی برای این پژوهش نشان داده شده است. این شرایط پیش تیماری و خشک‌کردن برای به دست آوردن

جدول ۱- متغیرهای مستقل پیش‌ تیماری و فرآیند خشک‌کردن

خشک‌کن هوای گرم		محلول اسمزی		حمام فراصوت	
دما (درجه سلسیوس)	سرعت (متر بر ثانیه)	بریکس	زمان (دقیقه)	سطوح	زمان (دقیقه)
۷۰	۱	۱۵	۱۰	۱	۱۰
۸۰	۱/۵	۳۰	۲۰	۲	۲۰
۹۰	۲	۴۵	۳۰	۳	۳۰

قسمت‌های مختلف خشک‌کن مورد استفاده عبارت بودند از: ۱- دریچه کنترل جریان هوا و فن گریز از مرکز، ۲- اتاقک هوای گرم و محفظه گرم‌کن‌ها، ۳- سینی مشبک محصول، ۴- دوربین تصویربرداری دیجیتال، ۵- ترازوی دیجیتال ۶- دریچه دسترسی به نمونه‌ها و ۷- رایانه که برای ذخیره مقادیر وزنی است (شکل ۲).



شکل ۱- دستگاه حمام فراصوت



شکل ۲- اجزای مختلف خشک‌کن هوای گرم لایه نازک

قبل از شروع آزمایش‌ها، خشک‌کن به مدت ۱/۵ ساعت به‌منظور دسترسی به یک وضعیت دمایی پایدار راه‌اندازی شد. به‌منظور اطمینان از قابلیت بالای انبارداری نمونه‌ها، خشک‌کردن نمونه تا جایی ادامه یافت که وزن نمونه داخل سینی به وزن اولیه نمونه از پیش تعیین‌شده (۲۰ درصد بر پایه تر) برسد. برای به دست آوردن چروکیدگی سطحی نمونه مدنظر باید مساحت نمونه قبل و بعد از خشک‌شدن در اختیار باشد تا بتوان از طریق معادله (۲) میزان چروکیدگی محصول را به دست آورد (Fartash *et al.*, 2018).

$$S = \frac{A_t}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

برای پیش تیمار آب‌گیری اسمزی، محلول اسمزی با مخلوط کردن شکر خوراکی و آب مقطر با غلظت‌های مورد نظر تهیه شد. این آزمایش‌ها در بشرهای یک لیتری جداگانه که حاوی محلول اسمزی با نسبت ۴ به ۱ مایع به میوه (بر اساس وزن) بود انجام شد تا از تداخل نمونه‌ها جلوگیری شود (Fernandes *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2006; Teles *et al.*, 2006). نمونه‌های آماده‌سازی شده پرتقال با توجه به پژوهش‌های انجام شده در این زمینه در محلول اسمزی ساکارز با بریکس ۱۵، ۳۰ و ۴۵ به مدت ۱/۵ ساعت غوطه‌ور شدند.

برای اعمال امواج فراصوت از دستگاه حمام فراصوت^۱ (Ultrasons-H, Model 3000839-Spain) استفاده شد که قادر به تولید امواج فراصوت با فرکانس ۵۰ کیلوهرتز و توان ۱۰۰۰ وات بود (شکل ۱). نمونه‌های آماده‌سازی شده پرتقال در حمام فراصوت به مدت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه قرار داده شدند. به دلیل اینکه حمام فراصوت باید فقط از آب مقطر پر می‌شد نمونه‌ها در بشرهایی که از محلول اسمزی پر شده بود قرار گرفت و این بشرها در داخل حمام فراصوت پر شده از آب مقطر قرار گرفتند و همچنین اجازه تداخل آب مقطر و محلول اسمزی داخل بشر داده نشد تا غلظت محلول اسمزی ثابت مانده و تغییر نکند.

آزمایش‌ها در دمایی معمولی محیط در حمام فراصوت انجام شد. میزان دما در طول آزمایش‌ها با استفاده از دماسنج اندازه‌گیری شده و این میزان در صورت افزایش، توسط تکه‌های یخ ثابت نگه‌داشته شد. پس از درآوردن نمونه‌ها از محلول، نمونه‌ها با آب مقطر شستشوی سطحی داده شده و با کاغذ جاذب، محلول اضافی سطح آن حذف گردید. در این پژوهش برای خشک‌کردن نمونه‌های پرتقال از خشک‌کن هوای گرم لایه نازک آزمایشگاهی، ساخته‌شده در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس استفاده شد (Behrouzi Khazaei *et al.*, 2013).

فراصوت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار هستند. همچنین اثر توان دوم بریکس محلول اسمزی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار است.

