



مدل سازی پارامترهای رنگی در طی خشک کردن آلوی پیش تیمار شده با اولتراسوند و آب گیری اسمزی

رسول قربانی^۱، جلال دهقان نیا^{۲*}، سیدصادق سیدلو هریس^۳ و بابک قنبرزاده^۴

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تبریز، آستادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تبریز، آستادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه تبریز، ^۲ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تبریز، تاریخ دریافت: ۹۱/۰۷/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۲۱

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر به کارگیری هم زمان پیش تیمارهای اولتراسوند و آب گیری اسمزی بر تغییرات پارامترهای رنگی و ارزیابی حسی آلو طی خشک کردن با جریان هوای داغ بود. در این پژوهش، پیش تیمارهای اولتراسوند در ۲ زمان ۱۰ و ۳۰ دقیقه، غلظت محلول اسمزی در ۲ بریکس ۵۰ و ۷۰ و زمان غوطه وری در محلول اسمزی در ۴ زمان ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه روی نمونه های آلو اعمال شد و سپس این نمونه ها در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و سرعت هوای ۱/۴ متر بر ثانیه خشک شدند. نتایج نشان داد که با کاهش محتوای رطوبتی در طول خشک شدن، میزان روشنائی (L) و زردی (b) نمونه ها کاهش ولی میزان قرمزی (a) افزایش می یابد. استفاده هم زمان از دو پیش تیمار اولتراسوند و آب گیری اسمزی باعث افزایش معنی دار میزان L و b و کاهش معنی دار میزان a در مقایسه با تیمار کنترل شد. همچنین، استفاده از دو پیش تیمار مذکور باعث بهبود دیگر پارامترهای رنگی (تغییر رنگ کلی، شاخص کروما، زاویه هیو و شاخص قهوه ای شدن) شد. نتایج به دست آمده از ارزیابی حسی نمونه های آلو، بیانگر بهبود شکل ظاهری، رنگ، عطر و طعم و حالت کلی نمونه های پیش تیمار شده با اولتراسوند و آب گیری اسمزی بود. علاوه بر این، مدل سازی تغییرات پارامترهای رنگی نمونه های آلو در طول خشک شدن، توسط مدل های موجود در منابع و مدل های پیشنهادی در این پژوهش صورت گرفت و سپس، یکی از مدل های پیشنهادی به عنوان بهترین مدل پیش بینی کننده تغییرات پارامترهای رنگی آلو تحت شرایط مورد آزمایش انتخاب شد.

واژه های کلیدی: تغییر رنگ کلی، شاخص کروما، زاویه هیو، شاخص قهوه ای شدن

*مسئول مکاتبه: j_dehghannya@tabrizu.ac.ir

مقدمه

آلو میوه‌ای تک هسته‌ای با نام علمی پرونوس دومستیکا (*Prunus domestica*) از خانواده روزاسه (*Rosaceae*) است (نانز و همکاران 2008). گونه‌های متفاوتی از این میوه در دنیا وجود دارد که از نظر رنگ، شکل و اندازه تنوع زیادی دارند. برخی از آن‌ها به رنگ زرد و پر آب بوده و برخی دیگر درصد آب کمتری داشته و قرمز متمایل به ارغوانی هستند. قطر آلو از 3-6 سانتی‌متر و طعم آن از ترش تا شیرین متغیر است. آلو منبع بسیار خوبی از کربوهیدرات، ویتامین A، کلسیم، منیزیم، آهن، پتاسیم، فیبر، ترکیبات فنلی و مقدار قابل توجهی ویتامین C می‌باشد. این میوه به دلیل داشتن فصل برداشت کوتاه، به شکل خشک‌شده نگهداری و مصرف می‌شود (کارو و همکاران، 2004؛ دویماز، 2004).

خشک‌کردن، از چالش‌های مهم در فرآوری مواد غذایی محسوب می‌شود و مفاهیم دامنه‌داری را در تحقیقات صنایع غذایی در برمی‌گیرد. مهم‌ترین هدف خشک‌کردن، جدانمودن آب از ماده غذایی، افزایش مدت زمان ماندگاری و جلوگیری از فساد است. علاوه بر این، به‌هنگام خشک‌کردن، وزن و حجم ماده غذایی کاهش پیدا کرده و در نتیجه باعث کاهش هزینه‌های بسته‌بندی، حمل و نقل، انبارداری و پخش می‌گردد. در حین خشک‌کردن، یک‌سری تغییرات فیزیکی و شیمیایی در بعضی خواص طبیعی مواد غذایی مانند بافت، رنگ، عطر و طعم و ارزش تغذیه‌ای رخ می‌دهد. از این‌رو، دومین هدف خشک‌کردن، بایستی تولید مواد غذایی خشک‌شده با کیفیت خوب از نظر ارگانولپتیکی و تغذیه‌ای باشد. امروزه، خشک‌کردن میوه‌های مختلف از جمله آلو مرسوم شده است و این محصولات در بازار با قیمت بالایی به فروش می‌رسند. (ایبیتوار و همکاران، 2008). براساس تحقیقات مختلف بر روی خشک‌کردن آلو با استفاده از پیش‌تیمارهای مختلف، خشک‌کردن آلو تا رسیدن به محتوای رطوبتی 0/25-0/86 کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک انجام گرفته است (جزینی و حاتمی‌پور 210؛ طرهان 2007).

در گذشته برای خشک‌کردن محصولات کشاورزی، به‌طور عمده از روش‌های غیرمکانیزه مانند انرژی خورشیدی استفاده می‌شد (دویماز، 2005)؛ اما چنین سیستم‌هایی دارای معایبی از جمله کاهش کیفیت، غیر قابل کنترل بودن شرایط محیطی، خشک‌شدن غیر یکنواخت و افزایش زمان خشک‌شدن هستند (ساجیلیک و همکاران، 2006). متداول‌ترین روش خشک‌کردن مواد غذایی استفاده از جریان هوای داغ با کنوکسیون اجباری است که شامل انتقال جرم و حرارت هم‌زمان در ماده غذایی می‌باشد. خشک‌کردن با جریان هوای داغ علاوه بر داشتن مزایایی مانند امکان کنترل دقیق دما و عدم نیاز به تماس مستقیم دارای معایبی نیز است. از جمله این معایب، نیاز به زمان زیادتر و دمای بالاتر برای خشک‌کردن محصول طی

دوره سرعت نزولی می‌باشد. علاوه بر این، دماهای بالا باعث کاهش ارزش تغذیه‌ای و مصرف انرژی بالا می‌شود (گرون و همکاران، ۲۰۰۶؛ هاسینی و همکاران، ۲۰۰۷). از دیگر عیوب خشک‌شدن تحت جریان هوای داغ، ایجاد رنگ نامطلوب در محصول خشک‌شده است. به‌هنگام خشک‌کردن، تغییرات فیزیکی و شیمیایی مختلفی بر روی ماده غذایی اتفاق می‌افتد که موجب تغییر خصوصیات کیفی محصول نهایی خشک‌شده نسبت به محصول تازه اولیه می‌گردد (بایالوبرژیسکی، ۲۰۰۶). رنگ یک ویژگی کیفی مهم در میوه‌های خشک‌شده می‌باشد و در طی خشک‌کردن و نگهداری طولانی مدت به‌علت برخی واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی تغییر می‌کند. بر این اساس، رنگ به همراه طعم و بافت نقش مهمی در مقبولیت محصول توسط مصرف‌کننده بازی می‌کند؛ به‌طوری‌که رنگ نامطلوب از دید مصرف‌کننده ناخوشایند بوده و نشانه پایان زمان ماندگاری است. علاوه از رنگ، شکل ظاهری و خصوصیات حسی محصول خشک‌شده نیز مانند طعم، بو و مزه تأثیر بسزایی در بازارپسندی آن دارد. در حقیقت، رنگ و ظاهر ماده غذایی تحت تأثیر نوع آماده‌سازی اولیه قرار می‌گیرد و در تعیین قیمت نهایی محصول نقش به‌سزایی دارد (نیشنا و همکاران ۲۰۰۴). به‌علاوه، بسیاری از واکنش‌ها که به‌هنگام خشک‌کردن اتفاق می‌افتند، منجر به تغییر رنگ میوه‌ها و سبزیجات می‌شوند. از جمله این واکنش‌ها می‌توان به تخریب رنگدانه‌ها، اکسیداسیون اسید آسکوربیک، قهوه‌ای شدن آنزیمی، قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی (مایلارد) و پلیمریزاسیون فنل‌ها اشاره نمود. سایر عوامل مانند اسیدپت، وارپته محصول، دما و زمان فرآیند حرارتی نیز بر روی رنگ محصول خشک‌شده موثرند (دواهاستین و نایامنوی ۲۰۱۰؛ ماسکان ۲۰۰۱).

به‌منظور بررسی میزان تغییرات رنگی ایجاد شده در طی فرآیند خشک‌کردن با جریان هوای داغ از شاخص‌ها یا پارامترهای رنگی استفاده می‌شود. این پارامترها شامل میزان روشنایی یا L از رنگ سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰)، میزان قرمزی یا a از سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) و میزان زردی یا b از آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) می‌باشد. همچنین، مقادیر شاخص‌های تغییر رنگ کلی^۱، کروما^۲، زاویه هیو^۳ و قهوه‌ای شدن^۴ از پارامترهای رنگی فوق (L ، a ، b) به‌دست می‌آیند (دادالی و همکاران ۲۰۰۷؛ فالاد و همکاران ۲۰۰۷). به‌منظور پی‌بردن به اهمیت پارامترهای رنگی فوق در خشک‌کردن مواد غذایی، آگاهی از تعاریف فیزیکی و فرمول‌های ریاضی آن‌ها حائز اهمیت است (دادالی و

- 1- Total Color Change
- 2- Chroma Index
- 3- Hue Angel
- 4- Browning Index

تعاریف

تغییر رنگ کلی: تغییر رنگ کلی، نشان‌دهنده تغییر رنگ ماده غذایی بعد از خشک‌کردن نسبت به قبل از خشک‌کردن می‌باشد که بر اساس معادله ۱ به‌دست می‌آید:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_t)^2 + (a_0 - a_t)^2 + (b_0 - b_t)^2} \quad (\text{معادله ۱})$$

شاخص کروما: شاخص کروما، میزان اشباع شدگی و شدت رنگ را نشان می‌دهد (معادله ۲):

$$\text{Chroma} = (a_t^2 + b_t^2)^{0.5} \quad (\text{معادله ۲})$$

زاویه هیو: زاویه هیو در ارزیابی پارامترهای رنگی سبزیجات، میوه‌جات و گوشت‌ها استفاده شده و از طریق معادله ۳ محاسبه می‌گردد:

$$\text{Hue Angle} = \tan^{-1} \left(\frac{b_t}{a_t} \right) \quad (\text{معادله ۳})$$

زاویه ۰ یا ۳۶۰ درجه نشان‌دهنده رنگ قرمز و زاویه‌های ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه به‌ترتیب بیانگر رنگ زرد، سبز و آبی می‌باشد.

شاخص قهوه‌ای شدن: شاخص قهوه‌ای شدن، یکی دیگر از مهم‌ترین پارامترهای رنگی است که میزان واکنش قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیرآنزیمی را در طی فرآیند خشک‌کردن مواد غذایی نشان می‌دهد و بر اساس معادله ۴ به‌دست می‌آید:

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad (\text{معادله ۴})$$

که در آن x برابر است با:

$$x = \frac{(a_t + 1.75L_t)}{(5.645L_t + a_t - 3.012b_t)} \quad (\text{معادله ۵})$$

در معادلات فوق، اندیس‌های ۰ و t به‌ترتیب پارامترهای رنگی قبل از خشک‌کردن و در زمان‌های مختلف خشک‌کردن؛ L میزان روشنایی، a میزان قرمزی و b میزان زردی ماده غذایی؛ ΔE ، Chroma، Hue Angel و BI به‌ترتیب تغییر رنگ کلی، شاخص کروما، زاویه هیو و شاخص قهوه‌ای شدن می‌باشند.

با توجه به معادلات بالا می‌توان دریافت که تغییر میزان روشنایی، قرمزی و زردی مواد غذایی (در اثر تخریب رنگ‌دانه‌ها به هنگام خشک‌شدن آن‌ها)، باعث افزایش تغییر رنگ کلی و شاخص قهوه‌ای شدن می‌شود؛ در نتیجه، خصوصیات کیفی ماده غذایی کاهش پیدا می‌کند. همان‌گونه که ذکر شد، عیب عمده خشک‌کردن با جریان هوای داغ، ایجاد رنگ نامطلوب در محصول خشک‌شده است و این رویداد، باعث کاهش قابلیت پذیرش ماده غذایی خشک‌شده توسط مصرف‌کنندگان می‌شود.

علاوه بر این، وجود لایه مومی موجود در آلو باعث ایجاد مقاومت در مقابل خروج رطوبت در هنگام خشک‌شدن آن می‌گردد و معمولاً برای از بین بردن این لایه، از یک‌سری مواد شیمیایی استفاده می‌شود (طهران، ۲۰۰۷). استفاده از این مواد شیمیایی باعث ایجاد رنگ‌ها و طعم‌های نامطلوب در محصول می‌شود. از آنجایی که آلودگی خشک‌شده با رنگ روشن مقبولیت و بازارپسندی بیشتری دارد، بنابراین لازم است از واکنش‌های قهوه‌ای شدن که موجب ظهور رنگ تیره به هنگام خشک‌شدن می‌شود، جلوگیری کرد. از این رو، برای کاهش معایب ذکر شده، استفاده از پیش‌تیمارهایی که سبب افزایش کیفیت ماده غذایی هنگام خشک‌کردن با هوا می‌شوند، بسیار مفید خواهد بود. با این توصیف، استفاده از پیش-تیمارهایی مانند اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی قبل از فرآیند خشک‌کردن با هوای داغ، ضمن افزایش آهنگ خشک‌شدن، می‌توانند باعث بهبود خصوصیات کیفی نیز گردند (دنگ و ژائو ۲۰۰۸a). علاوه بر این، پیش‌تیمار اولتراسوند به دلیل کاهش زمان خشک‌شدن، باعث کاهش هزینه‌های تولید محصول خشک‌شده می‌شود (فرناندز و رودریگز، ۲۰۰۸؛ اورتونو و همکاران، ۲۰۱۰).

