

مدل سازی تجربی چروکیدگی در خشک کردن انگور پیش تیمار شده با فراصوت و کربوکسی متیل سلولز

منور طهماسبی پور^۱، جلال دهقان نیا^{۲*}، سیدصادق سیدلوهریس^۳، بابک قنبرزاده^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- دانشیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۴- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۳/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۱۸)

چکیده

حرارت بالا در هنگام خشک کردن، همراه با از دست دادن آب در این حین، باعث ایجاد تنش در ماده غذایی، تغییر ریزساختارها و کاهش حجم یا چروکیدگی آن می شود. در این پژوهش، اثر پیش تیمار فراصوت در زمان های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و کربوکسی متیل سلولز با غلظت های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد، بر میزان چروکیدگی دانه های انگور هنگام خشک شدن و مدل سازی آن مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، دانه های انگور پیش تیمار شده، در یک خشک کن تونلی خشک شده و تغییرات حجمی آن ها اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که تمامی پیش تیمارها در مقایسه با نمونه شاهد، چروکیدگی بالاتری دارند ولی این اختلاف از لحاظ آماری، معنی دار نبود. همچنین، افزایش زمان فراصوت، چروکیدگی نمونه ها را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. تیمار شاهد و تیمار با زمان ۳۰ دقیقه فراصوت، به ترتیب کمترین و بیشترین میزان چروکیدگی را در بین تیمارهای مختلف به خود اختصاص دادند. در تلفیق دو پیش تیمار فراصوت و CMC نیز، ملاحظه گردید که با افزایش غلظت CMC، چروکیدگی نمونه ها در مقایسه با غلظت-های کمتر آن، کاهش می یابد.

کلید واژگان: خشک کردن، فراصوت، کربوکسی متیل سلولز، چروکیدگی، مدل سازی

* مسئول مکاتبات: J-dehghannya@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

انتقال جرم و حرارت هم زمان که هنگام خشک شدن با جریان هوای داغ در سیستم های غذایی اتفاق می افتد، می تواند باعث ایجاد تغییراتی در ترکیب شیمیایی، ساختار و ویژگی های فیزیکی ماده غذایی شود. به عبارت دیگر، 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 تغییر ساختار میکروسکوپی آن (تشکیل منافذ) و چروکیدگی می شود. چروکیدگی از عیوب مهم خشک کردن مواد غذایی محسوب می شود و می تواند آثار منفی و نامطلوب بر روی کیفیت محصول آبدار شده بر جای گذارد که از جمله آن ها می توان به تغییر در شکل، کاهش حجم، افزایش سختی، شکاف سطحی، ترک خوردگی محصول و کاهش قابلیت آبدارگری مجدد آن اشاره نمود [۱]. پدیده چروکیدگی، در اغلب سیستم های غذایی قابل چشم پوشی نمی باشد و بایستی هنگام پیش بینی پروفایل های رطوبت در مواد غذایی آبدار شده در نظر گرفته شود [۱، ۲]. چروکیدگی، عامل محدود کننده انتقال جرم در هنگام خشک شدن مواد غذایی است که باعث افزایش مدت زمان لازم برای خشک شدن آن ها نیز می شود. این افزایش در زمان مورد نیاز برای خشک شدن، به این دلیل است که در جریان چروکیدگی، مساحت سطح محصول به دنبال کاهش حجم آن کاهش می یابد و در نتیجه مسیر مورد نیاز برای خروج مولکول های آب حین خشک شدن غیر یکنواخت می شود [۳].

امروزه به منظور کاهش زمان خشک شدن، بهبود ویژگی های کمی و کیفی محصولات خشک شده و برطرف کردن عیوب خشک کردن با جریان هوای داغ، استفاده از تکنولوژی های جدید مانند امواج فراصوت، مایکروویو، مادون قرمز و ... به طور وسیعی مورد توجه قرار گرفته است. براساس پژوهش های مختلف بر روی خشک کردن انگور با استفاده از پیش تیمارهای متفاوت، خشک کردن این محصول تا رسیدن به محتوای رطوبت ۰/۴۲-۰/۱۷ کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک انجام گرفته است [۴]. امواج فراصوت که به عنوان پیش تیمار و قبل از فرآیند خشک کردن با جریان هوای داغ، به منظور کاهش زمان مورد نیاز فرآیند بکار می رود [۵]، شکلی از انرژی است

که توسط امواج صوتی در فرکانس های بالای محدوده شنوایی انسان (بالای ۱۶ کیلو هرتز) تولید می شود [۶]. 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 غیر متقارن این حباب ها در نزدیکی سطح ماده غذایی، باعث انتقال جریان سریع و فورانی از امواج صوتی به سطح شده و با ایجاد انقباض و انبساط های پی در پی در آن، باعث تشکیل کانال های میکروسکوپی و سهولت خروج آب از داخل محصول در طی خشک شدن از طریق کانال های ایجاد شده می شود [۷]. بنابراین، استفاده از پیش تیمار فراصوت به دلیل کاهش زمان خشک شدن، می تواند باعث کاهش هزینه تولید محصول خشک شده گردد [۸، ۹].

طی پژوهشی، اثر شدت های مختلف فراصوت، روی انتقال جرم در نمونه های سیب غوطه ور شده در محلول ساکارز بررسی شده است [۶]. در این پژوهش، میزان انتقال جرم با افزایش شدت فراصوت افزایش یافت. مشاهدات مشابه در مورد تأثیر تلفیق فرآیندهای فراصوت و اسمز در حین دهیدراسیون روی ساختار بافتی آناناس [۷]، پاپایا [۱۰]، ساپتاس^۱ [۱۱] و هم چنین، اثر فراصوت روی سیب خشک کردن ورقه های موز [۱۲] مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیقات نیز نشان می دهند که پیش تیمار فراصوت با افزایش قابلیت انتشار آب در طی فرآیند خشک کردن، باعث کاهش زمان مورد نیاز برای آن نیز می شوند. علاوه بر بررسی اثرات امواج صوتی بر فرآیند خشک کردن مواد غذایی (افزایش ضریب انتشار مؤثر رطوبت و کاهش زمان خشک شدن)، بررسی این فرآیند (فراصوت) بر روی ویژگی های کمی و کیفی محصول غذایی از جمله چروکیدگی نیز حائز اهمیت است. در پژوهش دیگری به بررسی تأثیر فراصوت به عنوان روشی برای افزایش میزان انتقال جرم نمونه های سیب، قبل از فرآیند خشک کردن پرداخته شده است [۱۳]. در این پژوهش، نمونه های سیب در معرض امواج صوتی با فرکانس ۳۵ کیلو هرتز و مدت زمان های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه قرار گرفت. نتایج حاصله، نشان از کاهش زمان خشک شدن با افزایش زمان فراصوت داشت. اما در عین حال،

1. Sapotas

۱-۲- عوامل مؤثر بر مقدار چروکیدگی

۱-۲-۱- **حجم آب خارج شده:** با افزایش مقدار آب خارج شده از ماده غذایی، مقدار کاهش حجم و چروکیدگی افزایش می یابد. این تناسب تا مراحل نهایی خشک شدن و در رطوبت های کمتر ماده غذایی نیز روند خود را حفظ می کند.

