



مدل‌سازی دانسیته ظاهری طی خشک کردن انگور پیش‌تیمار شده با اولتراسوند و کربوکسی متیل سلولز

منور طهماسبی‌پور^۱، *جلال دهقان‌نیا^۲، سیدصادق سیدلو هریس^۳ و بابک قنبرزاده^۴
^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
%0 € Ë ~ a x Ë •Z&Z Ë •{ x Ë •Z e

چکیده

خشک‌کردن مواد غذایی می‌تواند اثرات منفی بر ویژگی‌های کمی و کیفی این محصولات از جمله میزان تخلخل و چگالی ظاهری داشته باشد. بنابراین، به‌منظور بهبود این ویژگی‌ها، می‌توان از فن‌آوری‌های جدید استفاده کرد. در این پژوهش، تغییرات چگالی ظاهری طی خشک‌کردن انگور پیش‌تیمار شده با امواج فراصوت به مدت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و کربوکسی متیل سلولز در سه غلظت ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور خشک‌کردن دانه‌های انگور، از یک خشک‌کن تونلی آزمایشگاهی استفاده شد و چگالی ظاهری نمونه‌ها در طی خشک‌کردن محاسبه گردید. نتایج نشان داد که چگالی ظاهری نمونه‌های انگور، با افزایش زمان فراصوت و کاهش غلظت کربوکسی متیل سلولز، افزایش می‌یابد. در ادامه نیز، مدل‌سازی چگالی ظاهری، توسط مدل‌های موجود در منابع و مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش، صورت گرفت و یکی از مدل‌های پیشنهادی (مدل ۶ جدول ۲)، به‌عنوان مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی‌کننده تغییرات چگالی ظاهری در انگور هنگام خشک‌کردن انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: کشمش، تغییرات حجمی، پوشش خوراکی

*مسئول مکاتبه: j_dehghannya@tabrizu.ac.ir

مقدمه

درخت انگور با نام علمی ویتیس وینفرا^۱ از خانواده انگورسانان^۲ است. بر اساس آمار فائو^۳، ایران از نظر میزان تولید انگور، رتبه هفتم جهانی را به خود اختصاص داده است. خشک کردن، یکی از روش های رایج برای نگهداری میوه ها با هدف افزایش مدت زمان ماندگاری آنها است. متداول ترین روش خشک کردن، استفاده از جریان هوای داغ است که شامل انتقال جرم و حرارت هم زمان می باشد. خشک کردن با جریان هوای داغ دارای سرعت انتقال حرارت نسبتا پایین و نیاز به زمان طولانی تر برای خشک شدن محصول است (هاسینی و همکاران، ۲۰۰۷). انتقال جرم (از دست دادن آب) از یک سو و انتقال حرارت از سوی دیگر، تنش هایی را در ساختار سلولی ماده غذایی ایجاد می کند و منجر به کاهش حجم در آن می شود (مایور و سرنو، ۲۰۰۴؛ کوش و همکاران، ۲۰۰۸). کاهش در حجم ماده غذایی، افزایش چگالی ظاهری آن را در پی دارد که به عنوان یکی دیگر از عیوب خشک کردن با جریان هوای داغ محسوب می شود (کوش و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین، به منظور بهبود این ویژگی ها، می توان از فن آوری های جدید مانند امواج فراصوت، مایکروویو، مادون قرمز و...، استفاده کرد.

امواج فراصوت که به عنوان پیش تیمار و قبل از فرآیند خشک کردن با جریان هوای داغ، به منظور کاهش زمان مورد نیاز فرآیند به کار می رود (باسکاراچاریا و همکاران، ۲۰۰۹)، شکلی از انرژی است که توسط امواج صوتی در فرکانس های بالای محدوده شنوایی انسان (بالای ۱۶ کیلو هرتز) تولید می شود (ایلدریم و همکاران، ۲۰۱۱). این امواج، هنگامی که از ماده غذایی عبور کنند، تغییرات مؤثری را در آن ایجاد می کنند. شدت های بالای این امواج، باعث ایجاد و سپس ترکیدن حباب های هوای داخل محیط مایع می شوند که به این پدیده کاویتاسیون می گویند. ترکیدن غیرمتقارن این حباب ها در نزدیکی سطح ماده غذایی، باعث انتقال جریان فورانی از امواج فراصوت به سطح شده و با ایجاد انقباض و انبساط های پی در پی، باعث تشکیل کانال های میکروسکوپی و سهولت خروج آب از داخل محصول در طی خشک شدن می شود (کارسل و همکاران، ۲۰۰۷).

مطالعات زیادی در مورد تأثیر امواج فراصوت بر خشک شدن میوه های مختلف از جمله تأثیر تلفیق فرآیندهای فراصوت و اسمز در حین آب گیری روی ساختار بافتی آناناس (فرناندز و همکاران،

1- Vitis Vinefera
2- Vitaceae
3- FAO

۲۰۰۸)، ساپتاس^۱ (رودریگز و همکاران، ۲۰۰۹ الف) و پاپایا (رودریگز و همکاران، ۲۰۰۹ ب) و همچنین اثر امواج فراصوت روی سیستیک خشک کردن ورقه‌های موز (آزسوبل همکاران، ۲۰۱۰) صورت گرفته است که نتایج حاصل از آن‌ها نشان می‌دهند که پیش تیمار فراصوت، باعث کاهش زمان مورد نیاز در این فرآیند می‌شود. همچنین، در پژوهش دیگری، تأثیر امواج فراصوت، قبل از فرآیند خشک کردن سیب بررسی شده است (نوآکا و همکاران، ۲۰۱۲). در این پژوهش، نمونه‌های سیب در معرض امواج فراصوت با فرکانس ۳۵ کیلوهرتز و مدت زمان‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه قرار گرفت. نتایج حاصل، نشان از کاهش زمان خشک شدن با افزایش زمان فراصوت داشت. اما در عین حال، چگالی ظاهری بیشتر نمونه‌های سیب در کنار افزایش انتقال جرم با افزایش زمان غوطه‌وری در حمام فراصوت، دیده شد. این پژوهش‌گران، علت این موضوع را افزایش تخریب سلولی و تغییر شکل سلول‌ها برای خروج سریع‌تر رطوبت از داخل ماده غذایی بیان کردند.