اولتراسوند یکی از فناوری‌های نوظهور است که کاربرد آن در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی روز به روز در حال گسترش است (چمات و همکاران، ۲۰۱۱). تکنولوژی اولتراسوند بر اساس امواج مکانیکی در یک فرکانس بالاتر از محدوده شنوایی انسان تولید شده و این امواج در فرآوری، آنالیز و کنترل کیفیت مواد غذایی بر اساس محدوده فرکانس به دو دسته اولتراسوند با انرژی پایین (فرکانس بالا و توان پایین) و اولتراسوند با انرژی بالا (فرکانس پایین و توان بالا) تقسیم‌بندی می‌شود. اولتراسوند با انرژی بالا به‌عنوان پیش‌تیمار قبل از فرآیند خشک‌کردن با هوای داغ، جهت بهبود خصوصیات کیفی محصول خشک‌شده از طریق بهبود پدیده انتقال جرم و حرارت به‌کار می‌رود (آواد و همکاران، ۲۰۱۲). این پیش‌تیمار، با غوطه‌ور کردن میوه در آب مقطر یا محلول آبی هیپرتونیک^۱ و اعمال امواج اولتراسوند

1- Hypertonic

صورت می‌گیرد. امواج اولتراسوند باعث ایجاد حباب‌های هوای داخل محیط مایع و سپس ترکیدن این حباب‌ها می‌شوند که به این پدیده کاویتاسیون^۶ می‌گویند. ترکیدن غیرمتقارن این حباب‌ها در نزدیکی سطح ماده غذایی باعث انتقال جریان‌های سریع و فورانی از امواج صوتی به سطح آن شده و با ایجاد انقباض و انبساط‌های پی‌درپی (اثر اسفنجی^۷) باعث تشکیل کانال‌های میکروسکوپی و سهولت خروج آب از داخل محصول در طی خشک‌شدن می‌شود (فرناندز و همکاران، ۲۰۰۸؛ سوری و ویلامیل، ۲۰۱۰). از دیگر اثرات اولتراسوند، تنش سطحی و تغییر شکل مواد جامد متخلخل می‌باشد و این اثرات مسئول ایجاد کانال‌های میکروسکوپی، کاهش لایه مرزی انتشار و افزایش انتقال جرم کنوکسیون در مواد غذایی می‌باشند (فوانته- بلانکو و همکاران، ۲۰۰۶). مزیت دیگر استفاده از اولتراسوند، نیاز به افزایش کمتر دما در طول فرایند خشک‌کردن می‌باشد. در نتیجه، اولتراسوند بدون داشتن اثرات سوء روی ویژگی‌های کیفی ماده غذایی می‌تواند به‌عنوان یک پیش‌تیمار در خشک‌کردن محصولات غذایی حساس به حرارت به‌کار رود؛ چون باعث افزایش سرعت و کاهش دمای مورد نیاز برای خشک‌کردن می‌شود (سان، ۲۰۰۵). در پژوهشی، اثر پیش‌تیمارهای اولتراسوند، آب‌گیری اسمزی و خلاء بر تغییرات رنگی نمونه‌های سیب مورد بررسی قرار گرفت (دنگ و ژائو، ۲۰۰۸a؛ دنگ و ژائو، ۲۰۰۸b). نتایج این پژوهش نشان داد که به‌کارگیری اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی ضمن افزایش ضریب انتشار مؤثر رطوبت و افزایش سرعت انتشار مولکول‌های آب در حین خشک‌شدن، باعث بهبود خصوصیات رنگی و حسی محصول خشک- شده می‌شود. استفاده از پیش‌تیمار اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی منجر به افزایش میزان روشنایی و کاهش میزان قرمزی نمونه‌ها در مقایسه با تیمار کنترل شد؛ همچنین، میزان تغییر رنگ کلی و شاخص قهوه‌ای شدن نیز کاهش یافت. علت این رویداد به خارج شدن اکسیژن (جلوگیری از واکنش اکسیداسیون آنزیمی)، تغییر شکل و تخریب سلول‌ها در اثر استفاده از امواج اولتراسوند و همچنین کاهش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در نتیجه به‌کارگیری پیش‌تیمار آب‌گیری اسمزی و به تبع آن کاهش میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌های سیب نسبت داده شد.

علاوه بر اولتراسوند، آب‌گیری اسمزی نیز قبل از فرآیند خشک‌کردن با هوای گرم با هدف بهبود خواص کیفی، حسی و تغذیه‌ای محصول نهایی خشک‌شده به‌کار می‌رود. ساکارز یکی از پر مصرف‌ترین مواد مورد استفاده به‌عنوان عامل اسمز در فرآیند آب‌گیری اسمزی محسوب می‌شود و به‌ویژه برای میوه‌ها

1- Cavitation

2- Sponge effect

مورد استفاده قرار می‌گیرد (لومبارد و همکاران، ۲۰۰۸). آبگیری اسمزی، شامل حذف بخشی از آب مواد غذایی بدون تغییر فاز، توسط غوطه‌ور کردن آن‌ها در محلول‌های هیپرتونیک می‌باشد. در یک سیستم حاوی ماده غذایی و محلول اسمزی، حذف آب بر اساس پدیده اسمز از بین یک غشا نیمه تراوا مثل غشا سلولی ماده غذایی صورت می‌گیرد. در فرآیند آب‌گیری اسمزی، دو جریان عمده شامل جریان آب و جریان محلول اسمزی به‌طور هم‌زمان اتفاق می‌افتد که در آن، انتقال جرم تابعی از اختلاف غلظت می‌باشد. با توجه به این‌که غلظت آب در داخل ماده غذایی و غلظت ماده قندی در محلول اسمزی بالا می‌باشد، جریان آب به خارج از ماده غذایی و جریان ماده قندی به درون ماده غذایی صورت می‌گیرد. با نفوذ مواد جامد محلول به داخل ماده غذایی، فضاهای خالی ناشی از خروج رطوبت از محصول پر می‌شوند. در نتیجه، به میزان قابل توجهی بافت را محافظت کرده و حداقل چروکیدگی و آسیب سلولی را باعث می‌شود. علاوه بر این، امکان فرمولاسیون در محصول نهایی با شیرین کردن یا شور کردن ماده غذایی در آب‌گیری اسمزی فراهم می‌شود. آب‌گیری اسمزی، آسیب حرارتی به رنگ و بافت را به حداقل می‌رساند و معمولاً این فرآیند، در شرایط اتمسفری صورت گرفته و باعث افزایش کیفیت محصولات غذایی می‌شود (دهقان‌نیا و همکاران، ۲۰۰۶).

در مطالعه‌ای، اثر شرایط پیش‌ تیمار آب‌گیری اسمزی بر روی تغییر پارامترهای رنگی نمونه‌های سیب خشک‌شده با استفاده از روش خشک‌کردن با جریان هوای داغ مورد بررسی قرار گرفت (ماندالا و همکاران، ۲۰۰۵). نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که به‌کارگیری آب‌گیری اسمزی و افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان روشنایی و زردی نمونه‌های سیب را افزایش و میزان قرمزی آن‌ها را در مقایسه با تیمار کنترل کاهش می‌دهد. علاوه بر این، میزان تغییر رنگ کلی نیز در اثر استفاده از پیش‌ تیمار آب‌گیری اسمزی کاهش یافت که علت آن جذب مواد جامد محلول در طی آب‌گیری اسمزی بیان شد. این امر موجب انتقال اکسیژن کمتر به هنگام خشک‌کردن به سطح نمونه‌ها شده و میزان قهوه‌ای شدن کاهش پیدا می‌کند. همچنین، بررسی تأثیر آب‌گیری اسمزی بر روی تغییرات رنگی در طول خشک‌کردن آناناس و شاه بلوط (کورآ و همکاران، ۲۰۱۱؛ موریرا و همکاران، ۲۰۱۱) نشان داد که آب‌گیری اسمزی باعث بهبود پارامترهای رنگی می‌شود.

شکل ظاهری و خصوصیات حسی محصول خشک‌شده مانند عطر، طعم، بو و بافت نیز علاوه بر پارامترهای رنگی تأثیر به‌سزایی در مقبولیت آن توسط مصرف‌کننده دارد. از این‌رو، ارزیابی حسی ماده غذایی برای بررسی ویژگی‌های حسی آن لازم است.

در پژوهشی، تأثیر به‌کارگیری آبیگری اسمزی بر روی ارزیابی حسی نمونه‌های توت فرنگی خشک- شده با استفاده از میکروویو مورد بررسی قرار گرفت (چانگر و همکاران، ۲۰۰۸). این ارزیابی حسی شامل مزه و حالت کلی بر اساس تست هدونیک بین ۱۰ ارزیاب حسی آموزش ندیده صورت گرفت. در امتیازدهی به فاکتورهای ارزیابی شده، نمره ۹ برای معیار خیلی خوب و نمره ۱ برای معیار خیلی بد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که پیش‌تیمار آبیگری اسمزی، مزه و حالت کلی محصول خشک‌شده را در مقایسه با تیمار کنترل بهبود بخشیده و امتیاز بالاتری را به‌خود اختصاص داده است.

فرآیند خشک‌کردن محصولات کشاورزی، پدیده پیچیده‌ای است که شامل انتقال جرم و حرارت هم‌زمان می‌باشد. بنابراین، مدل‌سازی یک روش مناسب برای درک پدیده‌های درگیر در طی فرآیندهای مختلف اعمال شده روی مواد غذایی و پیش‌بینی رفتار ماده تحت عوامل درونی و بیرونی متعدد می‌باشد (چائو و همکاران ۲۰۰۲). از سوی دیگر، همان‌گونه که اشاره شد، یکی از مهم‌ترین تغییرات کیفی که در زمان خشک‌شدن مواد غذایی اتفاق می‌افتد، تغییر پارامترهای رنگی می‌باشد. این پدیده، خصوصیات حسی ماده غذایی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و بر میزان پذیرش محصول خشک‌شده توسط مصرف‌کننده مؤثر است. از این‌رو، برای توصیف تغییرات پارامترهای رنگی محصولات کشاورزی، با هدف افزایش کیفیت محصول خشک‌شده، طراحی تجهیزاتی که کمترین افت را در رنگ مواد غذایی باشد، مدل‌سازی تغییرات پارامترهای رنگی ضروری است (ماسکان ۲۰۰۱).

در مطالعه‌ای، سینتیک تغییرات رنگ در طی خشک‌کردن میوه کیوی مورد بررسی قرار گرفت (ماسکان ۲۰۰۱). در این پژوهش، از دو مدل درجه اول و نمایی جهت مدل‌سازی تغییرات پارامترهای رنگی (L, a, b) هنگام خشک‌کردن نمونه‌های کیوی استفاده شد. برازش داده‌های حاصل از آزمایش با دو مدل نام برده، R^2 را در محدوده ۰/۹۰ تا ۰/۹۸ برای نمونه‌ها حاصل نمود.

هدف از این پژوهش، مطالعه تأثیر پیش‌تیمارهای اولتراسوند و آبیگری اسمزی بر میزان پارامترهای رنگی آلو و مدل‌سازی تغییرات آن در حین خشک‌کردن با جریان هوای داغ با استفاده از دو پیش‌تیمار مذکور بود.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها: آلوی موردنیاز برای انجام آزمایش‌های خشک‌کردن، از یک باغ محلی تهیه و تا پایان آزمایش‌ها در سردخانه با دمای 1 ± 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. حدود یک ساعت قبل از شروع هر آزمایش، جهت متعادل‌سازی دمای نمونه‌ها با دمای محیط، نمونه‌ها از سردخانه به آزمایشگاه

انتقال می‌یافت. برای بررسی تأثیر به‌کارگیری هم‌زمان اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی، از حمام اولتراسوند (مدل USD - 4R، ساخت ژاپن، مجهز به سیستم تنظیم فرکانس و زمان اولتراسوند) با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز و در ۲ سطح زمانی ۱۰ و ۳۰ دقیقه، غلظت محلول اسمزی ساکارز در ۲ سطح با بریکس ۵۰ و ۷۰ و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی نیز در ۴ سطح ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه استفاده شد. قبل از شروع خشک‌کردن، نمونه‌ها در معرض امواج اولتراسوند تحت دمای محیط قرار گرفتند. پس از گذشت مدت زمان‌های خاص، نمونه‌ها از حمام اولتراسوند خارج و سپس در محلول اسمزی ساکارز با غلظت مشخص غوطه‌ور شدند. نسبت نمونه به محلول اسمزی در کل آزمایش‌ها ۱ به ۴ بود. بعد از سپری شدن زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی، نمونه‌ها از محلول اسمزی خارج و پس از حذف رطوبت سطحی توسط کاغذهای جاذب رطوبت، به یک خشک‌کن سینی‌دار طراحی شده در مقیاس آزمایشگاهی (مدل UOP 8 Tray dryer, Armfield)، مجهز به سیستم ثبت خودکار داده‌ها، واحد کنترل کننده دما، سرعت جریان و رطوبت نسبی هوا) منتقل شد.

آماده‌سازی محلول اسمزی: محلول اسمزی ساکارز در دو غلظت با بریکس ۵۰ و ۷۰ به‌صورت زیر تهیه شد:

ابتدا مقدار مشخصی از ساکارز با توجه به هر آزمایش، به داخل ارلن مایر ریخته شد. سپس با استفاده از آب مقطر، ارلن مایر حاوی ساکارز به حجم مورد نظر رسانده شد و به‌وسیله عمل هم‌زدن تمام ساکارز در آب مقطر حل و محلول اسمزی با بریکس مشخص به‌دست آمد.

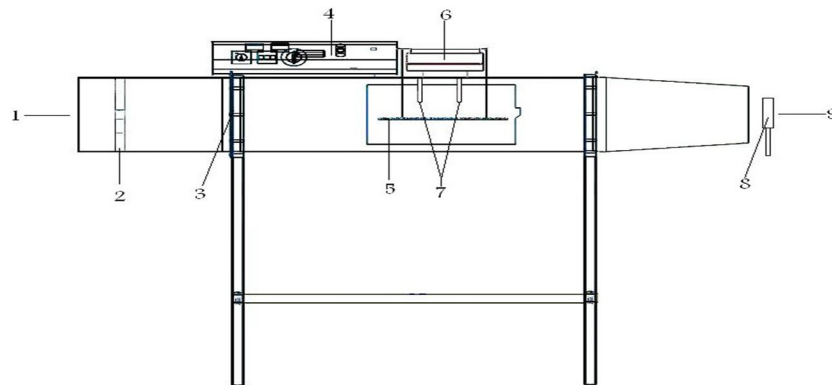
خشک‌کن آزمایشگاهی: برای مقایسه خصوصیات کمی و کیفی نمونه‌های پیش‌تیمار شده با اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی با نمونه شاهد از یک دستگاه خشک‌کن سینی‌دار آزمایشگاهی استفاده شد (شکل ۱). این خشک‌کن دارای محفظه ورودی (شامل فن و گرم‌کن‌های الکتریکی)، محفظه میانی (شامل قفسه‌های خشک‌کن و خطی‌سازهای جریان هوا)، محفظه خروجی و تابلو فرمان (محفظه کنترل کننده دما و سرعت) بود (سیدلو و همکاران ۲۰۱۰).