با استفاده از روش سطح پاسخ، مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای تخمین زمان کلی فرآیند خشک کردن، با تغییر در میزان مقادیر متغیرهای مستقل، به صورت اعداد واقعی (Actual Equation) انتخاب شد. مدل پیشنهاد شده، یک تابع چندجمله‌ای درجه دوم به صورت معادله (۴) حاصل گردید ($R^2 = 99.05\%$):

$$\text{Time} = +293.80 - (6.05 \times A) - 1.15 \times B - (3.94 \times C) - (0.19 \times D) - (0.03 \times AB) + (0.12 \times A^2) \quad (4)$$

همچنین علاوه بر مدل واقعی مدل کدگذاری شده نیز در معادله (۵) آمده است:

$$\text{Time} = +156.56 - (21.89 \times A) - (12.78 \times B) - (4.22 \times C) - (2.11 \times D) - (5.00 \times AB) + (14.67 \times A^2) \quad (5)$$

امواج فراصوت با آزاد کردن آب میان سلولی باعث سریع‌تر شدن خروج رطوبت از نمونه گردیده در نتیجه باعث کاهش زمان خشک شدن و به تبع آن کاهش زمان قرارگیری نمونه در معرض هوای خشک‌کن می‌گردند. همچنین امواج فراصوت حفره‌هایی در بافت محصول ایجاد می‌کنند که این حفره‌ها توسط مواد جامد درون محلول اسمزی پر می‌شود. بنابراین هرچقدر غلظت محلول اسمزی بیشتر باشد مواد جامد داخل محلول بیشتر شده و حفره‌های بیشتری پر می‌شود که از چروکیدگی شدن محصول جلوگیری می‌کند. این نتایج با گزارش سایر محققین (Lopez et al., 2000) مطابقت دارد.

نتایج تجزیه واریانس اثرات متغیرهای مختلف (زمان فراصوت (A)، اثر بریکس محلول اسمزی (B)، سرعت هوا (C) و دمای هوای خشک‌کن (D)) بر روی بازجذب آب در جدول ۳ آورده شده است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدل معنی‌دار شده و عدم برازش معنی‌دار نشده است و بنابراین انتخاب مدل و تحلیل‌ها قابل استناد و معتبر است. اثر عوامل زمان اعمال فراصوت، بریکس محلول اسمزی، اثر متقابل زمان اعمال فراصوت و بریکس محلول اسمزی و همچنین اثر توان دوم زمان اعمال فراصوت در سطح احتمال ۱٪ و اثر متغیر دمای هوای خشک‌کن در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار هستند.

با استفاده از روش سطح پاسخ، مدل چند جمله‌ای درجه دوم کامل برای تخمین بازجذب آب، با تغییر در میزان

در این معادله، S درصد چروکیدگی سطحی، A_t مساحت محصول در لحظه t (بعد از خشک شدن). A_0 مساحت محصول قبل از خشک شدن هستند. برای به دست آوردن مساحت قبل و بعد نمونه خشک شده از بخش پردازش تصویر نرم‌افزار MATLAB R2010a استفاده شد. تصویر نمونه قبل و بعد از خشک شدن که در شکل ۳ یک نمونه از آن آمده است به نرم‌افزار داده شد.



شکل ۳- ورقه‌های پرتقال (الف) در حالت قبل و (ب) بعد از خشک کردن

نمونه‌های خشک شده پرتقال در دمای محیط قرار داده شدند تا به تعادل دمایی برسند. بررسی امکان بازجذب آب نمونه‌های خشک شده نیز با غوطه‌ور کردن نمونه‌های خشک شده در بشرهای پر شده از آب مقطر به مدت ۲ ساعت انجام گرفت. نسبت مایع به محصول نیز در این مورد به میزان ۱۰ به ۱ انتخاب شد (Patil et al., 2019). قابلیت بازجذب آب نمونه‌های خشک شده از معادله (۳) به دست می‌آید (Sohrabi et al., 2021):

$$Rr = \frac{m_r}{m_e} \quad (3)$$

در این معادله، Rr ، نسبت مقدار آب جذب شده در محصول به مقدار جرم اولیه. m_r ، جرم نمونه خشک شده پس از جذب آب (گرم)، m_e ، جرم نمونه خشک شده پیش از جذب آب (گرم) است.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثرات متغیرهای مختلف بر زمان کلی فرآیند خشک کردن در جدول ۲ آورده شده است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدل، معنی‌دار شده و عدم برازش معنی‌دار نشده است و بنابراین انتخاب مدل و تحلیل‌ها قابل استناد و معتبر هستند. اثر عوامل زمان اعمال فراصوت، بریکس محلول اسمزی، سرعت و دمای هوای خشک‌کن، اثر متقابل زمان اعمال فراصوت و بریکس محلول اسمزی و اثر توان دوم زمان اعمال

(Fernandes *et al.*, 2009; Fernandes and Rodrigues, 2007) که به ترتیب به بررسی اثر آب‌گیری اسمزی به کمک فراصوت بر روی ساختار سلولی ساپوتا و آناناس پرداخته بودند، تأیید کننده نتایج این تحقیق‌اند. نتایج تجزیه واریانس اثرات متغیرهای مختلف (زمان اعمال فراصوت (A)، اثر بریکس محلول اسمزی (B)، سرعت هوا (C) و دمای هوای خشک‌کن (D)) بر روی چروکیدگی سطحی در جدول ۴ آورده شده است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدل معنی‌دار شده و عدم برازش معنی‌دار نشده است و بنابراین انتخاب مدل و تحلیل‌ها قابل استناد و معتبر است. اثر عوامل زمان اعمال فراصوت، بریکس محلول اسمزی، سرعت هوای خشک‌کن، اثر متقابل زمان اعمال فراصوت و بریکس محلول اسمزی و همچنین اثر توان دوم زمان اعمال فراصوت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار هستند.