۱-۲-۲- **تحرك شبکه سه بعدی و یا ماتریکس مواد جامد:** در مقدار رطوبت های بالا، کاهش حجم، متناسب با کاهش آب در ماده غذایی است که در این حالت تحرك زیاد شبکه، به دلیل ویژگی ویسکوالاستیک است. این در حالی است که در رطوبت های پایین تر، حالت ماده از لاستیکی به شیشه ای تغییر می یابد و در نتیجه دمای انتقال شیشه ای و یا دمای تبدیل به این حالت، افزایش و در نهایت چروکیدگی کاهش پیدا می کند. در این حالت، تحرك کم ماتریکس به علت ویژگی شیشه ای آن است.

۱-۲-۳- **سرعت و دمای هوا در هنگام خشک کردن:** اگر در طول فرآیند، سرعت و دماهای پایین هوا انتخاب شود، سرعت حرکت آب از لایه های داخلی به لایه بیرونی، برابر با سرعت تبخیر آب از سطح ماده غذایی است و این امر باعث جمع شدن یکنواخت محصول و چروکیدگی آن می شود؛ در حالی که اگر خشک کردن سریع، تحت شرایط سرعت و دمای بالای هوا صورت گیرد، گرادیان رطوبتی زیادی بین لایه بیرونی ماده غذایی و هوای گرم ایجاد می شود و در این حالت، لایه بیرونی رطوبت خود را سریع از دست می دهد و دمای آن افزایش یافته و به دمای انتقال شیشه ای می رسد. این رویداد، یک لایه سخت خارجی در اثر تجمع مواد محلولی که با حرکت آب به سطح ماده غذایی آمده اند، ایجاد می کند و مانع خروج آب از لایه های درونی که هنوز حالت لاستیکی دارند، نیز خواهد شد.

۱-۲-۴- **سایر شرایط:** تلاش های زیادی برای بررسی شرایط مختلف پروسه خشک کردن مانند دمای هوا، سرعت و رطوبت نسبی آن، روی تغییرات حجمی مواد غذایی صورت گرفته است؛ اما متأسفانه نتایج این بررسی ها برای بررسی اثر این شرایط روی چروکیدگی واضح نیست. در هر حال، می توان گفت که روش خشک کردن و شرایط مورد استفاده طی فرآیند، می تواند

چروکیدگی بیشتر نمونه های سیب نیز در کنار افزایش انتقال جرم آن ها با افزایش زمان غوطه وری در حمام فراصوت، دیده شد. این پژوهش گران، علت این موضوع را، افزایش تخریب سلولی و تغییر شکل سلول ها برای خروج سریع تر و راحت تر رطوبت از داخل ماده غذایی بیان کردند.

علاوه بر امواج فراصوت، فیلم ها و پوشش های خوراکی به منظور افزایش کیفیت مواد غذایی مورد استفاده قرار می گیرند [۱۴، ۱۵]. کربوکسی متیل سلولز (CMC) یکی از مشتقات مهم سلولز است که به طور وسیعی برای افزایش عمر انبارداری مواد غذایی مورد استفاده قرار می گیرد [۱۶]. CMC یک بیوپلیمر هیدروفیل است که با جذب مولکول های آب از ماده غذایی، از کاهش حجم و چروکیدگی آن جلوگیری کرده و در نهایت باعث بهبود ویژگی های فیزیکی ماده غذایی در طول مدت زمان نگهداری می شود [۱۹-۱۷]. استفاده از پوشش های خوراکی در دهیدراسیون مواد غذایی (به همراه محلول اسمزی)، روز به روز در حال افزایش است. به عنوان مثال، در پژوهشی به بررسی تأثیر پوشش چیتوزان بر روی انتقال جرم میوه پاپایا در هنگام دهیدراسیون اسمزی پرداخته شده است [۲۰]. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار خروج آب در نمونه های پوشش داده شده نسبت به نمونه های بدون پوشش بیشتر است. در پژوهش مشابه دیگری، تأثیر پوشش CMC بر روی دهیدراسیون اسمزی قطعات سیب مورد بررسی قرار گرفته است [۲۱]. در این پژوهش، استفاده از پوشش خوراکی CMC، باعث افزایش میزان کارایی دهیدراسیون اسمزی از طریق افزایش آگیری و کاهش ورود مواد جامد محلول به سیب شد.

۱-۱- مکانیسم چروکیدگی

سیستم های جامد یا نیمه جامد مواد غذایی، از مواد ناهمگنی تشکیل شده اند که به صورت یک شبکه جامد سه بعدی یا ماتریکسی از مواد جامد که فاز آبی را در بین خود نگهداری می کند، قرار گرفته است. زمانی که آب از ماده غذایی خارج می شود، فشار نامتعادلی بین درون و بیرون آن ایجاد می کند که این فشار نامتعادل، موجب ایجاد تنش در ساختار سلولی ماده غذایی شده و تغییر شکل و چروکیدگی را در آن ایجاد می کند [۱].

اثرات بارزی روی ویژگی های محصول خشک شده با تحت تأثیر قراردادن تخلخل، چروکیدگی و چگالی ظاهری آن داشته باشد [۱].

مدل سازی چروکیدگی: خشک کردن محصولات کشاورزی، پدیده پیچیده ای شامل انتقال جرم و حرارت هم زمان می باشد. مواد غذایی در طی خشک شدن دستخوش تغییرات حجمی، در نتیجه خروج رطوبت از آن ها می شوند که به چروکیدگی موسوم است. این پدیده می تواند بر ضریب انتشار مؤثر رطوبت که یک فاکتور مهم در پیشرفت فرآیند خشک شدن است و هم چنین بر سرعت آن مؤثر باشد. بنابراین، مدل سازی رفتار خشک شدن این محصولات با در نظر گرفتن پارامترهای فیزیکی مرتبط از قبیل چروکیدگی و ضریب انتشار مؤثر رطوبت بسیار حائز اهمیت است [۲۲].