طرح کلی آزمایش‌ها: حدود نیم ساعت قبل از شروع فرآیند، دستگاه خشک‌کن روشن و سرعت هوا در ۱/۴ متر بر ثانیه و دما در ۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد تا دمای هوای خشک‌کن به حالت پایدار برسد. سپس، نمونه‌ها بر روی سینی توری چیده شدند که به‌طور مستقیم به ترازو متصل بود و کاهش وزن آن‌ها در فواصل زمانی تعیین شده، اندازه‌گیری و ثبت می‌شد. خشک‌کردن نمونه‌ها تا رسیدن به محتوای رطوبتی ۰/۵۴ گرم آب بر گرم ماده خشک انجام شد. آزمایش‌های خشک‌کردن در ۲ تکرار و

۱۷ تیمار انجام گرفت. جدول ۱ تیمارهای مختلف و علائم اختصاری آنها را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری رنگ نمونه‌های آلو نیز در محتوای رطوبتی ۳/۴، ۲/۹، ۲/۱، ۱/۴، ۰/۹ و ۰/۵۴ گرم آب بر گرم ماده خشک صورت گرفت. اندازه‌گیری محتوی رطوبتی نمونه‌ها بر اساس استاندارد AOAC (۱۹۹۰) انجام شد؛ به طوری که مقداری نمونه قبل و پس از انجام هر آزمایش، در آون با دمای 105 ± 1 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از رسیدن وزن نمونه‌ها به مقدار ثابت، مقدار رطوبت آنها بر حسب گرم آب بر گرم ماده خشک گزارش شد.

جدول ۱- علائم اختصاری مورد استفاده برای تیمارهای مختلف.

ردیف	تیمار	علامت اختصاری
۱	اولتراسوند با زمان ۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۰ و زمان غوطه‌وری ۰ دقیقه	Control
۲	اولتراسوند با زمان ۱۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۵۰ و زمان غوطه‌وری ۶۰ دقیقه	U10-B50-T60
۳	اولتراسوند با زمان ۱۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۷۰ و زمان غوطه‌وری ۶۰ دقیقه	U10-B70-T60
۴	اولتراسوند با زمان ۳۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۵۰ و زمان غوطه‌وری ۶۰ دقیقه	U30-B50-T60
۵	اولتراسوند با زمان ۳۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۷۰ و زمان غوطه‌وری ۶۰ دقیقه	U30-B70-T60
۶	اولتراسوند با زمان ۱۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۵۰ و زمان غوطه‌وری ۱۲۰ دقیقه	U10-B50-T120
۷	اولتراسوند با زمان ۱۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۷۰ و زمان غوطه‌وری ۱۲۰ دقیقه	U10-B70-T120
۸	اولتراسوند با زمان ۳۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۵۰ و زمان غوطه‌وری ۱۲۰ دقیقه	U30-B50-T120
۹	اولتراسوند با زمان ۳۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۷۰ و زمان غوطه‌وری ۱۲۰ دقیقه	U30-B70-T120
۱۰	اولتراسوند با زمان ۱۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۵۰ و زمان غوطه‌وری ۱۸۰ دقیقه	U10-B50-T180
۱۱	اولتراسوند با زمان ۱۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۷۰ و زمان غوطه‌وری ۱۸۰ دقیقه	U10-B70-T180
۱۲	اولتراسوند با زمان ۳۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۵۰ و زمان غوطه‌وری ۱۸۰ دقیقه	U30-B50-T180
۱۳	اولتراسوند با زمان ۳۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۷۰ و زمان غوطه‌وری ۱۸۰ دقیقه	U30-B70-T180
۱۴	اولتراسوند با زمان ۱۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۵۰ و زمان غوطه‌وری ۲۴۰ دقیقه	U10-B50-T240
۱۵	اولتراسوند با زمان ۱۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۷۰ و زمان غوطه‌وری ۲۴۰ دقیقه	U10-B70-T240
۱۶	اولتراسوند با زمان ۳۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۵۰ و زمان غوطه‌وری ۲۴۰ دقیقه	U30-B50-T240
۱۷	اولتراسوند با زمان ۳۰ دقیقه، محلول اسمزی با بریکس ۷۰ و زمان غوطه‌وری ۲۴۰ دقیقه	U30-B70-T240



شکل ۱- شماتیک خشک‌کن مورد استفاده: (۱) ورودی هوا؛ (۲) فن؛ (۳) گرم‌کن؛ (۴) تابلو فرمان یا محفظه کنترل کننده دما و سرعت؛ (۵) سینی سوراخ‌دار؛ (۶) ترازوی دیجیتال؛ (۷) سنسور رطوبتی؛ (۸) سرعت‌سنج دیجیتالی هوا؛ (۹) خروجی هوا.

محاسبه پارامترهای رنگی: تجزیه و تحلیل پارامترهای رنگی نمونه‌های آلودگی تازه و خشک‌شده در محتواهای رطوبتی مختلف با استفاده از یک دستگاه تشخیص رنگ انجام گرفت (سیدلو و همکاران ۲۰۱۰). برای محاسبه مقدار پارامترهای رنگی در طی خشک‌کردن و در محتواهای رطوبتی ۳/۴، ۲/۹، ۲/۱، ۱/۴، ۰/۹ و ۰/۵۴ گرم آب بر گرم ماده خشک، عکس‌برداری از نمونه‌های آلودگی انجام شد. بدین ترتیب که در هر آزمایش و پس از رسیدن به محتوای رطوبتی مورد نظر، ۲ عدد آلودگی داخل خشک‌کن خارج و عکس آن‌ها در داخل محفظه عکس‌برداری توسط دوربین دیجیتالی (Proline، مدل PR-565S، ساخت انگلیس) گرفته شد. سپس هر کدام از عکس‌ها با نرم افزار فتوشاپ مورد ارزیابی قرار گرفته و مقادیر پارامترهای روشنایی (L)، قرمزی (a) و زردی (b) به دست آمد. همچنین، میزان تغییر رنگ کلی، شاخص کروما، زاویه هیو و شاخص قهوه‌ای شدن به ترتیب بر اساس معادلات ۱ تا ۵ محاسبه شد.

مدل‌سازی پارامترهای رنگ: جدول ۲، مدل‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی تغییرات پارامترهای رنگی نمونه‌های آلودگی را نشان می‌دهد. برای برازش تغییرات پارامترهای رنگی نمونه‌های آلودگی به صورت تابعی از زمان خشک‌شدن، از مدل تجربی و پیشنهادی استفاده شد. منحنی‌های تغییرات پارامترهای رنگی به دست آمده برای آلودگی در شرایط مختلف (جدول ۱)، به وسیله مدل نام برده برازش شده و ضرایب آن‌ها توسط نرم‌افزار MATLAB R2011a تعیین گردید. به منظور انتخاب مناسب‌ترین مدل توصیف‌کننده

تغییرات پارامترهای رنگی، معیارهای ضریب تبیین^۸ (R^2)، ریشه متوسط خطای داده‌ها^۹ (RMSE) و مجموع مربعات خطا^{۱۰} (SSE) توسط هر مدل محاسبه و با مدل‌های دیگر مورد مقایسه قرار گرفت. مدل دارای R^2 بالا و RMSE و SSE پایین، به دلیل برازش بهتر داده‌های آزمایشی، به‌عنوان بهترین مدل توصیف‌کننده تغییرات پارامترهای رنگی انتخاب گردید. آنالیز رگرسیونی غیرخطی نیز در ادامه برازش داده‌ها و به‌منظور برآورد ضرایب مدل انتخابی به‌صورت توابعی از زمان اولتراسوند، غلظت محلول اسمزی و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی توسط نرم‌افزار Excel 2007 انجام شد.

ارزیابی حسی: ارزیابی حسی، برای نمونه‌های پیش‌تیمار شده با اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی و همچنین تیمار کنترل انجام شد. خصوصیات حسی بررسی شده در این ارزیابی شامل رنگ، شکل ظاهری، عطر و طعم، بافت و ارزیابی کلی بود. جهت ارزیابی فاکتورهای مورد نظر، نمونه‌ها پس از اختصاص کد، بین ۱۰ ارزیاب حسی پخش شدند. در امتیازدهی به فاکتورهای ارزیابی شده، نمره ۵ برای معیار خیلی خوب و نمره ۱ برای معیار خیلی بد در نظر گرفته شد.

آنالیز آماری: به‌منظور بررسی اثر اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی بر روی پارامترهای رنگی آلو، آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS 9.1 و با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه فاکتور A (زمان اولتراسوند)، B (غلظت محلول اسمزی) و C (زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی) و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش بونفرونی^{۱۱} در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0/05$) انجام شد (استیل و همکاران، ۱۹۹۷).

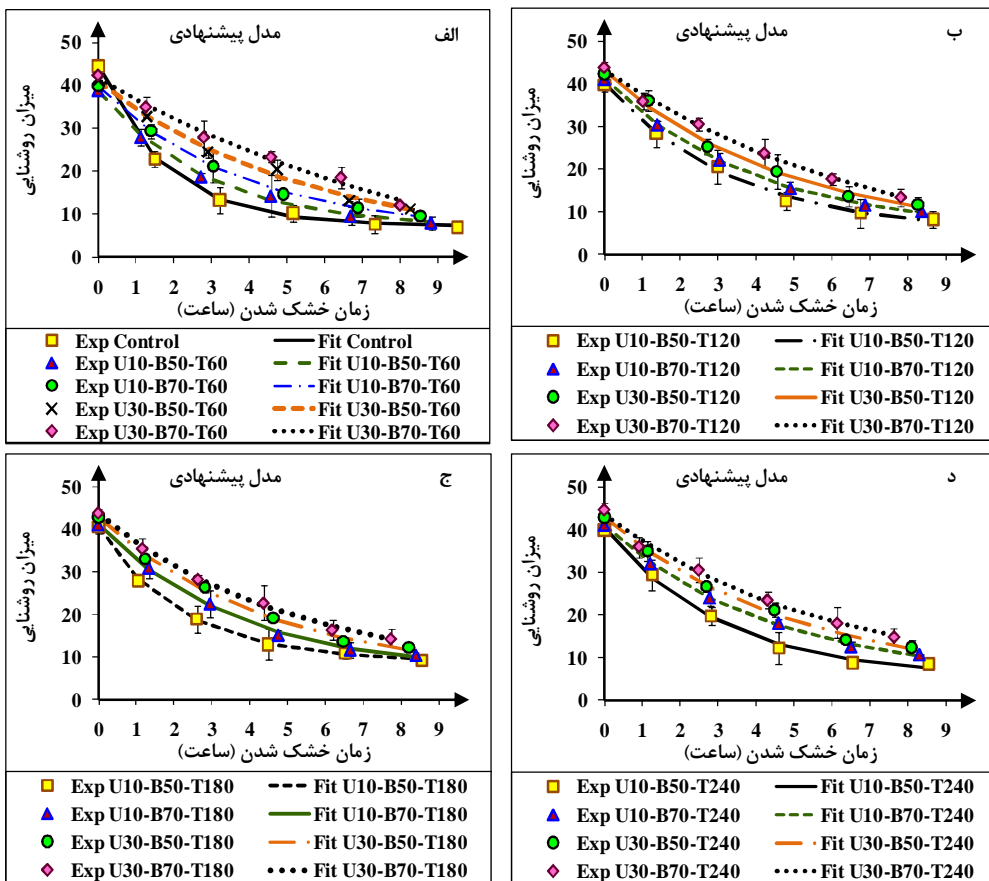
1- Coefficient of determination
2- Root Mean Square Error
3- Sum Square Error
4- Bonferoni

جدول ۲- مدل‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی پارامترهای رنگی.

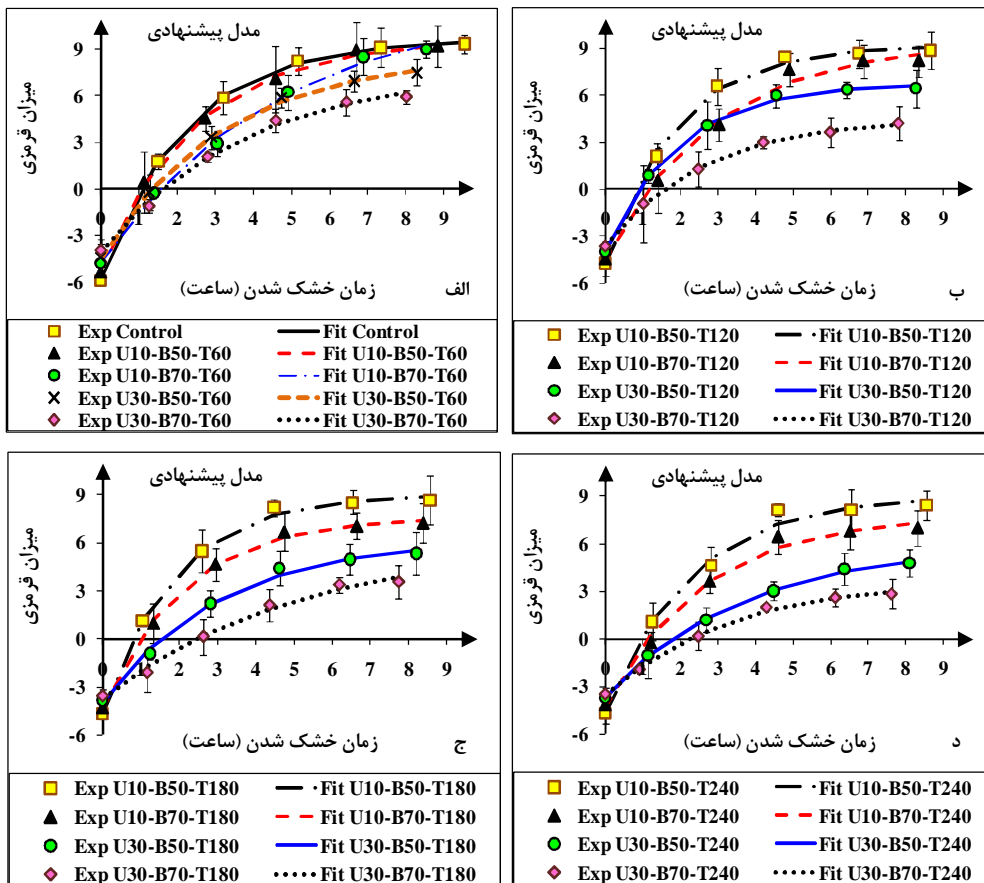
شماره	نام مدل	مدل ریاضی	مرجع
۱	درجه صفر	$C = C_0 \exp(-kt)$	Maskan, 2001
۲	درجه اول	$C = C_0 - kt$	Maskan, 2001
۳	مدل پیشنهادی	$C = \frac{k_1 t + k_2}{k_3 + t}$	تحقیق حاضر
۴	مدل پیشنهادی	$C = k_1 t^2 + k_2 t + k_3$	تحقیق حاضر
۵	مدل پیشنهادی	$C = k_1 \exp(-k_2 t^{k_3})$	تحقیق حاضر
۶	مدل پیشنهادی	$C = k_1 \exp(-k_2 t) + k_3$	تحقیق حاضر

نتایج و بحث

اشکال ۲، ۳ و ۴ (الف، ب، ج و د)، تغییرات میزان روشنایی، قرمزی و زردی نمونه‌های آلو را در حین خشک شدن به صورت تابعی از زمان خشک شدن در بین تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱ نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این منحنی‌ها پیداست، با افزایش زمان خشک شدن و کاهش محتوی رطوبتی، به دلیل تخریب رنگ‌دانه‌ها در اثر تماس با هوای داغ در طول فرآیند خشک کردن، میزان روشنایی و زردی نمونه‌های آلو کاهش، و میزان قرمزی آن‌ها به دلیل واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی افزایش یافته است. این یافته در پژوهش‌های انجام شده توسط عسگری و همکاران (۲۰۰۹) نیز مشاهده شد. همان‌گونه که از این اشکال پیداست، به کارگیری هم‌زمان پیش تیمارهای اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی، میزان روشنایی و زردی را در مقایسه با تیمار کنترل افزایش و میزان قرمزی را کاهش داده است. علت این امر به دلیل خارج شدن اکسیژن، تغییر شکل و تخریب سلول‌ها، کاهش زمان خشک شدن و کاهش واکنش اکسیداسیون آنزیمی توسط امواج اولتراسوند و ورود ماده جامد قندی (ساکارز) به داخل آلو در اثر آب‌گیری اسمزی می‌باشد. این رویداد از انتقال اکسیژن به سطح نمونه‌های آلو به هنگام خشک کردن و میزان قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی جلوگیری می‌کند. نتایج ماندالا و همکاران (۲۰۰۵) و دنگ و ژائو ۲۰۰۸a؛ دنگ و ژائو ۲۰۰۸b تایید کننده نتایج این پژوهش است.