مقادیر متغیرهای مستقل، به صورت اعداد واقعی (Actual Equation) انتخاب شد. به منظور مدل کردن بازجذب آب بنا به پیشنهاد نرم‌افزار از تابع درجه دوم استفاده شد. مدل واقعی پیشنهاد شده، یک تابع چندجمله‌ای درجه دوم به صورت معادله (۶) است ($R^2=97/40$):

$$\text{Water reabsorption} = +3.63 + (0.35 \times A) - (0.004 \times B) - (0.008 \times C) - (0.012 \times D) - (0.001 \times AB) + (0.005 \times A^2) \quad (6)$$

همچنین علاوه بر مدل واقعی مدل کدگذاری شده نیز در معادله (۷) آمده است:

$$\text{Water reabsorption} = +8.53 + (0.9334 \times A) - (0.4629 \times B) + (0.1244 \times D) - (0.1975 \times AB) - (0.5456 \times A^2) \quad (7)$$

امواج فراصوت باعث شکستن و تخریب دیواره‌های سلولی شده و آب میان سلولی را آزاد می‌کند تا برای تبخیر شدن در دسترس‌تر باشد و محلول اسمزی نیز باعث یک آب‌گیری جزئی قبل از خشک‌کردن و در نهایت باعث کاهش زمان خشک‌کردن می‌شوند. نتایج پژوهش

جدول ۲- جدول تحلیل واریانس مدل رگرسیونی درجه دوم برای زمان کلی فرآیند خشک‌کردن

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P
مدل	۱۴	۱۳۷۱۲/۹۷	۹۷۹/۵	۱۶۰/۹۵**	<۰/۰۰۰۱
A	۱	۸۶۲۴/۲۲	۸۶۲۴/۲۲	۱۴۱۷/۱۴**	<۰/۰۰۰۱
B	۱	۲۹۳۸/۸۹	۲۹۳۸/۸۹	۴۸۲/۹۲**	<۰/۰۰۰۱
C	۱	۳۲۰/۸۹	۳۲۰/۸۹	۵۲/۷۳**	<۰/۰۰۰۱
D	۱	۸۰/۲۲	۸۰/۲۲	۱۳/۱۸**	<۰/۰۰۳۴
A × B	۱	۴۰۰	۴۰۰	۶۵/۷۳**	<۰/۰۰۰۱
A × C	۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۸۴
A × D	۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۸۴
B × C	۱	۴	۴	۰/۶۶ ^{ns}	۰/۴۳
B × D	۱	۰	۰	۰ ^{ns}	۱
C × D	۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۸۴
A ²	۱	۳۷۰/۲۹	۳۷۰/۲۹	۶۰/۸۵**	<۰/۰۰۰۱
B ²	۱	۴۱/۱۴	۴۱/۱۴	۶/۷۶*	۰/۰۲
C ²	۱	۰	۰	۰ ^{ns}	۱
D ²	۱	۰	۰	۰ ^{ns}	۱
باقی‌مانده	۱۲	۷۳/۰۳	۶/۰۹		
عدم برازش	۱۰	۷۱/۰۳	۷/۱	۷/۱۰ ^{ns}	۰/۱۳
خطا	۲	۲	۱		
کل	۲۶	۱۳۷۸۶			

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ns عدم معنی‌داری

(A) زمان اعمال فراصوت، (B) بریکس محلول اسمزی، (C) سرعت هوای خشک‌کن و (D) دمای هوای خشک‌کن.