در پژوهشی، مدل سازی چروکیدگی، تخلخل و چگالی ظاهری میوه به، در حین خشک شدن مورد بررسی قرار گرفته است [۲۳]. در این پژوهش، اثر روش های مختلف خشک کردن روی ویژگی های فوق بررسی شد. نتایج نشان داد که چروکیدگی تحت تأثیر روش خشک شدن قرار می گیرد و خشک کن انجمادی، کمترین میزان چروکیدگی را در محصول خشک شده ایجاد می کند. در ادامه، مدل سازی چروکیدگی به عنوان تابعی از محتوای رطوبت صورت گرفت. در پژوهش دیگری که نتایج آن مغایر نتایج فوق بود، چروکیدگی گلاس، تحت تأثیر روش دهیدراسیون قرار نگرفت و فقط به صورت تابعی از محتوای رطوبت تغییر کرد [۲۴]. در مطالعه ای دیگر، ویژگی های خشک کردن ۶ وارسته از سیب زمینی شیرین در سه نوع خشک کن متفاوت (آون الکتریکی، خشک کن سینی دار با جریان اجباری هوا و خشک کن بستر سیال) بررسی شده است [۲۵]. نتایج به دست آمده نشان داد که میزان چروکیدگی، وابسته به زمان آنزیم بری، وارسته سیب زمینی، سیرکولاسیون هوا و نوع خشک کن مورد استفاده است. همچنین، در پژوهش دیگری روی خشک کردن کیوی، تأثیر استفاده از جریان هوا و انرژی مایکروویو روی چروکیدگی و آب گیری مجدد صورت گرفته است [۲۶]. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از مایکروویو هر چند زمان خشک شدن را در مقایسه با جریان هوای داغ کاهش می دهد اما محصول خشک شده نیز بیشترین

میزان چروکیدگی را خواهد داشت که علت آن نیز مربوط به گرمای زیادی است که ماده غذایی برای خروج سریع تر مولکول های آب در مایکروویو در معرض آن قرار می گیرد. علاوه بر موارد فوق، نتایج پژوهشی دیگر که به منظور تعیین تغییرات ساختاری انگور در هنگام خشک شدن انجام شد، نشان داد که افزایش دمای هوا از ۲۰ تا ۶۰ درجه سانتیگراد، باعث افزایش میزان چروکیدگی در نمونه های انگور می شود که این موضوع نیز بیانگر وابستگی چروکیدگی به شرایط خشک کردن می باشد [۲۷]. در مطالعه دیگری، قابلیت انتشار رطوبت نمونه های لویا سبز خشک شده را با خشک کن بستر سیال، با مدل سازی و در نظر گرفتن چروکیدگی به عنوان عامل مؤثر در سینتیک خشک شدن، مورد بررسی قرار داده شده است [۲۲]. مقادیر به دست آمده برای ضریب انتشار مؤثر رطوبت با در نظر گرفتن چروکیدگی نشان داد که کاهش در میزان قابلیت انتشار رطوبت در طی خشک شدن با جریان هوا دیده می شود. در حالی که مقادیر اندازه گیری شده برای ضریب انتشار مؤثر رطوبت بدون در نظر گرفتن چروکیدگی، نشان دهنده تخمین بیشتر مقدار انتقال جرم است. به عبارت دیگر، در نظر نگرفتن چروکیدگی، تخمین کمتر سرعت خشک شدن را در پی داشت. این یافته ها، مشابه با یافته های به دست آمده در پژوهش های دیگر است که قابلیت انتشار رطوبت سیب زمینی، انبه و انگور را با در نظر گرفتن چروکیدگی مورد بررسی قرار داده اند [۳۱-۲۸].

برای مدل سازی چروکیدگی ماده غذایی از دو روش در مراجع مختلف استفاده شده است. روش اول، شامل انطباق تجربی داده های آزمایشی چروکیدگی به صورت تابعی از محتوای رطوبت است. در حالی که روش دوم بنیادی تر بوده و بر پایه تفسیر فیزیکی سیستم های غذایی استوار است و تغییرات هندسی را در برابر محتوای رطوبت، با استفاده از قانون بقای جرم پیش بینی می کند [۱]. مدل های چروکیدگی ارائه شده در مراجع مختلف بسته به روش مورد استفاده در مدل سازی به دو دسته مدل های تجربی و بنیادی تقسیم بندی می شوند [۱].

الف) مدل های تجربی: ساده ترین راه برای مدل سازی چروکیدگی، به دست آوردن یک رابطه بین چروکیدگی و محتوای رطوبت با استفاده از داده های حاصل از آزمایش است.

آن‌ها به دمای محیطی برسد. برای بررسی تأثیر فراصوت و پوشش خوراکی، از حمام فراصوت (مدل USD-4R، ساخت ژاپن، مجهز به سیستم تنظیم فرکانس و زمان اولتراسونیکاسیون) با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز و در ۳ زمان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و CMC (ساخت شرکت مرک، آلمان) در ۳ غلظت ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد استفاده شد. قبل از شروع خشک کردن، نمونه‌ها در معرض امواج فراصوت با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. پس از گذشت زمان‌های بیان شده، نمونه‌ها از حمام فراصوت خارج و آب سطحی آن‌ها با کاغذهای جاذب رطوبت گرفته شد. در ادامه، نمونه‌ها با محلول CMC در دمای $40 \pm 2^\circ\text{C}$ و به مدت ۱۰ ثانیه پوشش‌دهی شده [۳۲] 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.

۲-۲- آماده‌سازی محلول پوشش خوراکی

محلول CMC با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد به صورت زیر تهیه شد:

ابتدا بشر حاوی مقدار مشخصی آب مقطر، بر روی هیتز قرار گرفته و تا رسیدن به دمای ۷۰-۶۰ درجه سانتیگراد گرم شد. سپس مقدارهای مشخصی از CMC 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 تمام CMC در آب، محلول شفاف به دست آمد که تا دمای $40 \pm 2^\circ\text{C}$ به وسیله حمام آب و یخ خنک گردید [۳۲].

۲-۳- تجهیزات خشک کردن

شکل ۱، شماتیک خشک‌کن همرفتی سینی‌دار آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. این خشک‌کن دارای محفظه ورودی (شامل فن یا دمنده و گرم‌کن‌های الکتریکی)، محفظه میانی (شامل قفسه‌های خشک‌کن و خطی-سازهای جریان هوا)، محفظه خروجی و تابلو فرمان (محفظه کنترل کننده دما و سرعت) بود [۳۳].

مدل‌های تجربی به دست آمده شامل دو دسته مدل‌های خطی و غیرخطی می‌باشند. مدل‌های خطی برای توصیف کاهش خطی حجم ماده غذایی در کل محدوده رطوبتی و طی فرآیند خشک کردن به کار می‌روند؛ اما اگر طی مرحله نهایی فرآیند خشک کردن، حالت خطی از بین برود، در این صورت بهتر است این رفتار توسط مدل‌های غیرخطی توصیف گردد. مدل‌های غیرخطی به شکل مدل‌های نمایی، مدل‌های درجه دوم و ... ارائه می‌شوند. مدل‌های تجربی معمولاً تطابق بهتری با داده‌های حاصل از آزمایش دارند و علی‌رغم نیاز به آزمایش‌های گسترده، با موفقیت خوبی در مدل‌سازی داده‌های چروکیدگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ب) مدل‌های بنیادی: مدل‌های بنیادی بر پایه توازن جرم و تعاریف چگالی و تخلخل و محاسبه حجم فازهای مختلف در سیستم‌های غذایی استوارند [۱]. این مدل‌ها در سه گروه طبقه بندی می‌شوند: مدل‌هایی که رفتار خطی چروکیدگی را در کل فرآیند خشک کردن نشان می‌دهند؛ مدل‌هایی که انحراف از رفتار خطی را دربردارند و مدل‌هایی که تغییرات تخلخل را نیز در فرآیند خشک کردن در نظر می‌گیرند [۱].