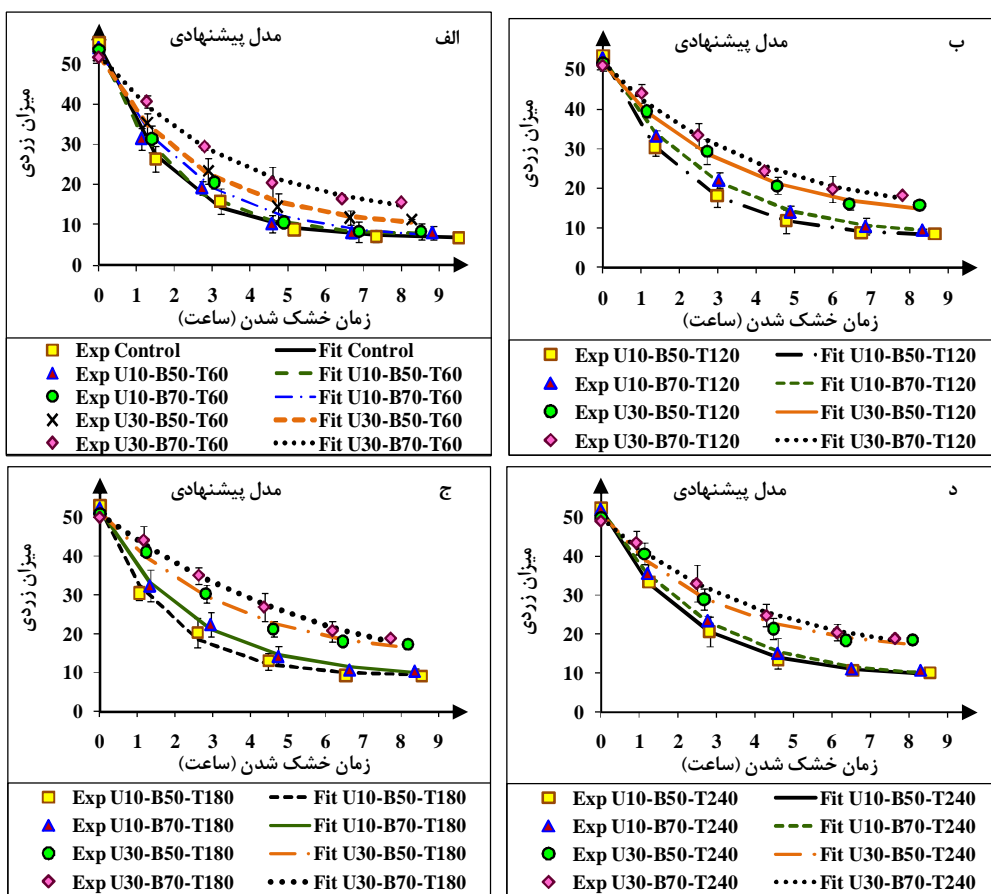
شکل ۲ - (الف-د) تغییرات میزان روشنایی در طول خشک شدن تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱ و برازش آن‌ها با مدل پیشنهادی (مدل ۶). در این شکل، Exp، داده‌های حاصل از آزمایش و Fit، داده‌های حاصل از برازش را نشان می‌دهد.



شکل ۳ - (الف-د) تغییرات میزان قرمزی در طول خشک شدن تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱ و برازش آن‌ها با مدل پیشنهادی (مدل ۶). در این شکل، **Exp** داده‌های حاصل از آزمایش و **Fit** داده‌های حاصل از برازش را نشان می‌دهد.

از سوی دیگر، جدول ۳، مقایسه میانگین‌های اثر متقابل اولتراسوند، غلظت محلول اسمزی و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی را بر میزان روشنایی، قرمزی، زردی، تغییر رنگ کلی، شاخص کروما، زاویه هیو و شاخص قهوه‌ای شدن تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱ نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این جدول بر می‌آید، میزان روشنایی، زردی، شاخص کروما، شاخص قهوه‌ای شدن و زاویه هیو نمونه‌های مختلف پیش‌تیمار شده با اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی در مقایسه با تیمار کنترل، بیشتر و

میزان قرمزی و تغییر رنگ کلی کمتر شده است. اثر متقابل استفاده هم‌زمان از اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی، از لحاظ آماری تأثیر معنی‌دار بر روی پارامترهای رنگی (به استثنای شاخص قهوه‌ای شدن) داشت.



شکل ۴- (الف-د) تغییرات میزان زردی در طول خشک‌شدن تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱ و برازش آن‌ها با مدل پیشنهادی (مدل ۶). در این شکل، **Exp** داده‌های حاصل از آزمایش و **Fit** داده‌های حاصل از برازش را نشان می‌دهد.

رسول قربانی و همکاران

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی بر پارامترهای رنگی نهایی تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱.

تیمار	میزان روشنایی	میزان قرمزی	میزان زردی	تغییر رنگ کلی	شاخص کروما	شاخص زاویه هیو	شاخص قهوه‌ای شدن
Control	۶/۸۹ ^d	۹/۳۳ ^a	۶/۸۹ ^c	۶۳/۰۵ ^a	۱۱/۶۱ ^d	۳۶/۳۱ ^f	۲۷۵/۹ ^a
U10-B50-T60	۷/۹۸ ^{cd}	۹/۱۹ ^a	۷/۹۸ ^{bc}	۵۷/۱۸ ^{ab}	۱۲/۲۶ ^d	۴۰/۹۶ ^{ef}	۲۶۹/۳ ^a
U10-B70-T60	۹/۶۰ ^{abcd}	۹/۰۳ ^a	۸/۲۴ ^{bc}	۵۶/۱۷ ^{ab}	۱۲/۲۹ ^d	۴۲/۱۰ ^{ef}	۲۱۶ ^a
U30-B50-T60	۱۱/۲۳ ^{abcd}	۷/۴۹ ^{abcd}	۱۱/۲۳ ^b	۵۱/۹۵ ^{bcd}	۱۳/۵۰ ^{bcd}	۵۶/۳۷ ^{cdef}	۲۴۸/۴ ^a
U30-B70-T60	۱۲/۱۲ ^{abcd}	۵/۹۴ ^{abcd}	۱۵/۷۰ ^a	۴۷/۸۹ ^{cdef}	۱۶/۷۹ ^{abc}	۶۹/۳۰ ^{abcd}	۴۰۹/۳ ^a
U10-B50-T120	۸/۲۴ ^{cd}	۸/۸۹ ^{ab}	۸/۵۴ ^{bc}	۵۶/۵۴ ^{ab}	۱۲/۳۳ ^d	۴۳/۹۶ ^{ef}	۲۹۰/۷ ^a
U10-B70-T120	۱۰/۱۵ ^{abcd}	۸/۲۱ ^{abc}	۹/۶۰ ^{bc}	۵۴/۶۷ ^{bc}	۱۲/۶۴ ^d	۴۹/۵۴ ^{def}	۲۳۵/۲ ^a
U30-B50-T120	۱۱/۸۰ ^{abcd}	۶/۴۶ ^{abcd}	۱۵/۸۱ ^a	۴۸/۱۳ ^{cdef}	۱۷/۰۹ ^{ab}	۶۷/۸۹ ^{abcd}	۴۹۴/۹ ^a
U30-B70-T120	۱۳/۳۸ ^{abc}	۴/۲۱ ^{bcd}	۱۸/۲۸ ^a	۴۵/۳۶ ^{ef}	۱۸/۷۷ ^a	۷۷/۰۸ ^{ab}	۵۲۱/۷ ^a
U10-B50-T180	۹/۲۰ ^{abcd}	۸/۶۷ ^{ab}	۹/۲۰ ^{bc}	۵۵/۴۹ ^b	۱۲/۷۰ ^d	۴۶/۷۹ ^{ef}	۲۶۰/۸ ^a
U10-B70-T180	۱۰/۵۲ ^{abcd}	۷/۲۴ ^{abcd}	۱۰/۵۲ ^{bc}	۵۲/۹۷ ^{bcd}	۱۲/۸۰ ^d	۵۵/۵۰ ^{cdef}	۲۴۹/۵ ^a
U30-B50-T180	۱۲/۲۰ ^{abcd}	۵/۳۳ ^{abcd}	۱۷/۳۸ ^a	۴۶/۳۵ ^{def}	۱۸/۲۱ ^a	۷۲/۹۴ ^{abc}	۵۳۷/۲ ^a
U30-B70-T180	۱۴/۳۷ ^{ab}	۳/۵۵ ^{cd}	۱۸/۷۳ ^a	۴۳/۵۴ ^f	۱۹/۰۸ ^a	۷۹/۲۷ ^a	۴۶۰/۶ ^a
U10-B50-T240	۸/۵۴ ^{bcd}	۸/۴۲ ^{ab}	۱۰/۱۴ ^{bc}	۵۴/۱۶ ^{cb}	۱۳/۲۰ ^{cd}	۵۰/۳۷ ^{def}	۳۴۷/۶ ^a
U10-B70-T240	۱۰/۷۰ ^{abcd}	۶/۹۷ ^{abcd}	۱۰/۷۰ ^{bc}	۵۲/۴۰ ^{bcd}	۱۲/۷۹ ^d	۵۷/۰۴ ^{bcd}	۲۴۷/۶ ^a
U30-B50-T240	۱۲/۴۳ ^{abcd}	۴/۷۷ ^{abcd}	۱۸/۵۲ ^a	۴۴/۵۹ ^f	۱۹/۱۳ ^a	۷۵/۶۱ ^{abc}	۷۷۷/۹ ^a
U30-B70-T240	۱۴/۹۳ ^a	۲/۸۴ ^d	۱۸/۹۳ ^a	۴۲/۶۹ ^f	۱۹/۱۵ ^a	۸۱/۵۳ ^a	۳۹۴/۹ ^a

حروف یکسان در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است.

در بررسی اثر اولتراسوند بر میزان روشنایی، قرمزی و زردی نمونه‌های آلوده خشک‌شده، با ملاحظه جدول ۳ و اشکال ۲، ۳ و ۴ می‌توان دریافت که با اعمال اولتراسوند و افزایش زمان آن از ۱۰ به ۳۰ دقیقه و با ثابت در نظر گرفتن غلظت محلول اسمزی و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی، میزان روشنایی و زردی این تیمارها در مقایسه با تیمار کنترل افزایش و میزان قرمزی کاهش یافته است. علت این امر می‌تواند به دلیل خارج شدن اکسیژن، تغییر شکل و تخریب سلول‌ها در اثر استفاده از امواج اولتراسوند باشد که از واکنش اکسیداسیون آنزیمی جلوگیری می‌کند. پژوهش‌گران علت تخریب و تجزیه رنگدانه‌های مواد غذایی را قرار

گرفتن طولانی مدت لایه سطحی مواد غذایی در معرض هوا و دمای بالا عنوان کرده‌اند (تای‌واری و همکاران، ۲۰۱۰). با این وجود، اولتراسوند با ایجاد انقباض‌ها و انبساط‌های پی‌درپی و ایجاد کانال‌های میکروسکوپی طولی‌تر، زمان خشک‌شدن را کاهش داده و نمونه‌های آلو مدت زمان کمتری در معرض دمای بالا قرار می‌گیرند. در نتیجه، از تخریب بیشتر رنگ‌دانه‌های موجود در نمونه‌های آلو جلوگیری می‌کند. این نتیجه با نتایج برخی از پژوهش‌گران که به بررسی کاربرد پیش‌ تیمار اولتراسوند بر تغییرات پارامترهای رنگی و انتقال جرم در طی فرآیند خشک‌کردن پرداختند، مطابقت دارد (دنگ و ژائو، ۲۰۰۸a؛ دنگ و ژائو، ۲۰۰۸b؛ اورتونو و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به جدول ۳، در ارتباط با تأثیر آب‌گیری اسمزی بر میزان روشنایی، قرمزی و زردی مشاهده می‌شود که در شرایط ثابت زمان اولتراسوند و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی، با افزایش غلظت محلول اسمزی از بریکس ۵۰ به ۷۰، میزان روشنایی و زردی افزایش و میزان قرمزی کاهش یافته است. علت این موضوع، افزایش فشار اسمزی و جذب مواد جامد محلول بیشتر در طی آب‌گیری اسمزی می‌باشد که این امر موجب انتقال اکسیژن کمتر به هنگام خشک‌کردن به سطح نمونه‌ها شده و میزان قهوه‌ای شدن و تجربه رنگ‌دانه‌های نمونه‌های آلو کاهش پیدا می‌کند. اما با این حال، افزایش میزان روشنایی و زردی و کاهش میزان قرمزی با افزایش بریکس محلول اسمزی بین تیمارهای مختلف از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. همچنین، جدول ۳ نشان می‌دهد که در نمونه‌های پیش‌ تیمار شده با تلفیق اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی، با ثابت در نظر گرفتن زمان اولتراسوند و غلظت محلول اسمزی، با افزایش زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی از ۶۰ به ۲۴۰ دقیقه، میزان روشنایی و زردی نمونه‌های آلو افزایش و میزان قرمزی کاهش پیدا می‌کند. علت این موضوع را می‌توان به افزایش خروج آب از بافت آلو و ورود ماده جامد محلول بیشتر به داخل آن در طی آب‌گیری اسمزی نسبت داد.

از سوی دیگر، با توجه به جدول ۳ دیده می‌شود که در نمونه‌های پیش‌ تیمار شده با اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی، با افزایش زمان اولتراسوند، غلظت محلول اسمزی و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی، میزان تغییر رنگ کلی در مقایسه با تیمار کنترل کاهش می‌یابد. کاهش میزان تغییر رنگ کلی به دلیل افزایش میزان روشنایی و زردی و کاهش میزان قرمزی نمونه‌های آلو پیش‌ تیمار شده با اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی می‌باشد.