جدول ۳- جدول تحلیل واریانس مدل رگرسیونی درجه دوم برای بازجذب آب

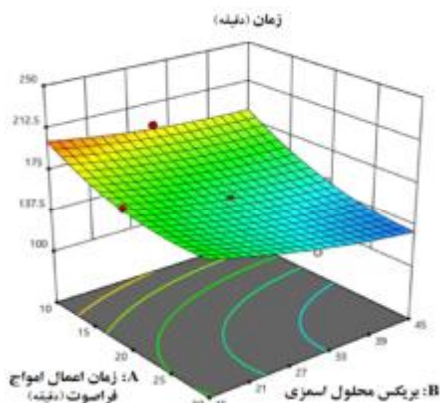
منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P
مدل	۱۴	۲۲/۳۶	۱/۶	۴۱/۰۱ ^{**}	<۰/۰۰۰۱
A	۱	۱۵/۶۸	۱۵/۶۸	۴۰۲/۸۲ ^{**}	<۰/۰۰۰۱
B	۱	۳/۸۶	۳/۸۶	۹۹/۰۶ ^{**}	<۰/۰۰۰۱
C	۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۸۵ ^{ns}	۰/۹۲۸۲
D	۱	۰/۲۷۸۸	۰/۲۷۸۸	۷/۱۶ [*]	۰/۰۲۰۲
A × B	۱	۰/۶۲۴۱	۰/۶۲۴۱	۱۶/۰۳ ^{**}	۰/۰۰۱۸
A × C	۱	۰/۰۴۷۳	۰/۰۴۷۳	۱/۲۲ ^{ns}	۰/۲۹۲۰
A × D	۱	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۷۷	۰/۱۹۸۹ ^{ns}	۰/۶۶۳۶
B × C	۱	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۴۵	۰/۱۱۵۳ ^{ns}	۰/۷۴۰۱
B × D	۱	۰/۰۲۷۴	۰/۰۲۷۴	۰/۷۰۳۵ ^{ns}	۰/۴۱۸۰
C × D	۱	۰/۰۱۵۶	۰/۰۱۵۶	۰/۴۰۱۳ ^{ns}	۰/۵۳۸۳
A ²	۱	۰/۵۹۹۰	۰/۵۹۹۰	۱۵/۳۸ ^{**}	۰/۰۰۲۰
B ²	۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۳۶ ^{ns}	۰/۹۰۹۰
C ²	۱	۰/۰۰۶۰	۰/۰۰۶۰	۰/۱۵۳۰ ^{ns}	۰/۷۰۲۶
D ²	۱	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۹۵	۰/۲۴۲۸ ^{ns}	۰/۶۳۱۱
باقی‌مانده	۱۲	۰/۴۶۷۲	۰/۰۳۸۹		
عدم برازش	۱۰	۰/۴۵۶۹	۰/۰۴۵۷	۸/۸۵ ^{ns}	۰/۱۰۵۷
خطا	۲	۰/۰۱۰۳	۰/۰۰۵۲		
کل	۲۶	۲۲/۸۲			

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ns عدم معنی‌داری
(A) زمان اعمال فراصوت ، (B) بریکس محلول اسمزی ، (C) سرعت هوای خشک‌کن و (D) دمای هوای خشک‌کن.

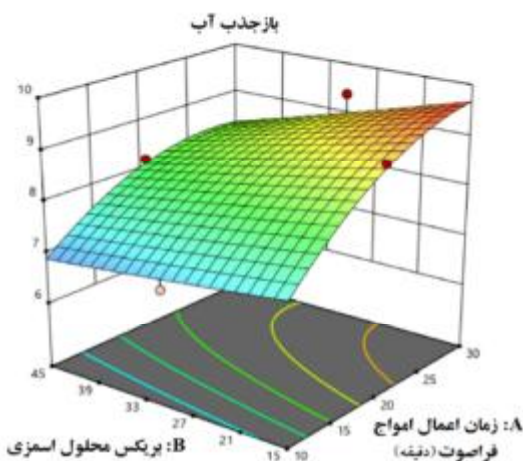
جدول ۴- جدول تحلیل واریانس مدل رگرسیونی درجه دوم برای چروکیدگی سطحی

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P
مدل	۱۴	۲۶۸/۵	۱۹/۱۸	۴۵/۱۵ ^{**}	<۰/۰۰۰۱
A	۱	۱۴۱/۶۳	۱۴۱/۶۳	۳۳۳/۳۹ ^{**}	<۰/۰۰۰۱
B	۱	۸۵/۰۹	۸۵/۰۹	۲۰۰/۳۱ ^{**}	<۰/۰۰۰۱
C	۱	۵/۴	۵/۴	۱۲/۷۲ ^{**}	۰/۰۰۳۹
D	۱	۱/۸۴	۱/۸۴	۴/۳۳ ^{ns}	۰/۰۰۸
A × B	۱	۲۰/۳۷	۲۰/۳۷	۴۷/۹۴ ^{**}	<۰/۰۰۰۱
A × C	۱	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱۸ ^{ns}	۰/۹۷
A × D	۱	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۳۵ ^{ns}	۰/۹۵
B × C	۱	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۷۰ ^{ns}	۰/۴۲
B × D	۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۷ ^{ns}	۰/۹۷
C × D	۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۴۰ ^{ns}	۰/۹۵
A ²	۱	۱/۶۷	۱/۶۷	۳/۹۲ ^{ns}	۰/۰۰۷
B ²	۱	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۳۵ ^{ns}	۰/۵۶
C ²	۱	۰/۶۶	۰/۶۶	۱/۵۵ ^{ns}	۰/۲۴
D ²	۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۶۸
باقی‌مانده	۱۲	۵/۱	۰/۴۲		
عدم برازش	۱۰	۴/۹۵	۰/۵۰	۶/۷۱ ^{ns}	۰/۱۳
خطا	۲	۰/۱۵	۰/۰۷		
کل	۲۶	۲۷۳/۶			

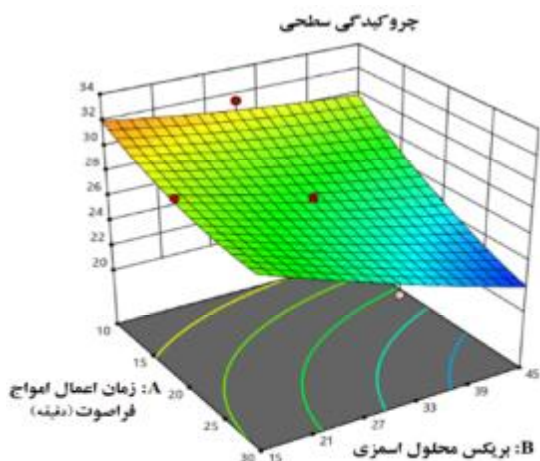
** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ns عدم معنی‌داری
(A) زمان اعمال فراصوت ، (B) بریکس محلول اسمزی ، (C) سرعت هوای خشک‌کن و (D) دمای هوای خشک‌کن.