با توجه به این که، بر اساس اطلاعات موجود، تاکنون اثر تلفیقی دو پیش تیمار فراصوت و CMC، بر چروکیدگی دانه‌های انگور هنگام خشک شدن مورد بررسی قرار نگرفته است، هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر دو پیش تیمار مذکور روی چروکیدگی نمونه‌های انگور و مدل‌سازی تغییرات آن توسط مدل‌های موجود در منابع و هم چنین، ارائه مدل‌های پیشنهادی جدید در این پژوهش بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها

انگور بی‌دانه از یک بازار محلی تهیه و تا زمان آزمایش در سردخانه با دمای $3 \pm 1^\circ\text{C}$ نگهداری شد. حدود یک ساعت قبل از شروع آزمایش‌ها، نمونه‌ها از سردخانه خارج شدند تا دمای

بدون نمونه گذاری، سرعت، دما و رطوبت نسبی آن تنظیم شد. سرعت هوای داخل خشک کن بر روی عدد ۱/۵ متر بر ثانیه و دمای آن بر روی ۶۵ درجه سانتیگراد تثبیت شد. پس از تثبیت دما و سرعت، نمونه ها بر روی سه عدد سینی توری به صورت لایه نازک چیده شدند. کاهش وزن نمونه ها هر ۵ دقیقه یکبار توسط ترازوی دیجیتال ثبت شد. عمل خشک کردن نمونه ها تا رسیدن به میزان رطوبت ۰/۳۳ گرم آب بر گرم ماده خشک در خشک کن ادامه یافت. آزمایش های خشک کردن در ۲ تکرار و ۱۳ تیمار انجام گرفت. جدول ۱ تیمارهای مختلف و علائم اختصاری آن ها را نشان می دهد. محتوای رطوبت نمونه های انگور نیز، قبل و بعد از خشک شدن، از طریق خشک کردن در آون کنوکسیون در دمای $105 \pm 1^\circ\text{C}$ ، تا رسیدن به وزن ثابت به دست آمد [۳۴] و به صورت محتوای رطوبت بر حسب گرم آب بر گرم ماده خشک گزارش شد.

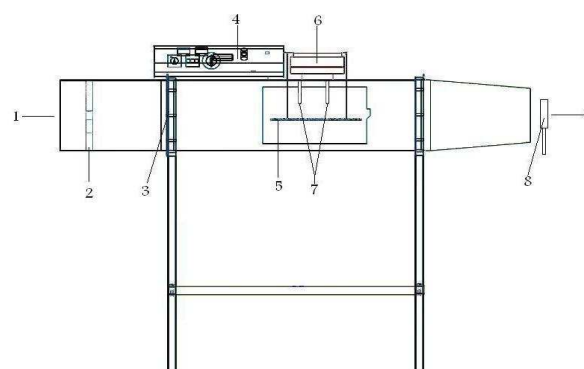


Fig 1 Schematic of convective dryer: 1) Air inlet; 2) Fan; 3) Heaters; 4) Temperature and airflow velocity controller; 5) Perforated tray; 6) Digital balance; 7) Relative humidity sensor and thermocouple; 8) Digital anemometer; 9) Air outlet

۲-۴- طرح کلی آزمایش ها

پس از روشن نمودن دستگاه خشک کن و نیم ساعت کارکرد

Table 1 Abbreviations used for different treatments

Pretreatment			
Number	Ultrasound (min)	CMC (%)	Abbreviation
1	0	0	Control
2	10	0	U10
3	20	0	U20
4	30	0	U30
5	10	0.1	U10, CMC 0.1
6	10	0.2	U10, CMC 0.2
7	10	0.3	U10, CMC 0.3
8	20	0.1	U20, CMC 0.1
9	20	0.2	U20, CMC 0.2
10	20	0.3	U20, CMC 0.3
11	30	0.1	U30, CMC 0.1
12	30	0.2	U30, CMC 0.2
13	30	0.3	U30, CMC 0.3

(تولون) و با استفاده از پیکنومتر به دست آمد [۳۵]. در این روش، ابتدا پیکنومتر حاوی تولون به صورت کاملاً پر توزین شد. سپس ۸ عدد دانه انگور پس از توزین، در داخل پیکنومتر حاوی تولون قرار گرفتند و تولون اضافی از آن خارج شد. معادله ۱، حجم تولون جابه جاشده و به تبع آن حجم نمونه انگور را نشان می دهد [۳۵].

$$V = \frac{M}{\rho_{to}} = \frac{m - m' - m''}{\rho_{to}} \quad (1)$$

۲-۵- محاسبه چروکیدگی

: برای محاسبه مقدار چروکیدگی، حجم دانه های انگور در طی خشک کردن و در رطوبت های مختلف (۰/۵، ۱/۵، ۲، ۲/۵) خشک کردن ۰/۳۳ گرم آب بر گرم ماده خشک) اندازه گیری شد. بدین ترتیب که در هر آزمایش و پس از رسیدن به محتوای رطوبت مورد نظر، ۸ عدد دانه انگور به صورت تصادفی از داخل خشک کن خارج و حجم آن ها توسط روش جابه جایی حلال

می‌دهد. انواع مدل‌های تجربی و پیشنهادی برای برازش چروکیدگی (نسبت حجمی) نمونه‌های انگور در مقابل محتوای رطوبت (X) بر حسب گرم آب بر گرم ماده خشک و در بعضی موارد، نسبت رطوبت بدون بعد (X/X_0) آن‌ها، مورد استفاده قرار گرفت. برازش داده‌های آزمایشی با مدل‌های فوق و تعیین ضرایب آن‌ها در نرم افزار MATLAB R2011a انجام شد. به منظور انتخاب مناسب‌ترین مدل توصیف‌کننده تغییرات چروکیدگی با کاهش محتوای رطوبت، معیارهای ضریب تبیین (R^2)، مجموع مربعات خطا (SSE) و خطای ریشه متوسط مربعات (RMSE) بین داده‌های تجربی و نتایج پیش‌بینی‌شده توسط هر مدل، محاسبه و با مدل‌های دیگر مورد مقایسه قرار گرفت. در مقایسه بین مدل‌ها، مدلی که دارای R^2 بیشتر و SSE و RMSE کمتر باشد، بهتر می‌تواند تغییرات چروکیدگی را در طی فرآیند توصیف کند. آنالیز رگرسیونی چندمتغیره نیز در ادامه برازش داده‌های چروکیدگی با مدل‌های مختلف جدول ۲ و به منظور برآورد ضرایب مدل‌های فوق به- صورت توابعی از زمان فراصوت و غلظت CMC، توسط نرم افزار Excel 2010 صورت گرفت.