علاوه بر امواج فراصوت، فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به منظور افزایش کیفیت مواد غذایی، مورد استفاده قرار می‌گیرند (کارنیرو داکنها و همکاران، ۲۰۰۹؛ واسکونز و همکاران، ۲۰۰۹). به‌عنوان مثال، کربوکسی متیل سلولز^۲ به عنوان یک بیوپلیمر آب‌دوست، با جذب مولکول‌های آب از ماده غذایی، از کاهش حجم و به دنبال آن افزایش چگالی ظاهری جلوگیری کرده و باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی مواد غذایی طی مدت زمان نگهداری می‌شود (بالدوین و همکاران، ۱۹۹۶؛ ملما، ۲۰۰۳؛ طغرل و ارسلان، ۲۰۰۴؛ دهقان‌نیا و همکاران، ۲۰۰۶). به‌عنوان مثال، بررسی تأثیر پوشش چیتوزان و کربوکسی متیل سلولز، روی انتقال جرم میوه پاپایا و سیب در هنگام آب‌گیری اسمزی نشان داد که مقدار خروج آب در نمونه‌های پوشش داده شده نسبت به نمونه‌های بدون پوشش بیشتر است و استفاده از پوشش-خوراکی می‌تواند باعث افزایش میزان کارایی آب‌گیری اسمزی شود (امام جمعه و همکاران، ۲۰۰۶؛ گارسیا و همکاران، ۲۰۱۰).

از طرف دیگر، با توجه به این که آب‌گیری، تغییرات بسیار زیادی را در حجم و سطح ماده غذایی ایجاد می‌کند و این امر می‌تواند چگالی ظاهری آن را تحت تأثیر قرار دهد (گوین، ۲۰۰۶؛ شولتز و همکاران، ۲۰۰۷)، از این‌رو، مدل‌سازی تغییرات چگالی ظاهری مواد غذایی با کاهش محتوای رطوبت

1- Sapotas

2- CMC

طی خشک شدن، ضرورت دارد (تالا و همکاران، ۲۰۰۴). خلوفی و همکاران (۲۰۱۰)، یک مدل نظری را با استفاده از مدل‌سازی چگالی ظاهری نمونه‌های سیب به‌عنوان تابعی از نسبت رطوبت، به دست آوردند. برازش داده‌های چگالی ظاهری حاصل از خشک‌شدن نمونه‌های سیب با مدل فوق، انطباق خوب این مدل را با داده‌های آزمایشی نشان داد.

بر اساس اطلاعات موجود، تاکنون تأثیر تلفیقی دو پیش‌تیمار فراصوت و کربوکسی متیل سلولز، بر چگالی ظاهری نمونه‌های انگور بررسی نشده است. بنابراین، هدف این پژوهش، بررسی تأثیر دو پیش‌تیمار مذکور روی چگالی ظاهری انگور و مدل‌سازی تغییرات آن توسط مدل‌های موجود در منابع و همچنین ارائه مدل‌های پیشنهادی جدید بود.

مواد و روش‌ها

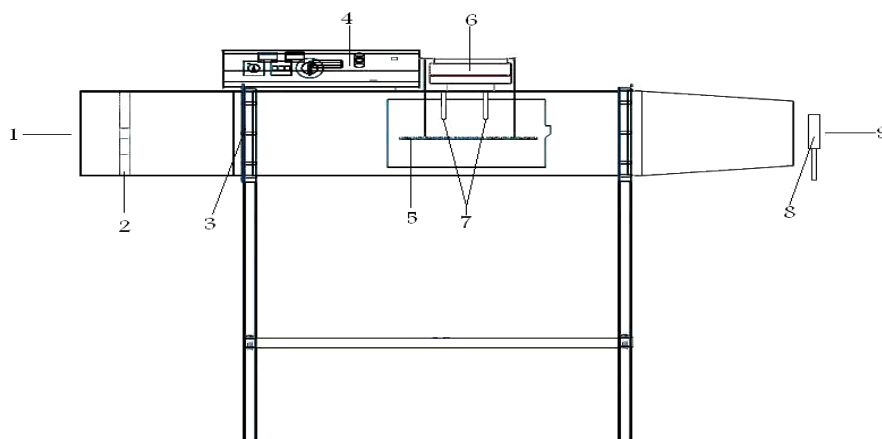
آماده‌سازی نمونه‌ها: انگور بی‌دانه از یک بازار محلی در تبریز و در شهریور ماه تهیه و تا زمان آزمایش‌ها در سردخانه با دمای 3 ± 1 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. حدود یک ساعت قبل از شروع آزمایش، نمونه‌ها از سردخانه خارج شدند تا دمای آن‌ها به دمای محیط برسد. برای بررسی تأثیر امواج فراصوت و پوشش خوراکی، از حمام امواج فراصوت (مدل USD-4R، ساخت ژاپن، مجهز به سیستم تنظیم فرکانس و زمان اولتراسونیکاسیون) با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز و در ۳ سطح زمانی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و کربوکسی متیل سلولز (ساخت شرکت مرک، آلمان) در ۳ سطح با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد استفاده شد. قبل از شروع خشک‌کردن، نمونه‌ها در معرض امواج فراصوت با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از گذشت مدت زمان‌های خاص، نمونه‌ها از حمام فراصوت خارج و آب سطحی آن‌ها با کاغذهای جاذب رطوبت گرفته شد. در ادامه، نمونه‌ها با محلول کربوکسی متیل سلولز 40 ± 2 درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۰ ثانیه پوشش‌دهی شده (قنبرزاده و همکاران، ۲۰۱۰) و به یک دستگاه خشک‌کن سینی‌دار طراحی شده در مقیاس آزمایشگاهی (مدل UOP 8 Tray dryer, Armfield, UK، مجهز به سیستم ثبت خودکار داده‌ها، واحد کنترل‌کننده دما، سرعت جریان و رطوبت نسبی هوا) منتقل شدند.