شکل ۴- نمودار سطح پاسخ زمان خشک‌کردن به ازای زمان فراصوت و بریکس محلول اسمزی



شکل ۵- نمودار سطح پاسخ بازجذب آب به ازای زمان فراصوت و بریکس محلول اسمزی



شکل ۶- نمودار سطح پاسخ چروکیدگی سطحی به ازای زمان فراصوت و بریکس محلول اسمزی

با استفاده از روش سطح پاسخ، مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای تخمین چروکیدگی سطحی، با تغییر در میزان مقادیر متغیرهای مستقل، به صورت اعداد واقعی (Actual Equation) انتخاب شد. به منظور مدل کردن چروکیدگی سطحی بنا به پیشنهاد نرم‌افزار از تابع درجه دوم استفاده شد. مدل واقعی پیشنهاد شده، یک تابع چندجمله‌ای درجه دوم به صورت معادله (۸) است:

$$\text{Shrinkage} = +37.88 - (0.05 \times A) + (0.005 \times B) - (1.09 \times C) - (0.031 \times D) - (0.007 \times AB) + (0.005 \times A^2) \quad (8)$$

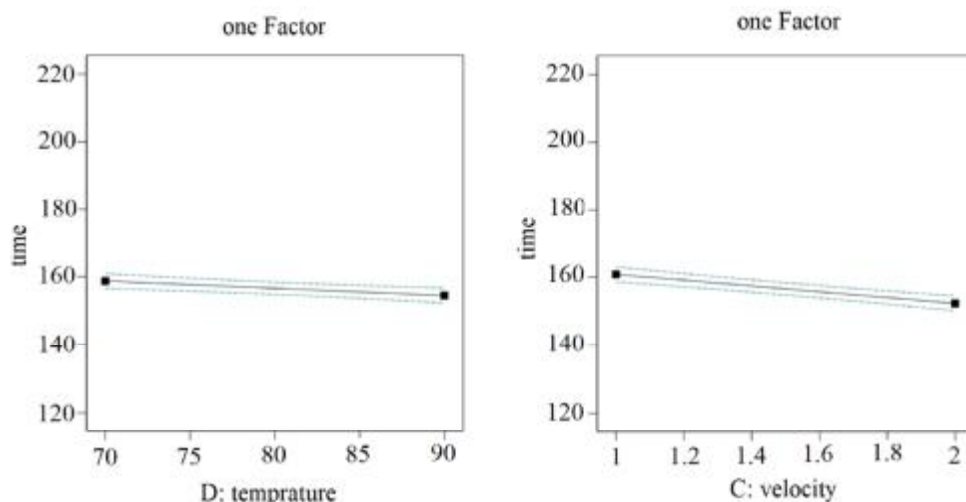
همچنین علاوه بر مدل واقعی مدل کدگذاری شده نیز در معادله (۹) آمده است:

$$\text{Shrinkage} = +27.29 - (2.81 \times A) - (2.17 \times B) - (.5478 \times C) - (0.3195 \times D) - (1.13 \times AB) + (1.42 \times A^2) \quad (9)$$

از آنجا که امواج فراصوت باعث ایجاد تخلخل در محصول می‌شود، حفره‌هایی درون محصول ایجاد می‌شود که این حفره‌ها برای جذب مجدد آب مؤثر هستند و بازجذب آب را افزایش می‌دهند. از طرف دیگر مواد جامد درون محلول اسمزی به داخل برخی از این حفره‌ها نفوذ کرده و آنها را پر می‌کنند تا باعث کاهش جذب مجدد آب شوند. نتایج به دست آمده در این بخش با نتایج پژوهش (Fernandes *et al.*, 2009; Fernandes & Rodrigues, 2007) همخوانی دارد.

همان‌گونه که از جداول تحلیل واریانس مشخص است تنها اثرات متقابل زمان اعمال امواج فراصوت (A) و بریکس محلول اسمزی (B) بر روی متغیرهای مستقل (زمان کلی خشک‌کردن، بازجذب آب و چروکیدگی سطحی) اثرگذار بوده است. بنابراین نمودار سطح پاسخ اثرات متقابل AB بر روی هر سه پاسخ در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ آمده است. برای رسم نمودارهای سطح پاسخ اثرات متقابل زمان اعمال امواج فراصوت (A) و بریکس محلول اسمزی (B) متغیر مستقل سوم و چهارم (سرعت هوای خشک‌کن و دمای هوای خشک‌کن) در حد وسط ثابت شدند.