در رابطه فوق، V ، حجم تولون جابه‌جاشده = حجم نمونه‌های انگور بر حسب سانتی‌متر مکعب، m' و m'' به ترتیب، جرم نمونه انگور و جرم پیکنومتر خالی بر حسب گرم، m جرم پیکنومتر حاوی تولون و نمونه انگور، M ، جرم تولون جابه-جاشده و ρ_{to} ، چگالی تولون بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب است. مقادیر نسبت حجمی و ضریب چروکیدگی این دانه‌ها نیز به ترتیب بر اساس معادله‌های ۲ و ۳ محاسبه شد [۲۹].

$$D_R = \left(\frac{V_t}{V_0} \right) \quad (2)$$

$$Sh = \left(1 - \frac{V_t}{V_0} \right) \quad (3)$$

V_t ، حجم نمونه‌های خشک‌شده در زمان مورد نظر بر حسب سانتی‌متر مکعب، V_0 ، حجم اولیه نمونه‌ها قبل از خشک‌شدن بر حسب سانتی‌متر مکعب، D_R ، نسبت حجمی و Sh ، ضریب چروکیدگی نمونه‌های انگور است.

۲-۶- مدل‌سازی چروکیدگی: جدول ۲، مدل‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی چروکیدگی نمونه‌های انگور را نشان

Table 2 Empirical modeling of shrinkage during drying of grapes

Model number	Mathematical Model	References
1	$D_R = k_1 X + k_2$	[1]
2	$D_R = k_1 + k_2 X + k_3 X^2 + k_4 X^3$	[1]
3	$D_R = k_1 + k_2 \left(\frac{X}{X_0} \right) + k_3 \left(\frac{X}{X_0} \right)^2$	[1]
4	$D_R = k_1 \exp \left(k_2 \left(\frac{X}{X_0} \right) \right)$	[1]
5	$D_R = k_1 + k_2 \left(\frac{X}{X_0} \right) + 0.26 k_3 \left(1 - \frac{X}{X_0} \right)^3$	[1]
6	$D_R = k_1 \exp(-k_2 X) + k_2 X$	Proposed model in this study
7	$D_R = \exp(k_1 X + k_2)$	Proposed model in this study
8	$D_R = k_1 (1 + X^{k_2})$	Proposed model in this study

۷-۲- طرح آماری آزمایش ها و روش آنالیز

نتایج

به منظور بررسی اثر فراصوت و CMC روی چروکیدگی انگور، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با دو فاکتور A (زمان فراصوت) و B (غلظت CMC) با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین ها نیز به روش بونفرونی^۱ صورت گرفت [۳۶].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر شرایط فرآیند سرخ کردن بر

چروکیدگی

شکل ۲ (الف، ب، ج و د)، تغییرات میزان چروکیدگی (نسبت حجمی) نمونه های انگور را با کاهش محتوای رطوبت در بین تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱ نشان می دهد. با افزایش زمان خشک شدن و کاهش محتوای رطوبت نمونه های انگور، نسبت حجمی آنها کاهش یافت. کاهش نسبت حجمی نیز، به دلیل کاهش حجم ماده غذایی در اثر خروج آب در طول خشک شدن بود. این یافته در پژوهش مشابه دیگر نیز دیده شد [۳۷].

از سوی دیگر، جدول ۳ مقایسه میانگین های اثر فراصوت و CMC را بر میزان نسبت حجمی و ضریب چروکیدگی نهایی تیمارهای مختلف بر اساس جدول ۱ نشان می دهد. تمامی پیش تیمارها در مقایسه با نمونه شاهد، ضرایب چروکیدگی بالاتری از خود نشان دادند، ولی بین ضرایب چروکیدگی

پیش تیمارهای فوق، اختلاف معنی داری از لحاظ آماری وجود نداشت.

در بررسی اثر فراصوت بر میزان چروکیدگی نمونه های انگور همان طور که در جدول ۳ و شکل ۲ (الف) دیده می شود، افزایش زمان فراصوت، باعث افزایش ضریب چروکیدگی در مقایسه با تیمار شاهد شد. علت افزایش ضریب چروکیدگی با افزایش زمان فراصوت، تغییر شکل، تخریب سلولی و خارج شدن از حالت طبیعی سلول ها، برای خروج بیشتر و راحت تر آب از داخل ماده غذایی است که با افزایش زمان غوطه وری آنها در حمام فراصوت اتفاق می افتد. این یافته ها در پژوهش مشابهی در ارتباط با خشک کردن نمونه سیب پیش تیمار شده با فراصوت نیز دیده شد [۱۳]. بنابراین، با در نظر گرفتن مطلب فوق و با توجه به جدول ۳، مشاهده می شود که تیمار با زمان ۳۰ دقیقه فراصوت، بیشترین میزان ضریب چروکیدگی را در مقایسه با سایر تیمارها به خود اختصاص داده است. اما با این وجود، اختلاف معنی دار از لحاظ آماری بین تیمار با زمان ۳۰ دقیقه فراصوت و سایر تیمارها دیده نشد.

علاوه بر این، در نمونه های پیش تیمار شده با تلفیق فراصوت و CMC (شکل ۲- ب، ج و د)، با ثابت در نظر گرفتن زمان فراصوت و افزایش غلظت CMC، ضریب چروکیدگی کاهش یافت (جدول ۳). علت کاهش ضریب چروکیدگی با افزایش غلظت CMC، باند شدن و اتصال مولکول های آب به CMC و همچنین، تشکیل فیلم به دلیل ویژگی ترموزلی این بیوپلیمر در هنگام خشک شدن و تماس با جریان هوای داغ، می باشد [۱۷، ۲۳]. اما با این وجود، کاهش ضریب چروکیدگی و افزایش نسبت حجمی، بین تیمارهای مختلف از لحاظ آماری معنی دار نبود.