آماده‌سازی محلول پوشش‌خوراکی: محلول کربوکسی متیل سلولز با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد به صورت زیر تهیه شد:

ابتدا بشر حاوی آب مقطر، روی هیتر قرار گرفته و تا رسیدن به دمای ۷۰-۶۰ درجه سانتی‌گراد گرم شد. سپس، مقدار مشخصی کربوکسی متیل سلولز با توجه به هر آزمایش در چند نوبت و در فواصل زمانی مشخص به محلول فوق اضافه شد و هم‌زمان عمل هم‌زدن توسط مگنت صورت گرفت. پس از حل شدن کربوکسی متیل سلولز در آب، محلول شفافی به دست آمد که تا دمای 40 ± 2 درجه سانتی‌گراد به وسیله حمام آب و یخ خنک گردید (قنبرزاده و همکاران، ۲۰۱۰).

تجهیزات خشک‌کردن: شکل ۱، شماتیک خشک‌کن همرفتی سینی‌دار آزمایشگاهی مورد استفاده را نشان می‌دهد. این خشک‌کن دارای محفظه ورودی (شامل فن یا دمنده و گرم‌کن‌های الکتریکی)، محفظه میانی (شامل قفسه‌های خشک‌کن و خطی‌سازهای جریان هوا)، محفظه خروجی و تابلو فرمان (محفظه کنترل‌کننده دما و سرعت) می‌باشد (سیدلو و همکاران، ۲۰۱۰).

طرح کلی آزمایش‌ها: پس از روشن‌نمودن خشک‌کن و نیم ساعت کارکرد بدون نمونه‌گذاری، سرعت، دما و رطوبت نسبی آن تنظیم شد. سرعت هوای داخل خشک‌کن روی عدد ۱/۵ متر بر ثانیه و دمای آن روی ۶۵ درجه سانتی‌گراد تثبیت شد. سپس، نمونه‌ها بر روی سه عدد سینی توری به صورت لایه نازک چیده شدند. کاهش وزن نمونه‌ها هر ۵ دقیقه یک‌بار توسط ترازوی دیجیتال ثبت شد. عمل خشک‌کردن نمونه‌های انگور تا رسیدن به رطوبت ۰/۳۳ گرم آب بر گرم ماده خشک (۲۵ درصد رطوبت بر اساس مرطوب) در خشک‌کن ادامه یافت. آزمایش‌های خشک‌کردن در ۲ تکرار و ۱۳ تیمار انجام گرفت. جدول ۱ تیمارهای مختلف و علائم اختصاری آن‌ها را نشان می‌دهد. محتوای رطوبت نمونه‌های انگور نیز، قبل و بعد از خشک‌شدن، از طریق خشک‌کردن آن‌ها در آون همرفتی در دمای 105 ± 1 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت به دست آمد (AOAC، ۱۹۹۰) و بر حسب گرم آب بر گرم ماده غذایی گزارش شد.



شکل ۱- شماتیک خشک‌کن مورد استفاده: (۱) ورودی هوا؛ (۲) فن؛ (۳) گرم کن؛ (۴) تابلو فرمان یا محفظه کنترل کننده دما و سرعت؛ (۵) سینی سوراخ دار؛ (۶) ترازوی دیجیتال؛ (۷) سنسور رطوبت؛ (۸) سرعت سنخ دیجیتالی هوا؛ (۹) خروجی هوا.

جدول ۱- علائم اختصاری مورد استفاده برای تیمارهای مختلف

علامت اختصاری	تیمار	ردیف
Control	فراصوت با زمان ۰ دقیقه و کربوکسی متیل سلولز با غلظت صفر درصد	۱
U10	فراصوت با زمان ۱۰ دقیقه	۲
U20	فراصوت با زمان ۲۰ دقیقه	۳
U30	فراصوت با زمان ۳۰ دقیقه	۴
U10, CMC 0.1 %	فراصوت با زمان ۱۰ دقیقه و غلظت ۰/۱ درصد کربوکسی متیل سلولز	۵
U10, CMC 0.2 %	فراصوت با زمان ۱۰ دقیقه و غلظت ۰/۲ درصد کربوکسی متیل سلولز	۶
U10, CMC 0.3 %	فراصوت با زمان ۱۰ دقیقه و غلظت ۰/۳ درصد کربوکسی متیل سلولز	۷
U20, CMC 0.1 %	فراصوت با زمان ۲۰ دقیقه و غلظت ۰/۱ درصد کربوکسی متیل سلولز	۸
U20, CMC 0.2 %	فراصوت با زمان ۲۰ دقیقه و غلظت ۰/۲ درصد کربوکسی متیل سلولز	۹
U20, CMC 0.3 %	فراصوت با زمان ۲۰ دقیقه و غلظت ۰/۳ درصد کربوکسی متیل سلولز	۱۰
U30, CMC 0.1 %	فراصوت با زمان ۳۰ دقیقه و غلظت ۰/۱ درصد کربوکسی متیل سلولز	۱۱
U30, CMC 0.2 %	فراصوت با زمان ۳۰ دقیقه و غلظت ۰/۲ درصد کربوکسی متیل سلولز	۱۲
U30, CMC 0.3 %	فراصوت با زمان ۳۰ دقیقه و غلظت ۰/۳ درصد کربوکسی متیل سلولز	۱۳