همچنین، در بررسی اثر دو پیش‌ تیمار اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی بر روی شاخص کرومای تیمارهای مختلف (جدول ۳) ملاحظه شد که میزان این شاخص، با افزایش زمان اولتراسوند، بریکس

محلول اسمزی و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی، افزایش می‌یابد. تغییرات شاخص کروما، متناسب با تغییرات ایجاد شده در میزان زردی و قرمزی تیمارهای مختلف در اثر دو پیش‌تیمار اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی است.

پارامتر رنگی دیگری که در جدول ۳ نیز آمده است، زاویه هیو می‌باشد که میزان زردی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. بدین ترتیب که با افزایش میزان زردی نمونه‌ها، زاویه هیو نیز افزایش می‌یابد. با ملاحظه این جدول می‌توان دریافت که تیمار کنترل و U30-B70-T240 به ترتیب کمترین و بیشترین میزان زاویه هیو را به خود اختصاص داده‌اند. علت افزایش میزان زاویه هیو با افزایش زمان اولتراسوند، بریکس محلول اسمزی و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی، جلوگیری از تخریب و اکسیداسیون رنگ‌دانه‌های موجود در نمونه آلو در اثر استفاده از پیش‌تیمارهای اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی می‌باشد که این مسئله نشان‌دهنده میزان زردی بالا در نمونه‌های پیش‌تیمار شده است.

علاوه بر موارد فوق، میزان شاخص قهوه‌ای شدن نیز با افزایش زمان اولتراسوند، بریکس محلول اسمزی و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی، افزایش یافت (جدول ۳)، که این مسئله به دلیل افزایش بیشتر میزان زردی در نمونه‌های پیش‌تیمار شده است. با این حال بین مقادیر قهوه‌ای شدن تیمارهای مختلف، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد.

مدل‌سازی پارامترهای رنگی: جدول‌های ۴، ۵ و ۶ (الف و ب)، پارامترهای آماری حاصل از برازش تیمارهای مختلف را توسط مدل‌های مختلف بر اساس جدول ۲ نشان می‌دهند. با مقایسه مقادیر میانگین این پارامترها، می‌توان نتیجه گرفت که مدل پیشنهادی ۶ دارای بالاترین مقدار R^2 و پایین‌ترین مقادیر $RMSE$ و SSE نسبت به بقیه مدل‌های جدول ۲ می‌باشد. میانگین مقادیر ضریب تبیین میزان روشنایی، قرمزی و زردی مدل مذکور در بین تیمارهای مختلف، به ترتیب ۰/۹۹۶۶، ۰/۹۹۶۵ و ۰/۹۹۶۶ می‌باشد. بنابراین از بین ۶ مدل مورد مطالعه، مدل پیشنهادی ۶ به عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی تغییرات پارامترهای رنگی روشنایی، قرمزی و زردی آلو در طول خشک‌شدن انتخاب شد. در اشکال ۲، ۳ و ۴ (الف، ب، ج و د)، علاوه بر تأثیر اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی بر میزان روشنایی، قرمزی و زردی تیمارهای مختلف، می‌توان برازش تغییرات روشنایی، قرمزی و زردی نمونه‌های آلو در طول خشک‌شدن آن‌ها را نیز با مدل پیشنهادی (مدل ۶ جدول ۲) مشاهده کرد. همان‌طور که در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، انطباق خوبی بین مقادیر آزمایشی پارامترهای رنگی میزان روشنایی، زردی و قرمزی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط این مدل در همه تیمارهای مورد مطالعه وجود

دارد.

معادلات ۶ تا ۱۴، به ترتیب ضرایب K_1 ، K_2 و K_3 را برای پارامترهای رنگی میزان روشنایی، قرمزی و زردی در مدل توسعه یافته پیشنهادی (مدل ۶) را نشان می‌دهند که از آنالیز رگرسیونی غیرخطی به دست آمده‌اند. در این معادلات، U زمان اولتراسوند بر حسب دقیقه، B غلظت محلول اسمزی بر حسب بریکس و T زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی بر حسب دقیقه است.

جدول ۴- الف- پارامترهای آماری مدل‌های ۱، ۲ و ۳ بر اساس جدول ۲ برای میزان روشنایی تیمارهای مختلف.

مدل									تیمار
۳			۲			۱			
RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	
۰/۷۴۲۷	۱/۶۵۵	۰/۹۹۸۴	۱۰/۹۶	۶۰۱/۱	۰/۴۲۱۵	۳/۶۳۲	۶۵/۹۴	۰/۹۳۶۵	Control
۰/۵۶۱۸	۰/۹۴۶۹	۰/۹۹۸۷	۶/۰۲۸	۱۸۱/۷	۰/۷۴۲۰	۱/۹۰۵	۱۸/۱۴	۰/۹۷۴۲	U10-B50-T60
۰/۶۱۸۸	۱/۱۴۹	۰/۹۹۸۳	۴/۶۶۸	۱۰۹	۰/۸۴۱۲	۱/۲۱۵	۷/۳۸۴	۰/۹۸۹۲	U10-B70-T60
۱/۱۱۱	۳/۷۰۲	۰/۹۹۴۴	۳/۲۳۴	۵۲/۲۹	۰/۹۲۱۱	۰/۹۷۹۸	۴/۸	۰/۹۹۲۸	U30-B50-T60
۱/۳۰۸	۵/۱۳۴	۰/۹۹۱۵	۲/۱۰۱	۲۲/۰۷	۰/۹۶۳۵	۱/۱۳۵	۶/۴۴۱	۰/۹۸۹۳	U30-B70-T60
۱/۱۸۴	۴/۲۰۹	۰/۹۹۴۵	۵/۴۶۹	۱۴۹/۵	۰/۸۰۳۳	۱/۳۵۱	۹/۱۳۲	۰/۹۸۸۰	U10-B50-T120
۰/۵۶۲۷	۰/۹۴۹۸	۰/۹۹۸۷	۲/۵۸۷	۳۳/۴۶	۰/۹۴۹۳	۱/۰۷۲	۵/۷۴۸	۰/۹۹۲۰	U10-B70-T120
۱/۳۶۸	۵/۶۱۲	۰/۹۹۲۶	۳/۶۴۶	۶۶/۴۶	۰/۹۱۲۴	۱/۰۷۹	۵/۸۲۲	۰/۹۹۲۳	U30-B50-T120
۰/۸۹۰۹	۲/۳۸۱	۰/۹۹۶۴	۱/۴۹۹	۱۱/۲۴	۰/۹۸۳۰	۰/۸۱۰۱	۳/۲۸۲	۰/۹۹۵۰	U30-B70-T120
۰/۵۲۵۸	۰/۸۲۹۳	۰/۹۹۸۹	۷/۳۲۰	۲۶۷/۹	۰/۶۳۶۸	۲/۹۵۱	۴۳/۵۳	۰/۹۴۱۰	U10-B50-T180
۱/۰۰۴	۳/۰۲۱	۰/۹۹۵۸	۴/۷۱۹	۱۱۱/۴	۰/۸۴۵۲	۱/۲۸۳	۸/۲۲۸	۰/۹۸۸۶	U10-B70-T180
۰/۹۴۵۷	۲/۶۸۳	۰/۹۹۶۲	۳/۹۷۳	۷۸/۹۱	۰/۸۸۹۳	۱/۱۲۰	۶/۲۶۷	۰/۹۹۱۲	U30-B50-T180
۰/۶۴۱۸	۱/۲۳۶	۰/۹۹۸۱	۳/۱۳۷	۴۹/۱۹	۰/۹۲۴۲	۰/۸۳۷۸	۳/۵۱۰	۰/۹۹۴۶	U30-B70-T180
۱/۵۵۲	۷/۲۲۲	۰/۹۹۱۰	۵/۹۹۴	۱۷۹/۶	۰/۷۷۵۲	۱/۵۸۱	۱۲/۵۰	۰/۹۸۴۴	U10-B50-T240
۰/۵۴۵۴	۰/۸۹۲۴	۰/۹۹۸۷	۳/۹۸۰	۷۹/۲۱	۰/۸۸۵۴	۰/۸۸۸۱	۳/۹۴۴	۰/۹۹۴۳	U10-B70-T240
۰/۹۱۳۱	۲/۵۰۱	۰/۹۹۶۵	۳/۴۲۴	۵۸/۶۲	۰/۹۱۷۴	۰/۸۷۳۸	۳/۸۱۷	۰/۹۹۴۶	U30-B50-T240
۱/۱۸۷	۴/۲۲۴	۰/۹۹۳۳	۳/۱۳۴	۴۹/۱۲	۰/۹۲۲۲	۱/۳۲۹	۸/۸۳۷	۰/۹۸۶۰	U30-B70-T240

جدول ۴-ب- پارامترهای آماری مدل‌های ۴، ۵ و ۶ براساس جدول ۲ برای میزان روشنی تیمارهای مختلف.

مدل									تیمار
۶			۵			۴			
RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	
۰/۷۰۳۷	۱/۴۸۵	۰/۹۹۸۶	۱/۲۵۱	۴/۶۹۳	۰/۹۹۵۵	۴/۴۰۴	۵۸/۱۹	۰/۹۴۴۰	Control
۰/۶۹۳۸	۱/۴۴۴	۰/۹۹۷۹	۰/۷۹۲۷	۱/۸۸۵	۰/۹۹۷۳	۱/۸۲۶	۱۰	۰/۹۸۵۸	U10-B50-T60
۰/۳۱۹۰	۰/۳۰۵۳	۰/۹۹۹۶	۰/۷۵۵۲	۱/۷۱۱	۰/۹۹۷۵	۰/۷۸۸۱	۱/۸۶۳	۰/۹۹۷۳	U10-B70-T60
۱/۱۶۷	۴/۰۸۵	۰/۹۹۳۸	۱/۱۱۵	۳/۷۳۳	۰/۹۹۴۴	۱/۳۲۴	۵/۲۵۶	۰/۹۹۲۱	U30-B50-T60
۱/۳۶۳	۵/۵۷۶	۰/۹۹۰۸	۱/۴۵۷	۶/۳۷۱	۰/۹۸۹۴	۱/۴۶۳	۶/۴۲۲	۰/۹۸۹۴	U30-B70-T60
۰/۸۸۵۸	۲/۳۵۴	۰/۹۹۶۹	۱/۲۱۳	۴/۴۱۳	۰/۹۹۴۲	۰/۹۴۵۷	۲/۶۸۳	۰/۹۹۶۵	U10-B50-T120
۰/۲۹۰۶	۰/۲۵۳۴	۰/۹۹۹۶	۰/۶۴۵۳	۱/۲۴۹	۰/۹۹۸۳	۰/۶۱۶۴	۱/۱۴۰	۰/۹۹۸۴	U10-B70-T120
۱/۱۸۹	۴/۲۴۱	۰/۹۹۴۴	۱/۳۵۶	۵/۵۱۸	۰/۹۹۲۷	۰/۹۸۴۳	۲/۹۰۷	۰/۹۹۶۲	U30-B50-T120
۰/۹۴۴۴	۲/۶۷۶	۰/۹۹۵۹	۰/۹۳۳۸	۲/۶۱۶	۰/۹۹۶۰	۱/۰۴	۳/۲۴۵	۰/۹۹۵۱	U30-B70-T120
۰/۴۶۳۶	۰/۶۴۴۶	۰/۹۹۹۱	۱/۱۰۳	۳/۶۵۰	۰/۹۹۵۱	۲/۳۹۷	۱۷/۲۴	۰/۹۷۶۶	U10-B50-T180
۰/۶۷۰۴	۱/۳۴۹	۰/۹۹۸۱	۱/۱۰۸	۳/۶۸۲	۰/۹۹۴۹	۰/۴۳۶۰	۰/۵۷۰۳	۰/۹۹۹۲	U10-B70-T180
۰/۹۲۱۴	۲/۵۴۷	۰/۹۹۶۴	۰/۹۰۱۳	۲/۴۳۷	۰/۹۹۶۶	۰/۹۶۴۷	۲/۷۹۲	۰/۹۹۶۱	U30-B50-T180
۰/۶۷۵۰	۱/۳۶۷	۰/۹۹۷۹	۰/۶۱۵۱	۱/۱۳۵	۰/۹۹۸۳	۰/۸۱۵۲	۱/۹۹۴	۰/۹۹۶۹	U30-B70-T180
۱/۰۳۲	۳/۱۹۲	۰/۹۹۶۰	۱/۶۲۹	۷/۹۵۸	۰/۹۹	۰/۴۲۷۹	۰/۵۴۹۳	۰/۹۹۹۳	U10-B50-T240
۰/۴۷۲۴	۰/۶۶۹۶	۰/۹۹۹۰	۰/۵۶۵۳	۰/۹۵۸۵	۰/۹۹۸۶	۰/۷۱۱۵	۱/۵۱۹	۰/۹۹۷۸	U10-B70-T240
۰/۸۹۸۶	۲/۴۲۳	۰/۹۹۶۶	۰/۹۰۳۹	۲/۴۵۱	۰/۹۹۶۵	۰/۹۵۹۳	۲/۷۶۱	۰/۹۹۶۱	U30-B50-T240
۱/۲۸۲	۴/۹۳۰	۰/۹۹۲۲	۱/۰۱۶	۳/۰۹۶	۰/۹۹۵۱	۱/۴۳۸	۶/۱۹۹	۰/۹۹۰۲	U30-B70-T240

جدول ۵-الف- پارامترهای آماری مدل‌های ۱، ۲ و ۳ بر اساس جدول ۲ برای میزان زردی تیمارهای مختلف.