1. Bonferoni

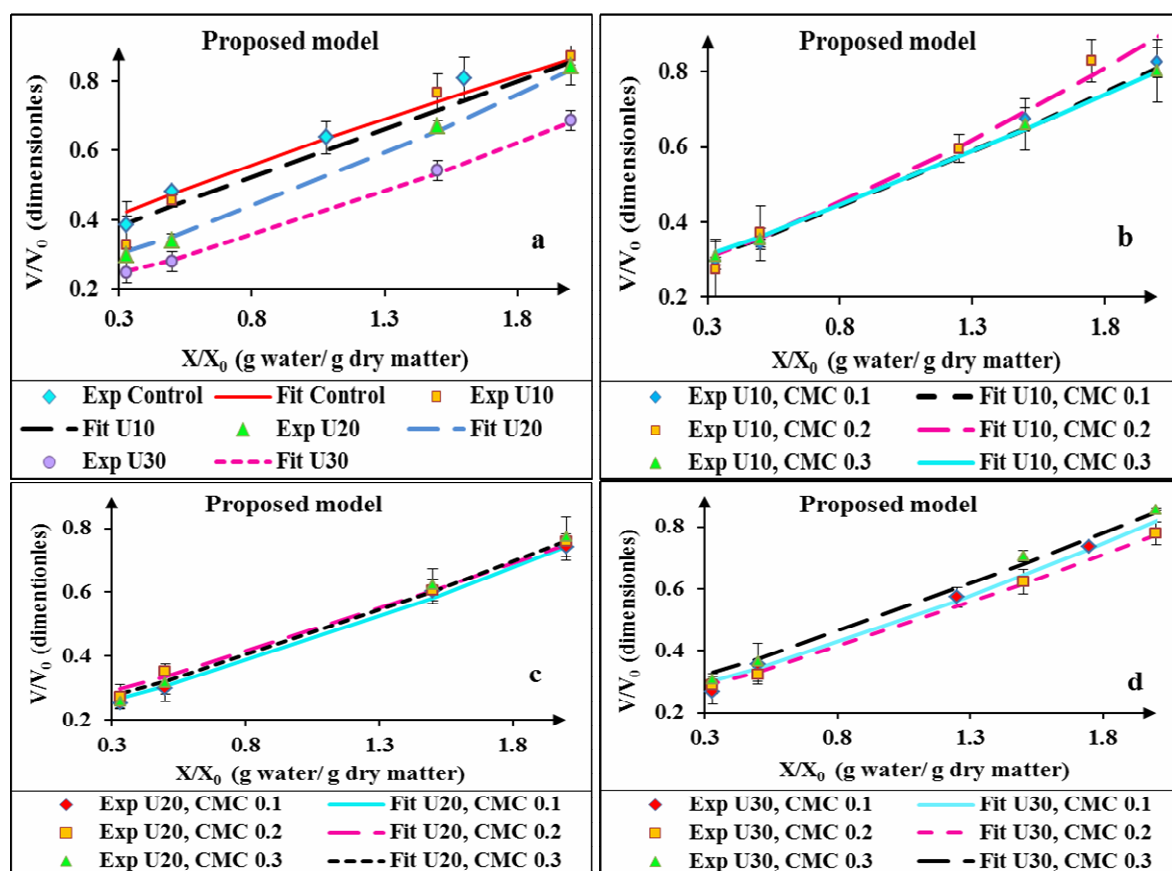


Fig 2 (a, b, c and d): Dimensionless volume ratio changes as a function of dimensionless moisture content for various treatments based on Table 1 and their fittings with the proposed model (Model 8, Table 2)

Table 3 Simultaneous effect of ultrasound and CMC on mean volume ratio and mean shrinkage coefficient

Treatment	Volume ratio (D_R)	Shrinkage Coefficient (S_b)
Control	0.386 ^a	0.613 ^a
U10	0.328 ^a	0.671 ^a
U20	0.300 ^a	0.699 ^a
U30	0.247 ^a	0.751 ^a
U10, CMC 0.1%	0.295 ^a	0.704 ^a
U10, CMC 0.2%	0.274 ^a	0.725 ^a
U10, CMC 0.3%	0.310 ^a	0.689 ^a
U20, CMC 0.1%	0.252 ^a	0.746 ^a
U20, CMC 0.2%	0.271 ^a	0.728 ^a
U20, CMC 0.3%	0.275 ^a	0.742 ^a
U30, CMC 0.1%	0.269 ^a	0.730 ^a
U30, CMC 0.2%	0.290 ^a	0.709 ^a
U30, CMC 0.3%	0.306 ^a	0.693 ^a

The same letters in the same column does not indicate a significant difference ($p > 0.05$)

۳-۲- مدل سازی چروکیدگی

در شکل ۲ (الف، ب، ج و د)، علاوه بر تأثیر فراصوت و CMC بر میزان چروکیدگی تیمارهای مختلف، می توان برازش نسبت حجمی در مقابل محتوای رطوبت آن ها را نیز با مدل پیشنهادی (مدل ۸ جدول ۲) مشاهده کرد. در جدول ۴ (الف و ب)، پارامترهای آماری مدل های مختلف برای تیمار شاهد و سایر تیمارها آمده است. همان طور که در این جداول دیده می شود، مدل های جدید پیشنهادی به همراه سایر مدل های جدول ۴، پارامترهای آماری قابل قبولی را به خود اختصاص داده اند و این مطلب نشان می دهد که تمامی مدل های فوق می توانند داده های آزمایشی را به خوبی برازش کنند؛ اما در بین مدل های

جدول ۲، تنها مدل ۸، با توجه به نتایج حاصل از آنالیز رگرسیونی چندمتغیره و داشتن پارامترهای آماری قابل قبول (میانگین میزان ضریب تبیین، خطای ریشه متوسط مربعات و مجموع مربعات خطای مدل مذکور در بین تیمارهای مختلف، به ترتیب ۰/۹۹۳۵، ۰/۰۰۱۹ و ۰/۰۲۲۴ می باشد)، به عنوان مدل پیشنهادی مناسب به منظور پیش بینی تغییرات چروکیدگی انگور در نظر گرفته شد. معادله های ۴ و ۵ نیز، به ترتیب ضرایب K_1 و K_2 مدل توسعه یافته پیشنهادی (مدل ۸ جدول ۲) را نشان می دهند. این ضرایب وابسته به زمان فراصوت هستند و اثر غلظت CMC بر آن ها معنی دار نیست.

Table 4 (a) Statistical parameters for various models based on Table 2 for control treatment (CMC concentration: 0; Ultrasound frequency: 0)

Model no.	R ²	SSE	RMSE
1	0.97	0.005	0.042
2	0.99	0.0009	0.030
3	0.99	0.001	0.029
4	0.99	0.001	0.025
5	0.99	0.001	0.031
6	0.96	0.006	0.047
7	0.93	0.015	0.070
8	0.98	0.003	0.024

Table 4 (b) Statistical parameters for various models based on Table 2 for different treatments

		CMC											
		Concentration											
Model no	Ultrasound	0			0.1			0.2			0.3		
		R ²	SSE	RMSE	R ²	SSE	RMSE	R ²	SSE	RMSE	R ²	SSE	RMSE
1	10	0.97	0.008	0.052	0.99	0.0004	0.012	0.99	0.002	0.025	0.99	0.00003	0.003
	20	0.99	0.0001	0.007	0.99	0.0001	0.007	0.99	0.0005	0.014	0.99	0.0001	0.006
	30	0.99	0.0002	0.009	0.99	0.0006	0.014	0.99	0.0002	0.009	0.99	0.0002	0.008
2	10	0.99	0.0004	0.021	1.00	0.00001	0.004	0.99	0.001	0.043	0.99	0.00003	0.005
	20	1.00	0.00001	0.004	0.99	0.00006	0.007	0.99	0.0005	0.022	0.99	0.00002	0.004
	30	1.00	0.000006	0.002	0.99	0.0003	0.019	0.99	0.00005	0.007	0.99	0.00001	0.004
3	10	0.99	0.0014	0.026	0.99	0.00007	0.006	0.99	0.003	0.042	0.99	0.00003	0.003
	20	0.99	0.0001	0.007	0.99	0.0001	0.007	0.99	0.0005	0.017	0.99	0.00002	0.003
	30	0.99	0.00004	0.004	0.99	0.0005	0.017	0.99	0.0001	0.007	0.99	0.00004	0.004
4	10	0.92	0.022	0.086	0.96	0.010	0.059	0.98	0.006	0.045	0.98	0.006	0.045
	20	0.98	0.007	0.049	0.98	0.006	0.045	0.97	0.006	0.045	0.97	0.009	0.055
	30	0.98	0.003	0.026	0.97	0.006	0.044	0.98	0.005	0.040	0.97	0.010	0.058
5	10	0.99	0.0008	0.021	0.99	0.0001	0.007	0.99	0.003	0.041	0.99	0.00003	0.0003
	20	0.99	0.00009	0.007	0.99	0.0001	0.008	0.99	0.0005	0.017	0.99	0.0002	0.003
	30	0.99	0.00003	0.004	0.99	0.0005	0.017	0.99	0.00008	0.006	0.99	0.0002	0.003
6	10	0.97	0.008	0.052	0.98	0.006	0.046	0.98	0.006	0.047	0.98	0.004	0.027
	20	0.99	0.002	0.031	0.99	0.002	0.029	0.98	0.005	0.041	0.98	0.004	0.040
	30	0.99	0.001	0.021	0.97	0.005	0.043	0.99	0.002	0.026	0.98	0.006	0.047
7	10	0.92	0.022	0.086	0.96	0.010	0.059	0.97	0.010	0.058	0.98	0.006	0.045
	20	0.98	0.007	0.049	0.98	0.006	0.045	0.97	0.006	0.045	0.97	0.009	0.055
	30	0.98	0.003	0.026	0.97	0.005	0.044	0.98	0.005	0.040	0.97	0.010	0.058
8	10	0.97	0.007	0.051	0.99	0.001	0.024	0.98	0.002	0.035	0.99	0.00003	0.010
	20	0.99	0.0006	0.014	0.99	0.0007	0.016	0.99	0.001	0.018	0.99	0.001	0.023
	30	0.99	0.0001	0.007	0.99	0.001	0.022	0.99	0.0002	0.008	0.99	0.001	0.022