جدول ۲- مدل‌های رگرسیونی مورد استفاده برای مدل‌سازی چگالی ظاهری

ردیف	نام مدل	فرمول ریاضی	مرجع
۱	Lozano et al, 1983	$\rho_b = a_1 + a_2 \left(\frac{X}{X_0} \right) + a_3 \exp \left(a_4 \frac{X}{X_0} \right)$	Lozano et al, 1983
۲	Madamba et al, 1994	$\rho_b = a_1 + a_2 W + a_3 W^2$	Madamba et al, 1994
۳	Koc et al, 2008	$\rho_b = a_1 + a_2 X + a_3 X^2$	Koc et al, 2008
۴	Daissa et al, 2010	$\rho_b = a_1 \left(\frac{X}{X_0} \right)^{a_2} + a_3$	Daissa et al, 2010
۵	مدل پیشنهادی	$\rho_b = (a_1 + a_2) W + a_1 W^{a_2}$	پژوهش حاضر
۶	مدل پیشنهادی	$\rho_b = \exp(-a_1 W^{a_2})$	پژوهش حاضر
۷	مدل پیشنهادی	$\rho_b = \exp(-a_1 W) + a_2$	پژوهش حاضر

محاسبه چگالی ظاهری: برای محاسبه مقدار چگالی ظاهری، حجم نمونه‌های انگور طی خشک‌کردن و در رطوبت‌های مختلف (۲/۵، ۲، ۱/۵، ۰/۵ و ۰/۳۳ (گرم آب بر گرم ماده خشک) با استفاده از روش جابه‌جایی تولوئن اندازه‌گیری شد (یان و همکاران، ۲۰۰۸).

مدل‌سازی چگالی ظاهری: جدول ۲، مدل‌های رگرسیونی مورد استفاده برای مدل‌سازی چگالی ظاهری نمونه‌های انگور را نشان می‌دهد. انواع مدل‌های تجربی و پیشنهادی، برای برازش تغییرات چگالی ظاهری نمونه‌های انگور در مقابل محتوای رطوبت (گرم آب بر گرم ماده غذایی و یا گرم آب بر گرم ماده خشک) و در بعضی موارد نسبت رطوبت (بدون بعد) آن‌ها، مورد استفاده قرار گرفت. برازش داده‌های آزمایشی با مدل‌های فوق و تعیین ضرایب آن‌ها در نرم‌افزار Matlab R2011a صورت گرفت. به منظور انتخاب مناسب‌ترین مدل توصیف‌کننده تغییرات چگالی ظاهری با کاهش محتوای رطوبت، معیارهای ضریب تبیین (R^2)، مجموع مربعات خطا^۱ و ریشه متوسط مربعات خطا^۲ بین داده‌های تجربی چگالی ظاهری و نتایج پیش‌بینی‌شده توسط هر مدل، محاسبه شد. در مقایسه بین

1- Sum Square Error

2- Root Mean Square Error

مدل‌ها، مدلی که دارای ضریب تبیین بیشتر و مجموع مربعات خطا و ریشه متوسط مربعات خطای کمتری باشد، بهتر می‌تواند تغییرات چگالی ظاهری را طی فرآیند توصیف کند. آنالیز رگرسیونی چندمتغیره نیز در ادامه برازش داده‌های چگالی ظاهری با مدل‌های مختلف جدول ۲ و به‌منظور برآورد ضرایب مدل‌های فوق به صورت توابعی از زمان فراصوت و غلظت کربوکسی متیل سلولز، توسط نرم‌افزار Excel 2010 صورت گرفت.

طرح آماری آزمایش‌ها: به‌منظور بررسی اثر امواج فراصوت و کربوکسی متیل سلولز روی چگالی ظاهری انگور، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور A (زمان فراصوت)، B (غلظت کربوکسی متیل سلولز) و نرم‌افزار SAS 9.1، برای آنالیز داده‌ها استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش بونفرونی^۱ صورت گرفت (استیل و همکاران، ۱۹۹۷).