مدل									تیمار
۳			۲			۱			
RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	
۱/۲۹۱	۴/۹۹۷	۰/۹۹۷۲	۱۴/۵۰	۱۰۵۱	۰/۴۰۲۱	۳/۶۵۷	۶۶/۸۸	۰/۹۶۲۰	Control
۱/۶۵۷	۸/۲۳۴	۰/۹۹۵۰	۱۲/۹۴	۸۳۶/۸	۰/۴۹۱۳	۳/۵۶۷	۶۳/۶۳	۰/۹۶۱۳	U10-B50-T60
۱/۸۴۴	۱۰/۲۰	۰/۹۹۳۶	۱۰/۶۴	۵۶۶/۱	۰/۶۴۴۱	۲/۶۸۲	۳۵/۹۷	۰/۹۷۷۴	U10-B70-T60
۱/۵۸۵	۷/۵۳۸	۰/۹۹۴۳	۸/۵۹۲	۳۶۹/۱	۰/۷۱۸۶	۲/۷۱۶	۳۶/۸۸	۰/۹۷۱۹	U30-B50-T60
۱/۶۸۶	۸/۵۳۲	۰/۹۹۱۹	۵/۶۲۰	۱۵۷/۹	۰/۸۴۹۳	۱/۹۷۶	۱۹/۵۲	۰/۹۸۱۴	U30-B70-T60
۱/۲۱۳	۴/۴۱۴	۰/۹۹۷۱	۱۱/۷۲	۶۸۶/۵	۰/۵۵۰۹	۳/۳۴۱	۵۵/۸۲	۰/۹۶۳۵	U10-B50-T120
۰/۸۵۹۹	۲/۲۱۸	۰/۹۹۸۴	۸/۹۶۸	۴۰۲/۱	۰/۷۱۶۰	۲/۴۸۸	۳۰/۹۵	۰/۹۷۸۱	U10-B70-T120
۱/۳۸۴	۵/۷۴۹	۰/۹۹۴۴	۶/۴۴۳	۲۰۷/۵	۰/۷۹۷۵	۲/۵۲۳	۳۱/۸۳	۰/۹۶۸۹	U30-B50-T120

نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی جلد (۵)، شماره ۱، ۱۳۹۲

۱/۶۶۰	۸/۲۶۸	۰/۹۹۰۸	۴/۵۰۷	۱۰۱/۶	۰/۸۸۶۷	۱/۷۹۳	۱۶/۰۷	۰/۹۸۲۱	U30-B70-T120
۱/۰۰۲	۳/۰۱۴	۰/۹۹۷۹	۱۲/۲۳	۷۴۸/۳	۰/۴۷۸۳	۴/۴۹۱	۱۰۰/۹	۰/۹۲۹۷	U10-B50-T180
۱/۲۱۸	۴/۴۵۱	۰/۹۹۶۶	۹/۴۶۰	۴۴۷/۴	۰/۶۶۲۶	۳/۱۰۸	۴۸/۳۱	۰/۹۶۳۶	U10-B70-T180
۱/۸۷۵	۱۰/۵۵	۰/۹۸۸۷	۵/۵۹۸	۱۵۶/۷	۰/۸۳۲۲	۲/۳۶۴	۲۷/۹۵	۰/۹۷۰۱	U30-B50-T180
۱/۳۲۸	۵/۲۸۸	۰/۹۹۳۴	۲/۷۲۳	۳۷/۰۷	۰/۹۵۴۰	۱/۰۱	۵/۰۹۷	۰/۹۹۳۷	U30-B70-T180
۱/۴۷۴	۶/۵۲۲	۰/۹۹۵۳	۱۰/۵۲	۵۵۳/۴	۰/۵۹۸۹	۳/۳۷۲	۵۶/۸۴	۰/۹۵۸۸	U10-B50-T240
۱/۳۸۳	۵/۷۴۲	۰/۹۹۵۷	۸/۷۶۳	۳۸۳/۹	۰/۷۱۳۳	۲/۵۹۲	۳۳/۵۹	۰/۹۷۴۹	U10-B70-T240
۲/۰۳۶	۱۲/۴۳	۰/۹۸۵۴	۶/۱۲۷	۱۸۷/۷	۰/۸۷۹۹	۳/۰۴۴	۴۶/۳۳	۰/۹۴۵۷	U30-B50-T240
۱/۲۷۲	۴/۸۵۵	۰/۹۹۳۸	۳/۶۸۸	۶۷/۹۹	۰/۹۱۲۶	۱/۴۹۱	۱۱/۱۲	۰/۹۸۵۷	U30-B70-T240

جدول ۵-ب- پارامترهای آماری مدل‌های ۴، ۵ و ۶ بر اساس جدول ۲ برای میزان زردی تیمارهای مختلف.

مدل									تیمار
۶			۵			۴			
RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	
۱/۰۰۹	۳/۰۵۶	۰/۹۹۸۳	۱/۶۰۶	۷/۷۳۸	۰/۹۹۵۶	۵/۳۲۴	۸۵/۰۵	۰/۹۵۱۶	Control
۱/۱۴۲	۳/۹۱۱	۰/۹۹۷۶	۲/۰۰۴	۱۲/۰۰۵	۰/۹۹۲۷	۴/۱۳۸	۵/۱۳۷	۰/۹۶۸۸	U10-B50-T60
۱/۴۱۵	۶/۰۱	۰/۹۹۶۲	۱/۹۰۷	۱۰/۹۱	۰/۹۹۳۱	۲/۶۶۷	۲۱/۳۴	۰/۹۸۶۶	U10-B70-T60
۰/۹۱۱۱	۲/۴۹	۰/۹۹۸۱	۱/۸۹۸	۱۰/۸۱	۰/۹۹۱۸	۱/۵۸۶	۷/۵۵۱	۰/۹۹۴۲	U30-B50-T60
۱/۲۴۲	۴/۶۳۱	۰/۹۹۵۶	۱/۹۳۷	۱۱/۲۶	۰/۹۸۹۳	۰/۳۳۸۴	۰/۳۴۳۵	۰/۹۹۹۷	U30-B70-T60
۰/۳۸۸۴	۰/۴۵۲۵	۰/۹۹۹۷	۱/۶۳۷	۸/۰۴۱	۰/۹۹۴۷	۳/۵۹	۳۸/۶۷	۰/۹۷۴۷	U10-B50-T120
۰/۵۱۸۰	۰/۸۰۴۸	۰/۹۹۹۴	۱/۰۸۴	۳/۵۲۷	۰/۹۹۷۵	۲/۲۵۸	۱۵/۳۰	۰/۹۸۹۲	U10-B70-T120
۰/۹۴۱۱	۲/۶۵۷	۰/۹۹۷۴	۱/۷۵۶	۹/۲۵۳	۰/۹۹۱۰	۰/۷۵۵۰	۱/۷۱۰	۰/۹۹۸۳	U30-B50-T120
۱/۳۲۰	۵/۲۲۷	۰/۹۹۴۲	۱/۹۳۷	۱۱/۲۶	۰/۹۸۷۴	۰/۶۲۹۱	۱/۱۸۷	۰/۹۹۸۷	U30-B70-T120
۱/۸۳۹	۹/۰۶۹	۰/۹۹۳۷	۱/۲۰۳	۴/۳۴۲	۰/۹۹۷۰	۴/۷۷۴	۶۸/۳۸	۰/۹۵۲۳	U10-B50-T180
۱/۰۸۷	۳/۵۴۵	۰/۹۹۷۳	۱/۴۳۳	۶/۱۶۱	۰/۹۹۵۴	۲/۶۰۴	۲۰/۳۴	۰/۹۸۴۷	U10-B70-T180
۱/۴۲۲	۶/۰۶۹	۰/۹۹۳۵	۲/۲۴۵	۱۵/۱۲	۰/۹۸۳۸	۰/۵۱۲۳	۰/۸۸۷۳	۰/۹۹۹۲	U30-B50-T180
۱/۱۹۲	۴/۲۶۴	۰/۹۹۴۷	۱/۲۵۸	۴/۷۴۴	۰/۹۹۴۱	۰/۸۸۴۷	۲/۳۴۸	۰/۹۹۷۱	U30-B70-T180
۰/۴۳۹۰	۰/۵۷۸۲	۰/۹۹۹۶	۱/۹۹۳	۱۱/۹۱	۰/۹۹۱۴	۲/۷۷۵	۲۳/۱۱	۰/۹۸۳۳	U10-B50-T240
۰/۶۹۰۸	۱/۴۳۲	۰/۹۹۸۹	۱/۶۸۹	۸/۵۶۰	۰/۹۹۳۶	۱/۷۲۲	۸/۸۹۲	۰/۹۹۳۴	U10-B70-T240
۱/۴۷۳	۶/۵۰۵	۰/۹۹۳۴	۲/۶۱۹	۲۰/۵۷	۰/۹۷۵۹	۰/۵۵۹۰	۰/۹۳۷۵	۰/۹۹۸۹	U30-B50-T240
۱/۰۰۹	۳/۰۵۳	۰/۹۹۶۱	۱/۵۵۳	۷/۲۳۱	۰/۹۹۰۷	۰/۵۳۵۴	۰/۸۶	۰/۹۹۸۹	U30-B70-T240

جدول ۶-الف- پارامترهای آماری مدل‌های ۲ و ۳ بر اساس جدول ۲ برای میزان قرمزی تیمارهای مختلف.

مدل									
۳			۲			۱			تیمار
RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	
۰/۴۵۰۵	۰/۶۰۸۸	۰/۹۹۶۵	۳/۹۸۲	۷۹/۲۸	۰/۵۴۸۷	-	-	-	Control
۰/۳۰۶۸	۰/۲۸۲۳	۰/۹۹۸۲	۳/۲۵۰	۵۲/۸۰	۰/۶۷۲۱	-	-	-	U10-B50-T60
۰/۴۰۲۴	۰/۴۸۵۷	۰/۹۹۶۷	۱/۷۸۱	۱۵/۸۶	۰/۸۹۱۵	-	-	-	U10-B70-T60
۰/۳۵۲۲	۰/۳۷۲۲	۰/۹۹۶۶	۲/۰۷۴	۲۱/۵۱	۰/۸۰۳۲	-	-	-	U30-B50-T60
۰/۴۳۱۶	۰/۵۵۸۹	۰/۹۹۲۹	۱/۴۶۱	۱۰/۶۸	۰/۸۶۴۳	-	-	-	U30-B70-T60
۰/۳۳۸۶	۱/۶۳۷	۰/۹۸۸۸	۳/۸۱۵	۷۲/۷۶	۰/۵۰۳۶	-	-	-	U10-B50-T120
۰/۳۶۴۰	۱/۷۵۱	۰/۹۸۶۷	۲/۵۰۱	۳۱/۲۸	۰/۷۶۲۰	-	-	-	U10-B70-T120
۰/۴۲۴۲	۰/۵۳۹۸	۰/۹۹۳۷	۲/۷۵۱	۳۷/۸۴	۰/۵۶۰۹	-	-	-	U30-B50-T120
۰/۱۴۹۶	۰/۰۶۷۱	۰/۹۹۸۵	۱/۴۶۷	۱۰/۷۶	۰/۷۶۵۷	-	-	-	U30-B70-T120
۰/۶۳۵۰	۱/۲۱۰	۰/۹۹۱۶	۳/۶۸۰	۶۷/۷۲	۰/۵۲۹۸	-	-	-	U10-B50-T180
۰/۵۳۶۴	۰/۸۶۳۱	۰/۹۹۱۸	۲/۸۳۴	۴۰/۱۶	۰/۶۱۸۳	-	-	-	U10-B70-T180
۰/۴۸۷۹	۰/۷۱۴۱	۰/۹۸۹۵	۱/۶۷۶	۱۴/۰۴	۰/۷۹۳۴	-	-	-	U30-B50-T180
۰/۴۰۷۲	۰/۴۹۷۳	۰/۹۸۸۵	۰/۸۰۲۵	۳/۲۲۰	۰/۹۲۵۷	-	-	-	U30-B70-T180
۰/۸۱۳۰	۱/۹۸۳	۰/۹۸۵۶	۳/۲۶۰	۵۳/۱۴	۰/۶۱۲۹	-	-	-	U10-B50-T240
۰/۳۳۴۶	۱/۶۱۹	۰/۹۸۴۲	۲/۴۰۱	۲۸/۸۱	۰/۷۱۸۹	-	-	-	U10-B70-T240
۰/۱۸۹۳	۰/۱۰۷۵	۰/۹۹۸۱	۱/۲۷۱	۸/۰۷۵	۰/۸۵۳۸	-	-	-	U30-B50-T240
۰/۲۸۰۴	۰/۲۳۵۸	۰/۹۹۳۰	۰/۹۸۸۰	۴/۸۸۱	۰/۸۵۵۴	-	-	-	U30-B70-T240

با توجه به عدم برازش مناسب داده‌های آزمایشی میزان قرمزی توسط مدل ۱، پارامترهای آماری این مدل آورده نشده است.

جدول ۶-ب- پارامترهای آماری مدل‌های ۴، ۵ و ۶ بر اساس جدول ۲ برای میزان قرمزی تیمارهای مختلف.

مدل									
۶			۵			۴			تیمار
RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	
۰/۰۱۲۲	۰/۰۴۴۴	۰/۹۹۹۷	۳/۶۵۷	۴۰/۱۳	۰/۷۷۱۶	۱/۱۸۸	۴/۲۳۵	۰/۹۷۵۹	Control
۰/۲۵۴۱	۰/۱۹۳۷	۰/۹۹۸۸	۳/۳۸۲	۳۴/۳۲	۰/۸۸۶۸	۰/۸۹۸۶	۲/۴۲۳	۰/۹۸۵۰	U10-B50-T60
۰/۳۴۷۰	۰/۳۶۱۱	۰/۹۹۷۵	۳/۰۵۵	۲۷/۹۹	۰/۸۰۸۴	۰/۲۹۲۸	۰/۲۵۷۲	۰/۹۹۸۲	U10-B70-T60
۰/۱۷۵۷	۰/۰۹۲۶	۰/۹۹۹۲	۲/۸۳۹	۲۴/۱۸	۰/۷۷۸۷	۰/۳۳۱۲	۰/۳۲۹۰	۰/۹۹۷۰	U30-B50-T60
۰/۳۱۸۰	۰/۳۰۳۴	۰/۹۹۶۱	۲/۶۴۴	۲۰/۹۷	۰/۸۳۳۵	۰/۱۲۲۸	۰/۰۴۵۳	۰/۹۹۹۴	U30-B70-T60
۰/۳۵۶۳	۰/۳۸۰۹	۰/۹۹۷۴	۳/۰۹۸	۲۸/۸۰	۰/۸۰۳۵	۱/۱۱۸	۳/۷۵۱	۰/۹۷۴۴	U10-B50-T120
۰/۵۹۰۴	۱/۰۴۶	۰/۹۹۳۰	۲/۹۷۶	۲۶/۵۷	۰/۷۹۷۸	۰/۳۴۹۱	۰/۳۶۵۷	۰/۹۹۷۲	U10-B70-T120
۰/۱۷۱۴	۰/۰۸۸۱	۰/۹۹۹۰	۲/۵۴۴	۱۹/۴۲	۰/۷۷۴۷	۰/۷۷۹۲	۱/۸۲۱	۰/۹۷۸۹	U30-B50-T120

نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی جلد (۵)، شماره ۱، ۱۳۹۲

۰/۱۰۴۹	۰/۰۳۳۰	۰/۹۹۹۳	۲/۳۳۴	۱۶/۳۴	۰/۶۴۴۳	۰/۳۸۴۱	۰/۴۴۲۷	۰/۹۹۰۴	U30-B70-T120
۰/۲۸۱۰	۰/۲۳۶۹	۰/۹۹۸۴	۳/۱۲۶	۲۹/۳۲	۰/۷۹۶۴	۱/۰۷۶	۳/۴۷۵	۰/۹۷۵۹	U10-B50-T180
۰/۲۶۰۱	۰/۲۰۲۹	۰/۹۹۸۱	۲/۷۸۴	۲۳/۲۵	۰/۷۷۹۰	۰/۶۸۷۶	۱/۴۱۸	۰/۹۸۶۵	U10-B70-T180
۰/۳۴۳۸	۰/۳۵۴۵	۰/۹۹۴۸	۲/۵۷۰	۱۹/۸۱	۰/۷۰۸۵	۰/۲۵۸۹	۰/۲۰۱۱	۰/۹۹۷۰	U30-B50-T180
۰/۳۵۹۴	۰/۳۸۷۵	۰/۹۹۱۱	۲/۳۷۸	۱۶/۹۷	۰/۶۰۸۳	۰/۲۴۴۰	۰/۱۷۸۶	۰/۹۹۵۹	U30-B70-T180
۰/۵۹۶۹	۱/۰۶۹	۰/۹۹۲۲	۳/۱۱۱	۲۹/۰۴	۰/۷۸۸۴	۰/۸۰۷۸	۱/۹۵۷	۰/۹۸۵۷	U10-B50-T240
۰/۵۱۶۶	۰/۸۰۰۶	۰/۹۹۲۲	۲/۸۳۹	۲۴/۱۸	۰/۷۶۴۱	۰/۳۹۴۶	۰/۴۶۷۱	۰/۹۹۵۴	U10-B70-T240
۰/۱۵۷۷	۰/۰۷۴۶	۰/۹۹۸۶	۲/۳۸۱	۱۷/۰۱	۰/۶۹۲۱	۰/۲۳۶۹	۰/۱۵۴۵	۰/۹۹۷۲	U30-B50-T240
۰/۲۰۳۲	۰/۱۲۳۹	۰/۹۹۶۳	۲/۲۸۳	۱۵/۶۳	۰/۵۳۳۷	۰/۱۰۰۳	۰/۰۳۰۲	۰/۹۹۹۱	U30-B70-T240

ضرایب K_1 ، K_2 و K_3 حاصل از آنالیز رگرسیونی مدل پیشنهادی برای میزان روشنایی:

$$R^2=۰/۹۸ \quad (\text{معادله ۶})$$

$$K_1 = -9.59 \times 10^{-10} \times (U \times B \times T)^2 - 6.98 \times 10^{13} \times U^2 + 5.99 \times 10^{12} \times B^2 + 1.14 \times 10^{-3} \times T^2 + 7.96 \times 10^{-4} \times (U \times B \times T) + 5.33 \times 10^{-2} \times (U \times B) - 1.1 \times 10^{-2} \times (U \times T) + 2.79 \times 10^{15} \times U - 7.18 \times 10^{14} \times B - 6.01 \times 10^{-1} \times T$$

$$R^2=۰/۹۲ \quad (\text{معادله ۷})$$

$$K_2 = -4.24 \times 10^{-4} \times U^2 - 3.64 \times 10^{-6} \times T^2 + 1.21 \times 10^{-4} \times (U \times B) + 1.49 \times 10^{-5} \times (U \times T) + 1.11 \times 10^{-3} \times U - 6.06 \times 10^{-3} \times B + 9.33 \times 10^{-4} \times T + .5648$$

$$R^2=۰/۹۴ \quad (\text{معادله ۸})$$

$$K_3 = -1.63 \times 10^{-10} \times (U \times B \times T)^2 - 1.45 \times 10^{13} \times U^2 + 1.25 \times 10^{12} \times B^2 + 2.72 \times 10^{-5} \times T^2 + 3.3 \times 10^{-4} \times (U \times B \times T) - 2.23 \times 10^{-2} \times (U \times B) - 8.54 \times 10^{-3} \times (U \times T) + 5.82 \times 10^{14} \times U - 1.49 \times 10^{14} \times B - 1.13 \times 10^{-1} \times T$$

ضرایب K_1 ، K_2 و K_3 حاصل از آنالیز رگرسیونی مدل پیشنهادی برای میزان قرمزی:

$$R^2=۰/۹۸ \quad (\text{معادله ۹})$$

$$K_1 = 3.54 \times 10^{-10} \times (U \times B \times T)^2 + 3.17 \times 10^{13} \times U^2 - 2.72 \times 10^{12} \times B^2 - 5.03 \times 10^{-4} \times T^2 - 3.79 \times 10^{-4} \times (U \times B \times T) - 9.72 \times 10^{-3} \times (U \times B) + 5.94 \times 10^{-3} \times (U \times T) - 1.27 \times 10^{15} \times U + 3.27 \times 10^{14} \times B + 3.01 \times 10^{-1} \times T$$

(معادله ۱۰) $R^2=۰/۹۴$

$$K_2 = -5.8 \times 10^{-12} \times (U \times B \times T)^2 - 6.92 \times 10^{11} \times U^2 + 5.94 \times 10^{10} \times B^2 \\ - 4.34 \times 10^{-6} \times T^2 + 7.91 \times 10^{-6} \times (U \times B \times T) + 2.76 \times 10^{-4} \times (U \times B) \\ - 2.31 \times 10^{-4} \times (U \times T) + 2.77 \times 10^{13} \times U - 7.12 \times 10^{12} \times B + 1.4 \times 10^{-4} \times T$$

(معادله ۱۱) $R^2=۰/۹۸$

$$K_3 = -2.12 \times 10^{-10} \times (U \times B \times T)^2 - 2.05 \times 10^{13} \times U^2 + 1.75 \times 10^{12} \times B^2 \\ + 3.6 \times 10^{-4} \times T^2 + 2.31 \times 10^{-4} \times (U \times B \times T) + 4.19 \times 10^{-3} \times (U \times B) \\ - 3.33 \times 10^{-3} \times (U \times T) + 8.19 \times 10^{14} \times U - 2.11 \times 10^{14} \times B - 2.04 \times 10^{-1} \times T$$

ضرایب K_1 ، K_2 و K_3 حاصل از آنالیز رگرسیونی مدل پیشنهادی برای میزان زردی:

(معادله ۱۲) $R^2=۰/۹۸$

$$K_1 = -1.15 \times 10^{-9} \times (U \times B \times T)^2 - 9.77 \times 10^{13} \times U^2 + 8.38 \times 10^{12} \times B^2 \\ + 1.45 \times 10^{-3} \times T^2 + 1.35 \times 10^{-3} \times (U \times B \times T) + 2.7 \times 10^{-2} \times (U \times B) \\ - 3.14 \times 10^{-2} \times (U \times T) + 3.91 \times 10^{15} \times U - 1.01 \times 10^{15} \times B - 8.79 \times 10^{-1} \times T$$

(معادله ۱۳) $R^2=۰/۹۵$

$$K_2 = -7.55 \times 10^{-12} \times (U \times B \times T)^2 - 1.01 \times 10^{12} \times U^2 + 8.65 \times 10^{10} \times B^2 \\ + 1.57 \times 10^{-5} \times T^2 + 9.08 \times 10^{-6} \times (U \times B \times T) + 5.17 \times 10^{-4} \times (U \times B) \\ - 1.85 \times 10^{-4} \times (U \times T) + 4.04 \times 10^{13} \times U - 1.04 \times 10^{13} \times B - 7.81 \times 10^{-3} \times T$$

(معادله ۱۴) $R^2=۰/۹۴$

$$K_3 = -1.15 \times 10^{-2} \times U^2 - 4.98 \times 10^{-3} \times (U \times B) + 1.74 \times 10^{-4} \times (U \times T) \\ + 8.81 \times 10^{-1} \times U + 2.67 \times 10^{-2} \times B + 9.94 \times 10^{-3} \times T$$

نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی جلد (۵)، شماره ۱، ۱۳۹۲

در جدول ۷، ضرایب K_1 ، K_2 و K_3 مربوط به میزان روشنایی، قرمزی و زردی مدل پیشنهادی، برای سطوح مختلف زمان اولتراسوند، غلظت محلول اسمزی و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی آمده است. مزیت مدل‌سازی فوق این است که با استفاده از معادلات ۶ تا ۱۴، ضرایب K_1 ، K_2 و K_3 را می‌توان بر حسب سه متغیر مستقل (زمان اولتراسوند، غلظت محلول اسمزی و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی) محاسبه کرد و با جای‌گذاری این ضرایب در مدل ۶ جدول ۲، میزان روشنایی، قرمزی و زردی را بدون انجام آزمایش در سطوح مختلف زمان اولتراسوند، غلظت محلول اسمزی و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی به‌دست آورد.

جدول ۷- مقادیر ضرایب K_1 ، K_2 و K_3 مدل پیشنهادی (مدل ۶ جدول ۲) برای میزان روشنایی، قرمزی و زردی تیمارهای مختلف.

تیمار	میزان روشنایی			میزان قرمزی			میزان زردی		
	K_3	K_2	K_1	K_3	K_2	K_1	K_3	K_2	K_1
U10-B50-T60	۶/۶۸۶	۰/۳۴۶۸	۳۱/۹۱	۹/۶۸۶	۰/۴۰۰۹	-۱۴/۹۴	۷/۱۷۴	۰/۵۴۳۲	۴۶/۴۹
U10-B70-T60	۶/۱۹۸	۰/۲۷۱۵	۳۳/۷۵	۱۱/۹۶	۰/۲۱۵۲	-۱۶/۷۲	۶/۲۷۳	۰/۴۳۲۲	۴۷/۱۰
U30-B50-T60	۲/۷۱۶	۰/۱۸۲۵	۳۸/۲۲	۸/۵۰۹	۰/۳۱۹۹	-۱۲/۹۸	۸/۷۷۶	۰/۳۹۰۷	۴۳/۳۵
U30-B70-T60	-۸/۹۰۹	۰/۱۰۳۴	۵۰/۶۲	۷/۵۱۹	۰/۲۶۹۶	-۱۱/۶۰	۱۰/۳۶	۰/۲۸۳۴	۴۱/۷۵
U10-B50-T120	۵/۰۴۲	۰/۲۹۲۹	۳۴/۸۳	۹/۲۱۹	۰/۵۳۶۰	-۱۴/۰۵	۷/۶۹۸	۰/۵۰۲۹	۴۵/۶۳
U10-B70-T120	۵/۸۶۷	۰/۲۵۹۰	۳۵/۰۹	۹/۴۴۵	۰/۳۴۲۸	-۱۴	۷/۶۹۵	۰/۳۹۰۳	۴۵/۱۶
U30-B50-T120	۴/۴۸۳	۰/۲۱۰۸	۳۸/۵۱	۶/۷۲۵	۰/۵۳۰۵	-۱۰/۷۲	۱۲/۱۳	۰/۳۲۱۶	۳۹/۵۴
U30-B70-T120	-۱/۵۷۴	۰/۱۳۹۴	۴۴/۷۸	۴/۵۹۲	۰/۳۷۶۷	-۸/۱۸۳	۱۱/۹۳	۰/۲۵۵۳	۳۹/۷۸
U10-B50-T180	۸/۹۳۰	۰/۴۵۶۴	۳۱/۴۷	۸/۹۸۴	۰/۵۴۰۶	-۱۳/۷۳	۹/۲۷۸	۰/۵۹۱۱	۴۳/۰۳
U10-B70-T180	۶/۳۹۱	۰/۲۷۰۹	۳۴/۷۳	۷/۶۴۹	۰/۴۶۶۹	-۱۲/۰۴	۸/۹۰۳	۰/۴۲۶۸	۴۳/۱۷
U30-B50-T180	۵/۷۸۲	۰/۲۲۲۴	۳۶/۸۸	۶/۱۸۷	۰/۳۳۱۸	-۱۰/۱۶	۱۲/۷۵	۰/۲۹۳۵	۳۸/۷۵
U30-B70-T180	۵/۸۸۴	۰/۱۹۶	۳۷/۷۹	۵/۸۵۷	۰/۲۰۱۸	-۹/۶۱۱	۴/۴۲۰	۰/۱۶۰۱	۴۶/۲۸
U10-B50-T240	۵/۳۸۴	۰/۳۲۴۳	۳۴/۹۰	۹/۰۰۶	۰/۴۴۷۹	-۱۳/۷۴	۸/۸۷۹	۰/۴۶۹۴	۴۳/۵۳
U10-B70-T240	۵/۲۴۳	۰/۲۳۱۳	۳۵/۶۸	۷/۷۸۷	۰/۳۸۶۵	-۱۲/۰۹	۸/۳۱۳	۰/۳۹۲۳	۴۳/۷۶
U30-B50-T240	۴/۳۰۸	۰/۱۹۷۸	۳۸/۴۹	۵/۹۳۰	۰/۲۷۲۴	-۹/۶۱۱	۱۵/۱۸	۰/۳۴۹۶	۳۵/۴۷
U30-B70-T240	۵/۶۰۳	۰/۱۸۰۴	۳۷/۹۵	۳/۶۶۷	۰/۳۰۸۳	-۷/۲۲۳	۱۲/۳۲	۰/۲۴۱۰	۳۷/۴۱

رسول قربانی و همکاران

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی بر فاکتورهای ارزیابی حسی تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱.

تیمار	رنگ	شکل ظاهری	عطر و طعم	بافت	ارزیابی کلی
Control	۲/۵ ^a	۲/۹ ^a	۲/۵ ^a	۴/۳۵ ^a	۲/۵ ^c
U10-B50-T60	۲/۳۵ ^a	۲/۷۵ ^a	۲/۶۵ ^a	۳/۸ ^a	۲/۷ ^{bc}
U10-B70-T60	۳/۷ ^a	۳/۱۵ ^a	۲/۸۷۵ ^a	۳/۷۷۵ ^a	۳/۴۷۵ ^{abc}
U30-B50-T60	۳/۹۵ ^a	۳/۵۷۵ ^a	۳/۴۷۵ ^a	۳/۳۵ ^a	۴ ^{abc}
U30-B70-T60	۴/۲ ^a	۴/۱ ^a	۳/۵ ^a	۳/۲۵ ^a	۴/۰۵ ^{abc}
U10-B50-T120	۲/۴۷۵ ^a	۲/۸۵ ^a	۲/۶۷۵ ^a	۳/۷۵ ^a	۳/۴ ^{abc}
U10-B70-T120	۳/۵ ^a	۳/۲ ^a	۳/۲۵ ^a	۳/۷ ^a	۳/۸۵ ^{abc}
U30-B50-T120	۴/۱ ^a	۳/۶ ^a	۳/۵۵ ^a	۳/۳۲۵ ^a	۴/۱۵ ^{abc}
U30-B70-T120	۴/۶ ^a	۴/۲ ^a	۳/۷۷۵ ^a	۳/۰۵ ^a	۴/۴۷۵ ^{ab}
U10-B50-T180	۳/۳۷۵ ^a	۳/۳۵ ^a	۳/۰۷۵ ^a	۳/۴۷۵ ^a	۳/۱ ^{abc}
U10-B70-T180	۳/۴۷۵ ^a	۳/۴۵ ^a	۳ ^a	۳/۵ ^a	۳/۶۵ ^{abc}
U30-B50-T180	۴ ^a	۴/۰۲۵ ^a	۳/۹۵ ^a	۳/۰۷۵ ^a	۴/۲۵ ^{abc}
U30-B70-T180	۴/۳۵ ^a	۳/۹۲۵ ^a	۴/۱۵ ^a	۳ ^a	۴/۶۵ ^a
U10-B50-T240	۳/۵۲۵ ^a	۳/۲۲۵ ^a	۲/۷ ^a	۳/۴ ^a	۳/۵۵ ^{abc}
U10-B70-T240	۳/۸ ^a	۳/۶۵ ^a	۳/۳ ^a	۳/۵۷۵ ^a	۳/۷ ^{abc}
U30-B50-T240	۴/۴ ^a	۴ ^a	۴/۲ ^a	۲/۹۵ ^a	۴/۳۷۵ ^{ab}
U30-B70-T240	۴/۴۵ ^a	۴/۲۵ ^a	۳/۹۵ ^a	۲/۹۲۵ ^a	۴/۵ ^a

ارزیابی حسی: مقایسه میانگین‌های اثر اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی بر فاکتورهای ارزیابی حسی (رنگ، شکل ظاهری، عطر و طعم، بافت و ارزیابی کلی) تیمارهای مختلف در جدول ۸ آورده شده است. نتایج ارزیابی حسی در رابطه با فاکتورهای ارزیابی حسی نشان می‌دهد که تیمارهای مختلف پیش‌تیمار شده با اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی در مقایسه با تیمار کنترل، امتیاز بالاتری به خود اختصاص داده‌اند. اما با این وجود، اثر متقابل استفاده هم‌زمان از اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی، از لحاظ آماری تأثیر معنی‌دار بر روی فاکتورهای مورد استفاده در آزمون ارزیابی حسی (به استثنای ارزیابی کلی) نداشت. طبق نتایج به‌دست آمده برای رنگ آلودگی خشک‌شده، به‌کارگیری و افزایش زمان اولتراسوند، باعث افزایش امتیاز ارزیابی حسی به فاکتور مذکور در مقایسه با تیمار کنترل گردید. همچنین، با اعمال آب‌گیری اسمزی و افزایش بریکس آن، رنگ محصول مطلوب‌تر شد. اما همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، بین

تیمارهای مختلف از نظر رنگ، از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار دیده نشد.