در جدول ۵، مقادیر ضرایب K_1 و K_2 مدل پیشنهادی برای زمان‌های مختلف فراصوت آمده است.

$$K_2 = -0.000725 \times ULT^2 + 0.03342 \times ULT + 0.870516 \quad (۵)$$

(۴)

در معادله‌های فوق، ULT زمان فراصوت بر حسب دقیقه و a و b ضرایب مدل پیشنهادی می‌باشند.

$$K_1 = 0.000122 \times ULT^2 - 0.006161 \times ULT + 0.307247$$

Table 5 Magnitudes of K_1 and K_2 coefficients obtained from regression analysis for the proposed model (Model 8; Table 2)

Ultrasound (min)	K_1	K_2
0	0.306	0.864
10	0.260	1.151
20	0.230	1.229
30	0.233	1.226

ها صورت گرفت و نتایج حاصل از آن نشان داد که تنها، مدل پیشنهادی ۸، وابسته به متغیرهای مورد بررسی (زمان فراصوت و غلظت CMC) می‌باشد. به عبارت دیگر، هیچ‌کدام از ضرایب سایر مدل‌ها به جز مدل ۸، به شکل تابعی از زمان فراصوت نبودند. بنابراین، مدل ۸، به صورت تابعی از زمان فراصوت با در نظر گرفتن غلظت CMC، به دست آمده و به عنوان مدل پیشنهادی مناسب برای توصیف چروکیدگی انگور معرفی شد (معادله‌های ۴ و ۵ و جدول ۵). جدول ۶، مقادیر چروکیدگی پیش‌بینی شده توسط مدل توسعه یافته (مدل پیشنهادی ۸) و مقادیر آزمایشی را در زمان‌های مختلف فراصوت و محتوای رطوبت نشان می‌دهد. همانگونه که از این جدول نیز پیداست، با کاهش محتوای رطوبت، میزان چروکیدگی (نسبت حجمی) نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

در مورد وابستگی ضرایب K_1 و K_2 مدل پیشنهادی ۸ به زمان فراصوت باید افزود که چون در آنالیزهای رگرسیونی چندمتغیره انجام شده، اثر هم‌زمان دو پیش‌تیمار فراصوت و CMC، 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 بیان شده به صورت تابعی از زمان فراصوت و هم‌چنین، در نظر گرفتن غلظت CMC در ضرایب K_1 و K_2 انجام شد. بدین ترتیب که به عنوان مثال، برای زمان ۱۰ دقیقه فراصوت، از ضرایب K_1 و K_2 ، به طور 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 مدل-

Table 6 Experimental and predicted shrinkage coefficients from the proposed model (Model 8; Table 2)

Ultrasound (min)	0		10		20		30	
Moisture content (g/g db)	Exp	Pre	Exp	Pre	Exp	Pre	Exp	Pre
2	0.961	0.982	0.953	1.008	1.008	0.941	0.827	0.952
1.5	0.807	0.766	0.870	0.839	0.843	0.771	0.685	0.780
0.5	0.636	0.633	0.766	0.675	0.670	0.610	0.542	0.618
0.33	0.481	0.474	0.454	0.377	0.340	0.328	0.280	0.333
0.24	0.386	0.423	0.328	0.333	0.300	0.289	0.247	0.293
R^2	0.98		0.96		0.99		0.99	

۴- نتیجه گیری

چروکیدگی محصول یکی از عیوب مهم حین خشک شدن با استفاده از جریان هوای داغ و یک عامل محدودکننده در انتقال جرم است که باعث افت ویژگی های کمی و کیفی محصول و افزایش مدت زمان لازم برای خشک شدن می شود. این افزایش در زمان مورد نیاز برای خشک شدن به این دلیل است که در جریان چروکیدگی، مساحت سطح محصول به دنبال کاهش حجم آن، کاهش می یابد و در نتیجه مسیر مورد نیاز برای خروج مولکول های آب، حین خشک شدن غیریکنواخت می شود. در بررسی اثر دو پیش تیمار فراصوت و CMC بر میزان چروکیدگی نمونه های انگور، مشخص شد که افزایش زمان فراصوت و کاهش غلظت CMC، باعث افزایش میزان چروکیدگی این نمونه ها می شود. با این حال، افزایش میزان چروکیدگی با افزایش زمان فراصوت، در مقایسه با تیمار شاهد، از لحاظ آماری معنی دار نبود. مدل سازی پدیده چروکیدگی به منظور شناخت تغییرات حجمی محصول در طول خشک شدن نشان داد که مدل ۸ (جدول ۲) علاوه بر داشتن پارامترهای آماری قابل قبول، وابسته به زمان فراصوت نیز است و از این رو می تواند به عنوان مدلی مناسب برای برازش داده های آزمایشی مورد استفاده قرار گیرد.