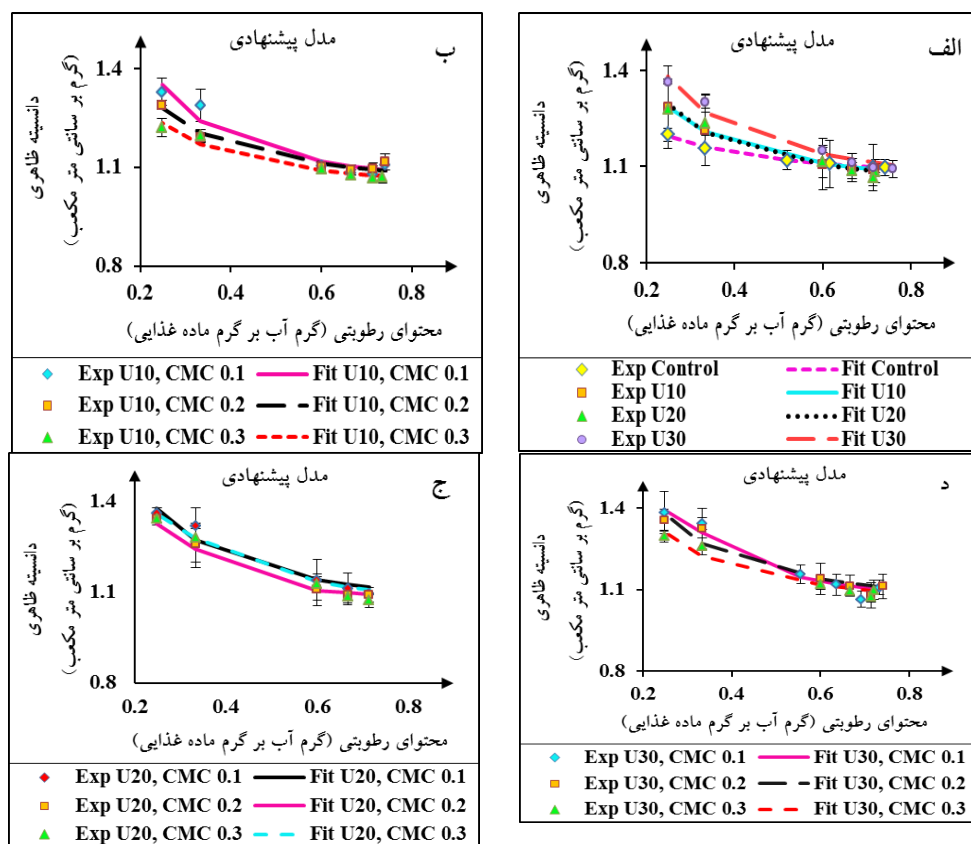
نتایج و بحث

شکل ۲ (الف، ب، ج و د) تغییرات چگالی ظاهری نمونه‌های انگور را طی خشک‌شدن و در بین تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱ نشان می‌دهد. با کاهش محتوای رطوبت، چگالی ظاهری تیمارهای مختلف، افزایش یافت. علت افزایش چگالی ظاهری، کاهش حجم نمونه‌گذاری در اثر خروج آب از داخل ماده غذایی است. این یافته در تطابق با یافته‌های گوین (۲۰۰۶) و تالا و همکاران (۲۰۰۴) می‌باشد. از سوی دیگر، جدول ۳ مقایسه میانگین‌های اثر امواج فراصوت و کربوکسی متیل سلولز را بر چگالی ظاهری تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱ نشان می‌دهد. تمامی پیش‌تیمارها، چگالی ظاهری بالاتری را در مقایسه با تیمار کنترل از خود نشان دادند؛ ولی بین مقادیر چگالی ظاهری آن‌ها به جز تیمار U30, CMC 0.1%، در مقایسه با تیمار کنترل، اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری وجود نداشت.

در بررسی اثر امواج فراصوت بر چگالی ظاهری نمونه‌های انگور، با توجه به شکل ۲ (الف) و جدول ۳، ملاحظه می‌شود که با افزایش زمان فراصوت، میزان چگالی ظاهری تیمارهای مختلف، افزایش یافته است. علت این موضوع، افزایش میزان تغییر شکل سلولی، خارج شدن از شکل طبیعی سلول‌ها و تخریب بیشتر آن‌ها برای خروج راحت‌تر و سریع‌تر رطوبت از ماده غذایی است که با

1- Bonferoni

افزایش زمان فراصوت اتفاق می‌افتد (نوآکا و همکاران، ۲۰۱۲). علاوه بر این، جدول ۳ نشان می‌دهد که در نمونه‌های پیش‌تیمارشده با تلفیق امواج فراصوت و کربوکسی متیل سلولز (شکل ۲ (ب، ج و د))، با ثابت در نظرگرفتن زمان فراصوت و افزایش غلظت کربوکسی متیل سلولز، چگالی ظاهری کاهش می‌یابد.



شکل ۲ (الف، ب، ج و د). تغییرات چگالی ظاهری در طول خشک‌شدن تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱ و برازش آن‌ها با مدل پیشنهادی (مدل ۶ جدول ۲).

علت این موضوع را می‌توان به باندشدن مولکول‌های آب با کربوکسی متیل سلولز، تشکیل فیلم به‌دلیل خاصیت ترموزلی این بیوپلیمر در هنگام خشک‌شدن، کاهش میزان خروج آب از نمونه‌های

انگور و در نهایت کاهش میزان چروکیدگی آن‌ها نسبت داد (آناپور و همکاران، ۲۰۱۲؛ ملما، ۲۰۰۳). با این وجود، اختلاف معنی‌داری بین این تیمارها وجود نداشت.

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های اثر امواج فراصوت و CMC بر چگالی ظاهری نهایی تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱.

چگالی ظاهری نهایی (گرم بر سانتی متر مکعب)	تیمار
۱/۱۹۴ ^a	Control
۱/۲۸۵ ^{ab}	U10
۱/۲۷۹ ^{ab}	U20
۱/۳۶۴ ^{ab}	U30
۱/۳۲۸ ^{ab}	U10, CMC 0.1%
۱/۲۸۸ ^{ab}	U10, CMC 0.2%
۱/۲۲۰ ^{ab}	U10, CMC 0.3%
۱/۳۶۰ ^{ab}	U20, CMC 0.1%
۱/۳۴۱ ^{ab}	U20, CMC 0.2%
۱/۳۴۰ ^{ab}	U20, CMC 0.3%
۱/۳۸۷ ^b	U30, CMC 0.1%
۱/۳۵۶ ^{ab}	U30, CMC 0.2%
۱/۲۹۶ ^{ab}	U30, CMC 0.3%

همان‌گونه که اشاره شد، تیمار U30, CMC 0.1% بالاترین میزان چگالی ظاهری را در بین تیمارهای مختلف به خود اختصاص داده است و از این نظر نیز، اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری با تیمار کنترل دارد. میزان بالای چگالی ظاهری تیمار مذکور، احتمالاً به دلیل چروکیدگی زیاد نمونه‌های انگور، در اثر زمان طولانی پیش‌تیمار شدن آن‌ها با امواج فراصوت (به مدت ۳۰ دقیقه) و کم بودن غلظت کربوکسی متیل سلولز (اثر ممانعتی کمتر این پوشش برای خروج مولکول‌های آب از ماده غذایی به دلیل نازک بودن فیلم ایجاد شده بر روی آن در هنگام خشک شدن) می‌باشد. بنابراین، با توجه به مطالب بیان شده و نتایج حاصل از پژوهش حاضر، ملاحظه می‌شود که میزان چگالی ظاهری می‌تواند وابسته به پیش‌تیمارهای مورد استفاده باشد (گوین، ۲۰۰۶؛ کوش و همکاران، ۲۰۰۸).