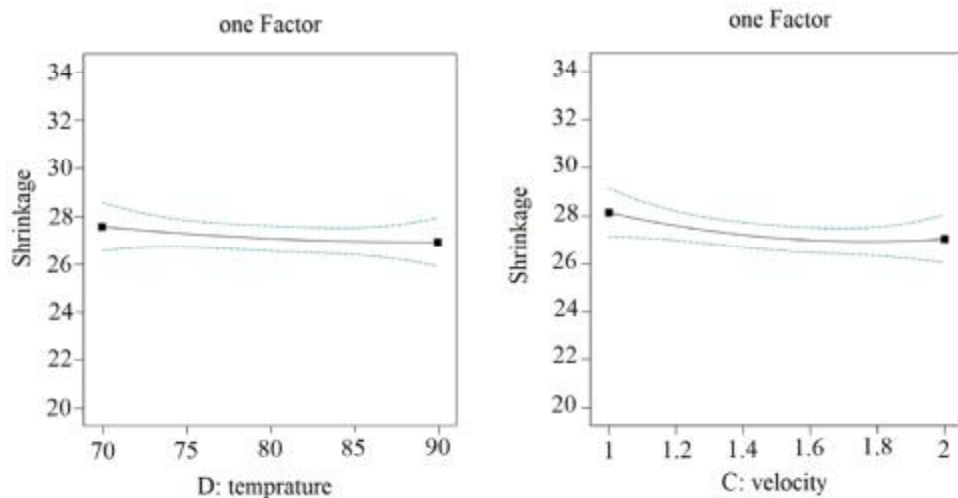
همچنین تأثیر متغیرهای مستقل سرعت هوای خشک‌کن (C) و دمای هوای خشک‌کن (D) بر روی متغیرهای پاسخ به صورت نمودارهای اثرات اصلی^۱ نیز در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ آمده است.



شکل ۷- اثرات اصلی سرعت (C) و دمای هوای خشک کن (D) بر زمان خشک شدن

تأثیر کاهشی کمی که بر روی زمان گذاشته است، مشخص می‌شود که تأثیر سرعت و دمای هوای خشک‌کن بر روی زمان بسیار کم است.

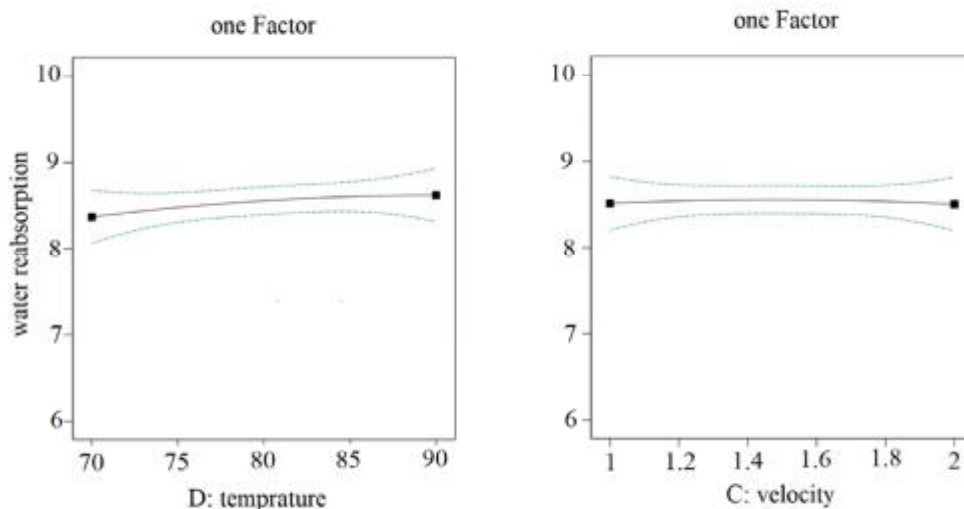
در شکل ۷ نمودار متغیر وابسته (زمان) به ازای تغییرات سرعت و دمای هوای خشک‌کن به صورت دو بعدی دیده می‌شود. با توجه به شیب متغیر سرعت و دما



شکل ۸- اثرات اصلی سرعت (C) و دمای هوای خشک کن (D) بر چروکیدگی سطحی

خشک‌کن بر تغییرات بازجذب آب در شکل ۹ آورده شده است. با توجه به تغییرات تدریجی دو متغیر سرعت و دما و تأثیر افزایشی کمی که بر روی بازجذب آب گذاشته است مشخص می‌شود که تأثیر این دو متغیر بر روی چروکیدگی سطحی نسبت به دو متغیر مستقل دیگر (فراصوت و بریکس محلول اسمزی) بسیار کم است

اثر متغیرهای سرعت و دمای هوای خشک‌کن بر چروکیدگی سطحی در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به شیب بسیار کم دو متغیر سرعت و دما و تأثیر کاهشی کمی که بر روی چروکیدگی سطحی گذاشته است مشخص می‌شود که تأثیر این دو متغیر بر روی چروکیدگی سطحی نسبت به دو متغیر مستقل دیگر (فراصوت و بریکس محلول اسمزی) بسیار کم است. همچنین اثرات اصلی سرعت و دمای هوای



شکل ۹- اثرات اصلی سرعت (C) و دمای هوای خشک‌کن (D) بر بازجذب آب

دمای هوای خشک‌کن ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای خشک‌کن ۱/۰۷ متر بر ثانیه توسط نرم‌افزار تعیین شده است.