در رابطه با شکل ظاهری نمونه‌های پیش‌تیمار شده با اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی نیز نتایج حاصل نشان داد که با به کارگیری دو پیش‌تیمار مذکور، کیفیت شکل ظاهری محصول از نظر ارزیاب بهبود می‌یابد. اعمال امواج اولتراسوند، به دلیل پراکنده کردن ترکیبات مومی سطح پوست آلو و ایجاد کانال‌های میکروسکوپی، سبب خروج سریع‌تر و راحت‌تر رطوبت و ورود ماده جامد قندی (ساکارز) بیشتر به داخل آلو در طی آب‌گیری اسمزی می‌شود و این امر موجب کاهش چروکیدگی و دریافت امتیاز بالاتر برای این نمونه‌ها شده است.

همچنین، در نمونه‌های پیش‌تیمار شده با اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی نیز امتیاز ارزیاب‌ها به عطر و طعم افزایش یافت. این اثر را می‌توان به ورود ساکارز به داخل نمونه‌های آلو در طی آب‌گیری اسمزی نسبت داد که با افزایش زمان اولتراسوند، بریکس محلول اسمزی و زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی، طعم مطلوب در نمونه‌ها گسترش می‌یابد؛ اما از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در این ارتباط وجود نداشت.

از سوی دیگر، با توجه به نتایج ارزیابی حسی در رابطه با بافت نمونه‌ها، ملاحظه می‌شود که نمونه‌های پیش‌تیمار شده با اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی، امتیازات پایین‌تری از ارزیاب‌ها دریافت کرده‌اند و در این مورد تیمار کنترل، بالاترین امتیاز را در بین سایر تیمارها به خود اختصاص داده است. این امر را می‌توان به ورود ماده جامد محلول (ساکارز) به فضای بین سلولی آلو و کاهش تخلخل در اثر استفاده هم‌زمان از دو پیش‌تیمار مذکور نسبت داد.

علاوه بر موارد مذکور، از دیدگاه ارزیاب‌های حسی، نمونه‌های پیش‌تیمار شده با اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی از لحاظ ارزیابی کلی نیز مورد قبول بوده‌اند. در این ارتباط، نمونه‌های پیش‌تیمار شده در مقایسه با تیمار کنترل، به‌طور معنی‌داری امتیازات بالاتری دریافت کرده‌اند. این امر را می‌توان به کاهش چروکیدگی، عطر و طعم مناسب و همچنین رنگ روشن‌تر نمونه‌ها در اثر اعمال پیش‌تیمارهای اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی نسبت داد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر به‌کارگیری هم‌زمان اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی بر میزان تغییر پارامترهای رنگی (روشنایی، قرمزی و زردی) آلو و مدل‌سازی آن در طی فرآیند خشک‌کردن مورد مطالعه قرار

گرفت. نتایج نشان داد که پیش تیمارهای اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی از لحاظ آماری تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای رنگی دارند. افزایش زمان اولتراسوند از ۱۰ تا ۳۰ دقیقه، میزان روشنایی و زردی را در مقایسه با تیمار کنترل افزایش و میزان قرمزی را کاهش داد. علت این امر می‌تواند به دلیل خارج شدن اکسیژن، تغییر شکل و تخریب سلول‌ها در اثر امواج اولتراسوند باشد که از واکنش اکسیداسیون آنزیمی جلوگیری می‌کند. همچنین، آب‌گیری اسمزی موجب انتقال اکسیژن کمتر به‌هنگام خشک‌کردن به سطح نمونه‌ها شده و میزان قهوه‌ای شدن و تجزیه رنگ‌دانه‌های نمونه آلو را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، نتایج نشان داد که استفاده از دو پیش‌تیمار مذکور، باعث بهبود شاخص‌های رنگی (تغییر رنگ کلی، شاخص کروما و زاویه هیو) نمونه‌های آلو می‌شود. مدل‌سازی تغییرات پارامترهای رنگی تیمارها با مدل‌های مختلف نشان داد که مدل توسعه یافته پیشنهادی (مدل ۶ جدول ۲)، به‌عنوان بهترین مدل پیش‌بینی‌کننده پارامترهای رنگی آلو تحت شرایط مورد آزمایش، انطباق خوبی را با مقادیر آزمایشی دارد. نتایج به‌دست آمده از ارزیابی حسی نمونه‌های آلوی خشک‌شده نیز نمایانگر بهبود فاکتورهای ارزیابی حسی (رنگ، شکل ظاهری، عطر و طعم و ارزیابی کلی) نمونه‌های پیش‌تیمار شده با اولتراسوند و آب‌گیری اسمزی بود.

راهنمای استفاده از جداول و نمودارها

عنوان	علائم اختصاری
میزان روشنایی	L
میزان قرمزی	a
میزان زردی	b
پارامتر رنگی اولیه	C ₀
پارامتر رنگی در لحظه t	C
زمان خشک‌شدن	t
ضرایب مدلها	K ₁ , K ₂ , K ₃
ضریب تبیین	R ²
ریشه متوسط مربعات خطا	RMSE
مجموع مربعات خطا	SSE

منابع

- Askari, G.R., Emam-Djomeh, Z. and Mousavi, S.M. 2009. An Investigation of the Effects of Drying Methods and Conditions on Drying Characteristics and Quality Attributes of Agricultural Products during Hot Air and Hot Air/Microwave-Assisted Dehydration. *Drying Technology*, 27: 831-841.
- Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D. and Youssef, M.M. 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48, 410-427.
- Bialobrzewski, I. 2006. Simultaneous heat and mass transfer in shrinkable apple slab during drying. *Drying Technology*, 24, 551-559.
- Caro, A.D., Piga, A., Pinna, I., Fenu, P.M. and Agabbio, M. 2004. Effect of drying conditions and storage period on polyphenolic content, antioxidant capacity and ascorbic acid of prunes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 4780-4784.
- Changrue, V., Orsat, V. and Raghavan, G.S.V. 2008. Osmotically dehydrated microwave-vacuum drying of strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32: 798-816.
- Chemat, F., Zill-e-Huma, and Khan, M.K. 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 813-835.
- Chua, K.J., Chou, S.K., Hawlader, M.N.S., Mujumdar, A.S., and Ho, J.C. 2002. Modeling the moisture and temperature distribution within an agricultural product undergoing time-varying drying schemes. *Biosystems Engineering*, 81: 99-111.
- Correa, J.L.G., Dev, S.R.S., Garipey, Y., and Raghavan, G.S.V. 2011. Drying of Pineapple by Microwave-Vacuum with Osmotic Pretreatment. *Drying Technology*, 29: 1556-1561.
- Dadali, G., Demirhan, E., and Ozbek, B. 2007. Color change kinetics of spinach undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25: 1713-1723.
- Dehghannya, J., Emam-Djomeh, Z., Sotudeh-Gharebagh, R. and Ngadi, M. 2006. Osmotic Dehydration of Apple Slices with Carboxy-Methyl Cellulose Coating. *Drying Technology*, 24: 45-50.
- Deng, Y. and Zhao, Y. 2008a. Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, and microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). *LWT-Food Science and Technology*, 41: 1575-1585.
- Deng, Y. and Zhao, Y. 2008b. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). *Journal of Food Engineering*, 85: 84-93.
- Devahastin, S., and Niamnuy, C. 2010. Modelling quality changes of fruits and vegetables during drying: a review. *International Journal of Food Science and*

- Technology*, 45: 1755-1767.
- Doymaz, I. 2004. Effect of dipping treatment on air drying of plums. *Journal of Food Engineering*, 64: 465–470.
- Doymaz, I. 2005. Sun drying of figs: an experimental study. *Journal of Food Engineering*, 71: 403-407.
- Falade, K.O., Igbeka, J.C., and Ayanwuyi, F.A. 2007. Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*, 80: 979-985.
- Fernandes, F.A.N., Gallao, M.I. and Rodrigues, S. 2008. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT-Food Science and Technology*, 41: 604-610.
- Fernandes, F.A.N., and Rodrigues, S. 2008. Application of Ultrasound and Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration in Drying of Fruits. *Drying Technology*, 26(12): 1509-1516.
- Fuente-Blanco, S.D.L., Sarabia, E.R.-F.d., Acosta-Aparicio, V.M., Blanco-Blanco, A. and Gallego-Juarez, J.A. 2006. *Food drying process by power ultrasound*. *Ultrasonics*, 44, e523-e527.
- Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J. and Oliveira, J. 2006. Optimisation of dehydration and rehydration properties of cooked chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing microwave-hot air combination drying. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 177-183.
- Hassini, L., Azzouz, S., Peczkalski, R. and Belghith, A. 2007. Estimation of potato moisture diffusivity from convective drying kinetics with correction for shrinkage. *Journal of Food Engineering*, 79: 47-56.
- Ibitwar, B.B., Kaur, B., Arora, S., and Pathare, P.B. 2008. Osmo-Convective Dehydration of Plum. *International Journal of Food Engineering*, 4(8).
- Jazini, M.H., and Hatamipour, M.S. 2010. A new physical pretreatment of plum for drying. *Food and Bioprocess Processing*, 88, 133-137.
- Lombard, G.E., Oliveira, J.C., Fito, P., and Andres, A. 2008. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *Journal of Food Engineering*, 85: 277-284.
- Mandala, I.G., Anagnostaras, E.F., and Oikonomou, C.K. 2005. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 69: 307-316.
- Maskan, M. 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 169-175.
- Moreira, R., Chenlo, F., Chaguri, L. and Vazquez, G. 2011. Air drying and colour characteristics of chestnuts pre-submitted to osmotic dehydration with sodium chloride. *Food and Bioprocess Processing*, 89: 109-115.
- Nisha, P., Singhal, R.S., and Pandit, A.B. 2004. A study on the degradation kinetics of visual green colour in spinach (*Spinacea oleracea* L.) and the effect of salt

- therein. *Journal of Food Engineering*, 64: 135-142.
- Nunes, C., Saraiva, J.A., and Coimbra, M.A. 2008. Effect of candying on cell wall polysaccharides of plums (*Prunus domestica* L.) and influence of cell wall enzymes. *Food Chemistry*, 111: 538-548.
- Ortuno, C., Pérez-Munuera, I., Puig, A., and Riera, E. 2010. Influence of power ultrasound application on mass transport microstructure of orange peel during hot air drying. *Physics Procedia*, 3: 153-159.
- Sacilik, K., Elicin, A.K., and Unal, G. 2006. Drying kinetics of Uryani plum in a convective hot-air dryer. *Journal of Food Engineering*, 76: 362-368.
- Seiedlou, S., Ghasemzadeh, H.R., Hamdami, N., Alati, F.T., and Moghaddam, M. 2010. Convective drying of apple: mathematical modeling and determination of some quality parameters. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12: 171-178.
- Soria, A.C., and Villamiel, M. 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21: 323-331.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H., and Dickey, D.A. 1997. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. New York: McGraw-Hill.
- Sun, W.D. 2005. Emerging Technologies for Food Processing. California: Elsevier Academic Press.
- Tarhan, S. 2007. Selection of chemical and thermal pretreatment combination for plum drying at low and moderate drying air temperatures. *Journal of Food Engineering*, 79: 255-260.
- Tiwari, B.K., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P.J., and O'Donnell, C.P. 2010. Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17: 598-604.

Modeling Color Parameters during Plums Drying Pretreated with Ultrasound and Osmotic Dehydration

R. Ghorbani¹, J. Dehghannya^{2*}, S. Sadegh Seiedlou-Heris³
and B. Ghanbarzadeh⁴

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Food Science and Technology, University of Tabriz

²Assistant Prof., Dept. of Food Science and Technology, University of Tabriz

³Assistant Prof., Dept. of Agricultural Machinery, University of Tabriz

⁴Associate Prof., Dept. of Food Science and Technology, University of Tabriz

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of simultaneous application of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on changes of color parameters as well as sensory evaluation during hot air drying. In this evaluation, pretreatments including ultrasound time at two levels (10 and 30 minutes), osmotic solution concentrations at two levels (50 and 70 Brix) and immersion time in osmotic solution at four levels (60, 120, 180 and 240 min) were applied on plums and then the samples were dried at 80°C temperature and 1.4 m/s air velocity. The results showed that with decreasing moisture content during drying, the samples lightness "L" and yellowness "b" is reduced while the redness "a" is increased. The simultaneous application of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments led to a significant increase in "L" and "b" and a significant decrease in "a" compared to control samples. In addition, application of the pretreatments improved the other color indices (Total color change, Chroma index, Hue angle and browning index). Sensory evaluation results of the dried plums showed an improvement in terms of appearance, color, taste and overall acceptability of the samples pretreated with ultrasound and osmotic dehydration. Moreover, modeling the color parameters changes of the plums during drying was done through the models available in the literature as well as the models proposed in this study. Then, one of the proposed models was selected as the best model to predict color parameters changes of the plums under the selected experimental conditions.

Keywords: Total color change, Chroma index, Hue angle, Browning index

*Corresponding author; j_dehghannya@tabrizu.ac.ir