مدل‌سازی چگالی ظاهری: جدول ۴ (الف و ب)، پارامترهای آماری مدل‌های مختلف بر اساس جدول ۲ را نشان می‌دهد. مدل‌های جدید پیشنهادی به همراه سایر مدل‌های جدول ۲، پارامترهای آماری قابل قبولی را به خود اختصاص دادند و این مطلب نشان می‌دهد که تمامی مدل‌های فوق، می‌توانند داده‌های آزمایشی را به خوبی برازش کنند. اما در بین مدل‌های جدول ۲، تنها مدل ۶، با توجه به نتایج حاصل از آنالیز رگرسیونی چندمتغیره و داشتن پارامترهای آماری قابل قبول (میانگین میزان ضریب تبیین، ریشه متوسط مربعات خطا و مجموع مربعات خطای مدل مذکور در بین تیمارهای مختلف، به ترتیب ۰/۹۶، ۰/۰۰۲۵ و ۰/۰۲۱۹ می‌باشد)، به عنوان مدل پیشنهادی مناسب، به منظور پیش‌بینی تغییرات چگالی ظاهری انگور، در نظر گرفته شد. شکل ۲، علاوه بر تأثیر امواج فراصوت و کربوکسی متیل سلولز، بر میزان چگالی ظاهری، برازش تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱ را نیز با مدل پیشنهادی ۶ نشان می‌دهد.

معادله‌های ۱ و ۲ نیز، به ترتیب ضرایب a_1 و a_2 را برای مدل پیشنهادی (مدل ۶ جدول ۲)، نشان می‌دهند که از آنالیز رگرسیونی چندمتغیره به دست آمده‌اند. این ضرایب وابسته به زمان فراصوت هستند و اثر غلظت کربوکسی متیل سلولز بر آن‌ها معنی‌دار نیست. در جدول ۵، مقادیر ضرایب a_1 و a_2 این مدل پیشنهادی برای زمان‌های مختلف فراصوت آمده است. در مورد وابستگی ضرایب a_1 و a_2 مدل پیشنهادی ۶ به زمان فراصوت، باید افزود که چون در آنالیزهای رگرسیونی چندمتغیره انجام شده، اثر هم‌زمان دو پیش‌تیمار امواج فراصوت و کربوکسی متیل سلولز، بر ضرایب مدل مذکور و سایر مدل‌های جدول ۲ معنی‌دار نبود، به همین دلیل، آنالیز رگرسیونی چندمتغیره به منظور پیدا کردن رابطه‌ای ریاضی بین ضرایب مدل‌های مذکور به صورت تابعی از زمان فراصوت و همچنین، در نظر گرفتن غلظت کربوکسی متیل سلولز در ضرایب a_1 و a_2 انجام شد.

جدول ۴- (الف). جدول پارامترهای آماری مدل‌های مختلف بر اساس جدول ۲ برای تیمار کنترل

مدل	زمان فراصوت (دقیقه)	غلظت ۰ درصد CMC		
		R^2	SSE	RMSE
۱	۰	۰/۹۹	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۵
۲	۰	۰/۹۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۵
۳	۰	۰/۹۸	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۵
۴	۰	۰/۹۷	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۷
۵	۰	۰/۹۲	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۱۲
۶	۰	۰/۹۹	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۳
۷	۰	۰/۹۳	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۱۱

جدول ۴ (ب). پارامترهای آماری مدل‌های بر اساس جدول ۲ برای تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱

مدل	فراصوت (دقیقه)	درصد غلظت CMC											
		۰			۰/۱			۰/۲			۰/۳		
		RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²	RMSE	SSE	R ²
۱	۱۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۶۲	۰/۰۰۷۷	۰/۷۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۹	۰/۹۷
	۲۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰۲	۰/۹۹	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰۵	۰/۹۳	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱۰	۰/۹۸	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰۹	۰/۹۷
	۳۰	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۴	۰/۹۹	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۷	۰/۹۹	۰/۰۲۳	۰/۰۰۳۷	۰/۹۷	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰۲	۰/۹۹
۲	۱۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۵	۰/۹۹	۰/۰۳۲	۰/۰۰۳۲	۰/۸۸	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱۳	۰/۹۷	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۶	۰/۹۸
	۲۰	۰/۰۲۸	۰/۰۰۲۳	۰/۹۸	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۵	۰/۹۲	۰/۰۳۲	۰/۰۰۳۱	۰/۹۵	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱۰	۰/۹۷
	۳۰	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱۰	۰/۹۷	۰/۰۲۶	۰/۰۰۲۱	۰/۹۷	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱۵	۰/۹۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۲	۰/۹۹
۳	۱۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۵۰	۰/۰۰۷۶	۰/۷۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۰۹	۰/۹۹	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰۹	۰/۹۷
	۲۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۵	۰/۹۳	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱۱	۰/۹۸	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰۹	۰/۹۷
	۳۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۴	۰/۹۹	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰۸	۰/۹۸	۰/۰۳۴	۰/۰۰۳۵	۰/۹۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹
۴	۱۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۵۴	۰/۰۰۸۸	۰/۶۷	۰/۰۳۶	۰/۰۰۴۰	۰/۹۳	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲۲	۰/۹۴
	۲۰	۰/۰۴۴	۰/۰۰۵۸	۰/۹۵	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰۷	۰/۹۰	۰/۰۴۰	۰/۰۰۵۰	۰/۹۳	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱۰	۰/۹۷
	۳۰	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱۳	۰/۹۷	۰/۰۲۹	۰/۰۰۲۶	۰/۹۶	۰/۰۵۰	۰/۰۰۷۷	۰/۹۴	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۳	۰/۹۹
۵	۱۰	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱۶	۰/۹۳	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۵	۰/۹۸	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲۹	۰/۹۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹
	۲۰	۰/۰۳۷	۰/۰۰۵۶	۰/۹۵	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۹	۰/۸۸	۰/۰۲۶	۰/۰۰۲۸	۰/۹۵	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱۸	۰/۹۵
	۳۰	۰/۰۲۴	۰/۰۰۲۳	۰/۹۴	۰/۰۳۳	۰/۰۰۴۴	۰/۹۳	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱۶	۰/۹۸	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱۹	۰/۹۷
۶	۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۹	۰/۹۵	۰/۰۱۶	۰/۰۰۱۱	۰/۹۶	۰/۰۳۰	۰/۰۰۳۷	۰/۹۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۸	۰/۹۹
	۲۰	۰/۰۵۰	۰/۰۱۰۲	۰/۹۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۱	۰/۹۸	۰/۰۲۸	۰/۰۰۳۳	۰/۹۵	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱۵	۰/۹۶
	۳۰	۰/۰۲۳	۰/۰۰۲۲	۰/۹۵	۰/۰۳۵	۰/۰۰۵۰	۰/۹۳	۰/۰۲۸	۰/۰۰۳۱	۰/۹۷	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲۰	۰/۹۶
۷	۱۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۳۲	۰/۰۰۴۱	۰/۸۶	۰/۰۲۶	۰/۰۰۲۸	۰/۹۵	۰/۰۱۶	۰/۰۰۱۱	۰/۹۶
	۲۰	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲۹	۰/۹۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۱	۰/۹۷	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱۸	۰/۹۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۳	۰/۹۹
	۳۰	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۵	۰/۹۸	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱۶	۰/۹۷	۰/۰۲۵	۰/۰۰۲۶	۰/۹۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۲	۰/۹۹