در جدول ۵ نقاط بهینه متغیرهای مستقل در فرآیند خشک‌کردن، نشان داده شده است. نقطه بهینه با بیشترین شاخص مطلوبیت در مدت زمان اعمال امواج فراصوت ۳۰ دقیقه و میزان بریکس ۴۵ محلول اسمزی،

جدول ۵- نقاط بهینه متغیرهای مستقل در فرآیند خشک‌کردن با توجه به شرایط مرزی و وزن‌دهی

مطلوبیت	چرب‌گی	بازجذب آب	زمان کلی فرآیند خشک‌کردن (min)	دمای هوای خشک‌کن (°C)	سرعت هوای خشک‌کن (m/s)	میزان بریکس محلول اسمزی	مدت زمان اعمال امواج فراصوت (min)	شماره
۰/۸۰۸	۳۳/۴۶۹	۸/۲۰۸	۱۳۸/۰۲۹	۷۰	۱/۰۷۱	۴۴/۹۹	۲۹/۹۹	۱
۰/۸۰۸	۲۳/۵۱۴	۸/۲۰۶	۱۳۸/۱۶۳	۷۰	۱/۰۵۷	۴۴/۹۹	۲۹/۹۹	۲
۰/۸۰۸	۲۳/۴۰۵	۸/۲۱۱	۱۳۷/۸۲۹	۷۰	۱/۰۹۳	۴۴/۹۹	۲۹/۹۹	۳
۰/۸۰۷	۲۳/۵۵۴	۸/۲۰۴	۱۳۸/۲۸۳	۷۰	۱/۰۴۵	۴۴/۹۹	۲۹/۹۹	۴
۰/۸۰۷	۲۳/۵۹۸	۸/۲۰۲	۱۳۸/۴۱۱	۷۰	۱/۰۳۱	۴۴/۹۹	۳۰	۵
۰/۸۰۷	۲۳/۶۱۷	۸/۲۰۱	۱۳۸/۴۶۷	۷۰	۱/۰۲۵	۴۴/۹۹	۲۹/۹۹	۶
۰/۸۰۷	۲۳/۳۳۴	۸/۲۱۵	۱۳۷/۶۰۳	۷۰	۱/۱۱۷	۴۴/۹۹	۳۰	۷
۰/۸۰۷	۲۳/۵۴۹	۸/۲۰۵	۱۳۸/۲۵۶	۷۰	۱/۰۴۸	۴۴/۹۹	۲۹/۹۶	۸
۰/۸۰۷	۲۳/۴۴۱	۸/۲۱۰	۱۳۷/۹۴۲	۷۰	۱/۰۸۰	۴۴/۹۹	۲۹/۹۹	۹
۰/۸۰۷	۲۳/۲۹۹	۸/۲۱۶	۱۳۷/۴۸۹	۷۰	۱/۱۲۹	۴۴/۹۹	۲۹/۹۹	۱۰

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی زمان کلی فرآیند خشک‌کردن پرتقال نشان داد که متغیرهای مؤثرتر بر این عامل، مدت زمان اعمال امواج فراصوت و میزان بریکس محلول اسمزی بودند. با افزایش زمان فراصوت از ۱۰ به ۳۰ دقیقه و همچنین با افزایش بریکس محلول اسمزی از ۱۵ به ۴۵، زمان کلی خشک کردن به میزان حدوداً ۴۰ درصد کاهش پیدا کرد. کمینه زمان خشک‌کردن ۱۲۳ دقیقه بود که در تیمار مدت زمان فراصوت ۳۰ دقیقه، میزان بریکس ۴۵، دمای ۹۰ درجه سلسیوس و سرعت ۲ متربرثانیه حاصل شد. نتایج ارزیابی و آزمایش‌ها نشان داد که میزان بریکس محلول اسمزی و مدت زمان اعمال فراصوت بیشترین تأثیر را بر روی شاخص چروکیدگی پرتقال در حین خشک‌کردن داشتند. روند تغییرات چروکیدگی نشان داد که افزایش میزان بریکس محلول اسمزی از ۱۵ به ۴۵ و مدت زمان اعمال فراصوت از ۱۰ به ۳۰ دقیقه یک عامل مثبت برای کاهش چروکیدگی بوده است و مقدار کمینه آن ۲۲/۶ بود که در مدت زمان فراصوت ۳۰ دقیقه، میزان بریکس ۴۵، دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت ۲ متربرثانیه حاصل گردید. نتایج ارزیابی نشان داد که متغیر بازجذب آب پرتقال خشک‌شده بیشتر به متغیرهای مستقل مدت زمان اعمال امواج فراصوت و میزان بریکس محلول اسمزی وابسته است. بنابراین مشاهده شد که با کاهش میزان بریکس از ۴۵ به ۱۵ و با افزایش مدت زمان اعمال امواج فراصوت از ۱۰ به ۳۰ دقیقه، بازجذب آب افزایش پیدا کرده است که بیشینه این مقدار ۹/۸ است. این مقدار در تیمار مدت زمان فراصوت ۳۰ دقیقه، میزان بریکس ۱۵، دمای خشک کن ۹۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۱ متربرثانیه حاصل شد.