راهنمای استفاده از جداول و نمودارها

عنوان	علائم اختصاری
نسبت حجمی و ضریب چروکیدگی	D_R, Sh
چگالی ظاهری	ρ_b
چگالی تولوئن	ρ_{to}
ضرایب مدل ها	k_1, k_2, k_3
محتوای رطوبت (گرم آب بر گرم ماده خشک)	X
نسبت رطوبت (بدون بعد)	X/X_0
حجم نهایی	V
حجم اولیه	V_0
حجم در لحظه t	V_t
جرم تولوئن جابه جاشده	M

۵- منابع

- [1] Mayor, L. and Sereno, A.M. 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 61, 373-386.
- [2] Figiel, A. 2010. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering*, 98, 461-470.
- [3] Bhaskaracharya, R., Kentish, S. and Ashokkumar, M. 2009. Selected applications of ultrasonics in food processing. *Food Engineering Reviews*, 1, 31-49.
- [4] Doymaz, I. 2006. Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. *Journal of Food Engineering*, 76, 212-217.
- [5] Yildirim, A., Öner, M.D. and Bayram, M. 2011. Fitting Fick's model to analyze water diffusion into chickpeas during soaking with ultrasound treatment. *Journal of Food Engineering*, 104, 134-142.
- [6] Cárcel, J.A., Benedito, J., Rosselló, C. and Mulet, A. 2007. Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, 78, 472-479.
- [7] Fernandes, F.A.N., Linhares J.F.E. and Rodrigues, S. 2008. Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15, 1049-1054.
- [8] Fernandes, F.A.N. and Rodrigues, S. 2007. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana. *Journal of Food Engineering*, 82, 261-267.
- [9] 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.
- [10] Rodrigues, S., Oliveira, F.I.P., Gallão, M.I. and Fernandes, F.A.N. 2009a. Effect of

- dehydration of papaya. *Food Research International*, 43, 1656-1660.
- [21] Emam-Djomeh, Z., Dehghannya, J. and Sotudeh Gharabagh, R. 2006. Assessment of osmotic process in combination with coating on effective diffusivities during drying of apple slices. *Drying Technology*, 24, 1159-1164.
- [22] Souraki, B.A. and Mowla, D. 2008. Axial and radial moisture diffusivity in cylindrical fresh green beans in a fluidized bed dryer with energy carrier: Modeling with and without shrinkage. *Journal of Food Engineering*, 88, 9-19.
- [23] Koç, B., Eren, İ. and Kaymak Ertekin, F. 2008. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of Food Engineering*, 85, 340-349.
- [24] Ochoa, M.R., Kessler, A.G., Pirone, B.N., Márquez, C.A. and De Michelis, A. 2007. Analysis of shrinkage phenomenon of whole sweet cherry fruits (*Prunus avium*) during convective dehydration with very simple models. *Journal of Food Engineering*, 79, 657-661.
- [25] Hatamipour, M.S., Hadji Kazemi, H., Nooralivand, A. and Nozarpoor, A. 2007. Drying characteristics of six varieties of sweet potatoes in different dryers. *Food and Bioproducts Processing*, 85, 171-177.
- [26] Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 177-182.
- [27] Ramos, I.N., Silva, C.L.M., Sereno, A.M. and Aguilera, J.M. 2004. Quantification of microstructural changes during first stage air drying of grape tissue. *Journal of Food Engineering*, 62, 159-164.
- [28] Hassini, L., Azzouz, S., Peczalski, 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.
- [29] Disa, A.O., Desmorieux, H., Bathiebo, J. and Koulidiati, J. 2008. Convective drying characteristics of Amelie mango (*Mangifera Indica* L. cv. 'Amelie') with correction for shrinkage. *Journal of Food Engineering*, 88, 429-437.
- [30] Azzouz, S., Guizani, A., Jomaa, W. and Belghith, A. 2002. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying immersion time in osmosis and ultrasound on papaya cell structure during dehydration. *Drying Technology*, 27, 220-225.
- [11] Rodrigues, S., Gomes, M.C.F., Gallão, M.I. and Fernandes, F.A.N. 2009b. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration on cell structure of sapotas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 665-670.
- [12] Azsoubel, 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.
- [13] Nowacka, M., Wiktor, A., Śledź, M., Jurek, N. and Witrowa-Rajchert, D. 2012. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *Journal of Food Engineering*, 113, 427-433.
- [14] Váscónez, M.B., Flores, S.K., Campos, C.A., Alvarado, J. and Gerschenson, L.N. 2009. Antimicrobial activity and physical properties of chitosan-tapioca starch based edible films and coatings. *Food Research International*, 42, 762-769.
- [15] Carneiro-da-Cunha, M.G., Cerqueira, M.A., Souza, B.W.S., Souza, M.P., Teixeira, J.A. and Vicente, A.A. 2009. Physical properties of edible coatings and films made with a polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. *Journal of Food Engineering*, 95, 379-385.
- [16] 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.
- [17] Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 364-373.
- [18] 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.
- [19] Toğrul, H. and Arslan, N. 2004. Extending shelf-life of peach and pear by using CMC from sugar beet pulp cellulose as a hydrophilic polymer in emulsions. *Food Hydrocolloids*, 18, 215-226.
- [20] García, M., Díaz, R., Martínez, Y. and Casariego, A. 2010. Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic

- [34] AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- [35] Yan, Z., Sousa –Gallagher, M.J. and Oliveira, F.A.R. 2008. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *Journal of Food Engineering*, 84, 430-440.
- [36] Steel, R.G.D., Torrie, J.H. and Dickey, D.A. 1997. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. New York: McGraw-Hill.
- [37] Batista, L.M., da Rosa, C.A. and Pinto, L.A.A. 2007. Diffusive model with variable effective diffusivity considering shrinkage in thin layer drying of chitosan. *Journal of Food Engineering*, 81, 127-132.
- of grapes. *Journal of Food Engineering*, 55, 323-330.
- [31] Ramos, I.N., Miranda, J.M.R., Brandão, T.R.S. and Silva, C.L.M. 2010. Estimation of water diffusivity parameters on grape dynamic drying. *Journal of Food Engineering*, 97, 519-525.
- [32] Ghanbarzadeh, B., Almasi, H. and Entezami, A.A. 2010. Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films: *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 697-702.
- [33] Seiiedlou, 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.

Shrinkage empirical modeling during drying of grapes pretreated with ultrasound and carboxymethyl cellulose

Tahmasebi-Pour, M.¹, Dehghannya, J.^{2*}, Seiedlou-Heris, S. S.³,
Ghanbarzadeh, B.⁴

1. M. Sc. Graduate, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

3. Associate Professor, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

4. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

(Received: 2014/05/25 Accepted: 2014/12/09)

High temperatures during drying, with loss of water in the meantime, cause tension in the food, change the microstructure and reduce the volume (shrinkage). In this study, the effect of ultrasonic pretreatment at 10, 20 and 30 minutes and carboxymethyl cellulose with concentrations of 0.1, 0.2 and 0.3 percent on grapes shrinkage during drying and its modeling was examined. In this study, pretreated grapes were dried in a tunnel dryer and their volumetric changes were measured. Results showed that all the pretreatments have higher shrinkage compared with control samples, but this difference was not statistically significant. Also, by increasing ultrasound time, the shrinkage of the samples increased compared with control treatment. Control and pretreated samples with ultrasound for 30 minutes had the lowest and highest rate of shrinkage, respectively, in the various studied treatments. In the samples pretreated with both ultrasound and CMC, it was observed that by increasing the concentration of CMC, shrinkage of the samples decreases compared to its lower concentrations.

Keywords: Drying, Ultrasound, Carboxymethyl cellulose, Shrinkage, Modeling

* Corresponding Author E-Mail Address: J-dehghannya@tabrizu.ac.ir