بدین ترتیب که به‌عنوان مثال، برای زمان ۱۰ دقیقه فراصوت، از ضرایب a_1 و a_2 به‌طور مجزا و در تمام تیمارهایی که در آن‌ها از زمان ۱۰ دقیقه فراصوت استفاده شده بود (تیمارهای ۲، ۵، ۶ و ۷ در جدول ۱)، میانگین‌گیری شد. در ادامه، با استفاده از این داده‌ها، آنالیز رگرسیونی چندمتغیره بین زمان فراصوت و ضرایب مدل‌ها صورت گرفت و نتایج حاصل از آن نشان داد که تنها، مدل پیشنهادی ۶، وابسته به متغیرهای مورد مطالعه در این پژوهش (زمان فراصوت و غلظت کربوکسی متیل سلولز) می‌باشد. به‌عبارت دیگر، هیچ‌کدام از ضرایب سایر مدل‌ها به جز مدل ۶، به شکل تابعی از زمان

فراصوت نبودند. بنابراین، مدل ۶، به صورت تابعی از زمان فراصوت با در نظر گرفتن غلظت کربوکسی متیل سلولز به دست آمده و به عنوان مدل پیشنهادی مناسب برای توصیف چگالی ظاهری حین خشک شدن انگور معرفی شد (معادله های ۱ و ۲؛ جدول ۵).

$$a_1 = 0.000031 \times ULT^2 + 0.001736 \times ULT - 0.046333 \quad (\text{معادله ۱})$$

$$a_2 = -0.000688 \times ULT^2 + 0.023026 \times ULT - 1.183000 \quad (\text{معادله ۲})$$

در معادله های فوق، ULT ، زمان فراصوت بر حسب دقیقه و a_1 و a_2 ضرایب مدل توسعه یافته پیشنهادی ۶ هستند.

علاوه بر این، جدول ۶، مقادیر چگالی ظاهری پیش بینی شده توسط مدل پیشنهادی توسعه یافته (مدل ۶؛ جدول ۲) و مقادیر آزمایشی را در زمان های مختلف فراصوت و محتوای رطوبت نشان می دهد. با توجه به این جدول، با کاهش محتوای رطوبت، میزان چگالی ظاهری نمونه ها افزایش یافت.

جدول ۵. مقادیر عددی ضرایب a_1 و a_2 مدل توسعه یافته پیشنهادی (مدل ۶ جدول ۲) حاصل از آنالیز رگرسیونی

زمان فراصوت (دقیقه)	a_1	a_2
۱۰	-۰/۰۶۰	-۱/۰۲۱
۲۰	-۰/۰۶۸	-۰/۹۹۷
۳۰	-۰/۰۶۹	-۱/۱۱

جدول ۶- مقادیر آزمایشی و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل پیشنهادی (مدل ۶ جدول ۲).

زمان فراصوت (دقیقه)	۱۰	۲۰	۳۰
محتوای رطوبت (گرم آب بر گرم ماده غذایی)	مقادیر پیش بینی شده	مقادیر آزمایشی	مقادیر پیش بینی شده
۰/۷۵	۱/۰۸۸	۱/۰۸۵	۱/۰۹۹
۰/۷۱	۱/۰۸۹	۱/۰۶۴	۱/۱۰۶
۰/۶۶	۱/۰۹۵	۱/۰۸۶	۱/۱۱۵
۰/۶	۱/۱۰۷	۱/۱۱۴	۱/۱۳۱
۰/۳۳	۱/۲۰۴	۱/۲۳۳	۱/۲۶۷
۰/۲۴	۱/۲۸۵	۱/۲۷۹	۱/۳۸۹
ضریب تبیین	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۶

نتیجه گیری

یکی از تغییرات مهمی که هنگام خشک شدن در مواد غذایی روی می دهد، کاهش حجم آن ها است که افت کیفی محصول خشک شده (افزایش چگالی ظاهری) را در پی دارد. نتایج حاصل از این پژوهش، نشان داد که چگالی ظاهری نمونه های انگور با افزایش زمان فراصوت و کاهش غلظت کربوکسی متیل سلولز در طول خشک شدن افزایش می یابد. با این حال، بین چگالی ظاهری تیمارهای مختلف در مقایسه با تیمار کنترل (به جز تیمار U30, CMC 0.1%)، از لحاظ آماری اختلاف معنی دار وجود نداشت. از سوی دیگر، برآزش داده های آزمایشی با مدل پیشنهادی ۶ (جدول ۲)، نشان داد که این مدل با داشتن پارامترهای آماری قابل قبول، قادر به پیش بینی تغییرات چگالی ظاهری انگور با کاهش محتوای رطوبت است.