منابع

- Fartash Naeimi, E., Khoshtaghaza, M. H., & Abbasi, S. (2018). Effect of gamma irradiation on surface shrinkage and rehydration ratio during drying of mushroom (*Agaricus bisporus*). *Iranian Journal of Food Sciences and Industries*, 15(82): 387-396. (In Persian).
- Fernandes, F. A. N., & Rodrigues, S. (2007). Ultrasound as pretreatment for drying of fruits: Dehydration of banana. *Journal of Food Engineering*, 82(2): 261-267.
- Fernandes, F. A., Gallão, M. I., & Rodrigues, S. (2009). Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*, 90(2): 186-190.
- Fernandes, F. A., Rodrigues, S., Gaspareto, O. C., & Oliveira, E. L. (2006). Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. *Journal of Food Engineering*, 77(1): 188-193.
- Khazaei, N. B., Tavakoli, T., Ghassemian, H., Khoshtaghaza, M. H., & Banakar, A. (2013). Applied machine vision and artificial neural network for modeling and controlling of the grape drying process. *Computers and Electronics in Agriculture*, 98: 205-213.
- Lee, K. T., Farid, M., & Nguang, S. K. (2006). The mathematical modelling of the rehydration characteristics of fruits. *Journal of Food Engineering*, 72(1): 16-23.
- Lenart, A. (1996). Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. *Drying Technology*, 14(2): 391-413.
- Lopez, A., Iguaz, A., Esnoz, A., & Virseda, P. (2000). Thin-layer drying behaviour of vegetable wastes from wholesale market. *Drying Technology*, 18(4-5): 995-1006.
- Lou, Z., Wang, H., Wang, D., & Zhang, Y. (2009). Preparation of inulin and phenols-rich dietary fibre powder from burdock root. *Carbohydrate Polymers*, 78(4): 666-671.
- Meziane, S. (2011). Drying kinetics of olive pomace in a fluidized bed dryer. *Energy Conversion and Management*, 52(3): 1644-1649.
- Nasrabadi, M.A., & Rostam-Lo, B. (2018). Investigating the effect of ultrasonic frequency on peach drying process. *The 6th International Conference on Applied Researches in Agricultural Sciences*, Tehran - Kharazmi University. (In Persian)
- Oliveira, I. M., Fernandes, F. A., Rodrigues, S., Sousa, P. H., Maia, G. A., & Figueiredo, R. W. (2006). Modeling and optimization of osmotic dehydration of banana followed by air drying. *Journal of Food Process Engineering*, 29(4): 400-413.
- Crapo, C., Oliveira, A. C., Nguyen, D., Bechtel, P. J., & Fong, Q. (2010). Development of a Method to Produce Freeze-Dried Cubes from 3 Pacific Salmon Species. *Journal of food science*, 75(5): E269-E275.
- Dolatowski, Z. J., Stadnik, J., & Stasiak, D. (2007). Applications of ultrasound in food technology. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6(3): 88-99.
- FAO [WWW Document], 2021. <https://doi.org/10.18356/9789210056755c2>

- Patil, H., Shah, N. G., & Kumar, G. (2019). Combined Microwave and Hot Air Drying of Sapota (*Acharas zapota* L.) Slices: Analysis of Quality and Mass Transfer Parameters. *Journal of Agricultural Engineering*, 56(3): 166-193.
- Rafiq, S., Kaul, R., Sofi, S. A., Bashir, N., Nazir, F., & Nayik, G. A. (2018). Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(4): 351-358.
- Seremet, L., Botez, E., Nistor, O. V., Gogus, F., Andronoiu, D. G., & Mocanu, G. D. (2015). Influence of drying conditions on the effective diffusivity and activation energy during convective air and vacuum drying of pumpkin. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI-Food Technology*, 39(2): 20-29.
- Sharifi, M., Rafiee, S. H., Keyhani, A. R., & Omid, M. (2010). Effects of drying conditions of sliced orange on energy consumption. *Journal of Food Science and Technology*, 7(3): 109-116. (In Persian).
- Shen, D., Jiang, J., Shen, J., Yao, P., & Jiang, G. (2016). Influence of curing temperature on autogenous shrinkage and cracking resistance of high-performance concrete at an early age. *Construction and Building Materials*, 103: 67-76.
- Shen, D., Wang, X., Cheng, D., Zhang, J., & Jiang, G. (2016). Effect of internal curing with super absorbent polymers on autogenous shrinkage of concrete at early age. *Construction and Building Materials*, 106: 512-522.
- Sohrabi, F., Asefi, N., & Salem, A. (2021). Mathematical modeling of thin-layer garlic with hot air dryer and under vacuum. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 18(113): 363-375.
- Teles, U. M., Fernandes, F. A., Rodrigues, S., Lima, A. S., Maia, G. A., & Figueiredo, R. W. (2006). Optimization of osmotic dehydration of melons followed by air-drying. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(6): 674-680.
- Wu, Z., Wong, H. S., & Buenfeld, N. R. (2015). Influence of drying-induced microcracking and related size effects on mass transport properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, 68: 35-48.
- Yeganeh, R. E. Z. A., Yamchi, A. A., & Kouchakzadeh, A. (2019). The effect of ultrasound pretreatment on qualitative characteristics of peach thin slices (Alberta variety). *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 8(1). (In Persian).