منابع

- Annappure, U.S., Singhal, R.S., and Kulkarni, P.R. 1999. Screening of hydrocolloids for reduction in oil uptake of a model deep fat fried product. *Lipid / Fett*. 101:217-221.
- AOAC. DC. 1990. Official Methods of Analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington.
- Azsubel, P.M., Baima, M.D.A.M., Amorim, M.D.R., and Oliveira, S.S.B. 2010. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 97:194-198.
- Baldwin, E.A., Nisperos, M.O., Chen, X., and Hagenmaier, R.D. 1996. Improving storage life of cut apple and potato with edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 9:151-163.
- Bhaskaracharya, R., Kentish, S., and Ashokkumar, M. 2009. Selected Applications of Ultrasonics in Food Processing. *Food Engineering Reviews* 1:31-49.
- & i U F H \$ % H Q H G L R W R H D O O X O H W , Q I O X H Q F H R I X O W U D V R X L Q W H Q V L W \ R Q P D V V W U D Q V I H U L Q D R S U O R H I O P P H U V H G I) R R (Q J L Q H H U L Q J
- & D U Q Q G I D X R K D * & H U T X O H \$ U D 6 R %] D 6 6 R X 3 D 7 H L [H L U D - \$ D Q Q L F H Q V \$ H 3 K \ V L F D O S U R S H U W L H V R I H G L E O H F R P D G H Z L W K D S R O \$ Q D F F F K U D G U L L G H R I R I P G R I P R O R O H (Q J L Q H H U L Q J
- ' H K J K D Q Q \ Q P D M R P H K 6 R K V K G H H E D D K I G J D G L 2 V P R W L F ' H K \ G U D W L R Q R I \$ S S O H H W K C O L F & H O Q K W R V & D U & R D W U Q L Q J 7 H R F A K Q R O

6WH5H0' 7RUW DHQ'GFNH\\$ 30FLSOHV DQG SURFHGXUHV
VWDWDLVWBPVWULFDO DSSUVD+FLK001HZ <RUN 0F*U
7D0\$D 3XLJJ50L-RPDDQ-QQRW 6KULQNDJH DQG GHQVLW
HYROXWLRQ GXULQJ GU\LQJ RI WUR-SLXFLD00 OUXLWV DS
)RR(QJLQHHULQJ
7R÷U+X0Q\$UVOIDQ ([WHQGLQWJW KHOS HDFK DQG SHDU E\ X
&0& IURP VXJDU EHHW SXOS FHOOXORVH DV D K\GURS
)RRG +\GURFROORLG
9iVFRQH%)ORUHV&DPSS\$V \$UDYGRD Q*GHUVFKH#QVRQ
\$QWLPLFURELDO DFWLYLW\ DQW DSKLRIEFDWOW\$WRF&HUV
EDVHG HGLEOH IL)ORVGHVGHQFRIHVDWVLRQDO
<DQ 6R*VD00DQKH0030LYHLSU\$ 6KULQNDJH DQG SRURVLV
R EDQDQD SLQHDSSOH DQGGPDLQRUV00RIGV GXULQJ D
(QJLQHHULQJ
<LOG\$ULQGHU DQ%D\UDP)LWWLQJ)LFNIV PRGHO WR D
ZDWHU GLIIXVLRQ LQWR FKLFNSHDV GXULQJ VRDNLQJ
-RXURQ)RR(QJLQHHULQJ

راهنمای استفاده از جدول‌ها و شکل‌ها

علائم اختصاری	عبارت
a_1, a_2, a_3, a_4	ضرایب مدل‌ها
ρ_b	چگالی ظاهری
W	محتوای رطوبت (گرم آب بر گرم ماده غذایی)
X	محتوای رطوبت (گرم آب بر گرم ماده خشک)
X/X_0	نسبت رطوبت (بدون بعد)
R^2	ضریب تبیین
RMSE	ریشه متوسط مربعات خطا
SSE	مجموع مربعات خطا



Modeling Apparent Density during Drying of Grapes Pretreated with Ultrasound and Carboxymethyl Cellulose

M. Tahmasebi-Pour¹, *J. Dehghannya², Seied-Sadegh Seiedlou-Heris³
and B. Ghanbarzadeh⁴

¹M.Sc. Student, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, ²Assistant Prof., Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, ³Assistant Prof., Dept. of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, ⁴Associate Prof., Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Abstract

Drying foodstuffs can have negative effects on quantitative and qualitative characteristics of the products, including porosity and bulk density. Therefore, novel technologies can be used to improve these characteristics. In this study, apparent density changes during drying grapes pretreated with ultrasound for 10, 20 and 30 minutes, and carboxymethyl cellulose (CMC) at three concentrations of 0.1, 0.2 and 0.3 percent was evaluated. In order to dry the grapes, a tunnel dryer was used and the samples apparent density was calculated during drying. The results showed that apparent density of the grape samples is increased with increasing ultrasound time and decreasing CMC concentration. Furthermore, apparent density was modeled through existing models in the literature as well as the models proposed in this study. One of the proposed models (Model 6, Table 2) was selected as the most appropriate model to predict changes in the apparent density of the grapes during drying.

Keywords: Raisin, Volumetric changes, Edible coating

*Corresponding Author; J_dehghannya@tabrizu.ac.ir