

The Effect of Osmotic and Ultrasonic Pre-Treatments on the Quality of Strawberry Drying Process in Hot Air Drying Method

ALI SAMIE¹, SHABAN GHAVAMI JOLANDAN^{2*}, HASSAN ZAKI DIZAJI³, MOHAMMAD HOJJATI⁴

1. Master of Science, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

2. Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

3. Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran,

4. Associate Professor, Department of Food Science, Faculty of Animal and Food Science, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mollasani, Khuzestan, Iran

(Received: Aug. 15, 2018- Revised: Apr. 6, 2010, Accepted: Apr. 22, 2019)

ABSTRACT

Drying is one of the most widely used methods for preserving fruits and vegetables. In the drying process, to reach final water activity, the water content of the food has reduced. This guarantees microbial resistance of the products and minimizes the physical and chemical changes. In this study, the effect of osmotic and ultrasonic pre-treatment on strawberries has investigated. Strawberries after cutting, they were submerged in a sucrose osmotic solution by 60% concentration and also distilled water. In the following, a sample in sucrose solution under ultrasonic process (UOD), one sample in a sucrose solution without ultrasound (OD) and one sample of distilled water with ultrasound (UDW) After 10, 20, and 30 minutes in an oven at 60 ° C, were placed to complete the drying process. After that, the effect of osmotic and ultrasonic pre-treatments on the level of water loss, absorption of soluble solids, weight loss, water re-absorption, shrinking percentage, tissue, color index and sensory acceptability were evaluated. The results showed that osmotic-ultrasonic pre-process led to an increase in absorption of soluble solids, water loss, weight loss and tissue loss. Shrinking Percentage (down to 21.44%) and redness and yellowness index also decreased during sonication. Osmotic pre-treated samples were more acceptable among consumers in terms of taste, color, tissue and general acceptance. Total drying time reduce 5 up to 25% with applying pretreatment types. As a result, osmotic-ultrasound pretreated method of drying is more cost-effective in terms of time.

Key words: osmotic drying, Ultrasound, strawberry, quality metering

اثر پیش تیمارهای اسمزی و فراصوت بر کیفیت فرایند خشک کردن ورقه‌های توت‌فرنگی به روش خشک‌کنی هوا داغ

علی سمیع^۱، شعبان قوامی جولدندان^{۲*}، حسن ذکی دیزجی^۳، محمد حجتی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۴. دانشیار گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع

طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۲۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۲/۲)

چکیده

خشک کردن یکی از گسترده‌ترین روش‌های مورد استفاده برای نگهداری میوه‌ها و سبزی‌ها می‌باشد. در فرآیند خشک کردن، به منظور رسیدن به یک فعالیت آبی نهایی، درصد آب ماده‌ی غذایی کاهش می‌یابد. این عمل پایداری میکروبی محصول را تضمین کرده و تغییرات فیزیکی و شیمیایی را به حداقل می‌رساند. در این مطالعه اثر پیش تیمار اسمزی و فراصوت بر توت‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. توت‌فرنگی بعد از برش، در محلول اسمزی ساکارز با غلظت ۶۰ درصد و همچنین آب مقطر غوطه‌ور شدند. در ادامه یک نمونه در محلول ساکارز تحت فرآیند فراصوت (UDW)، یک نمونه در محلول ساکارز بدون فراصوت (OD) و یک نمونه محلول در آب مقطر با فراصوت (UDW) پس از طی مدت زمان‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه در آن با دمای ۶۰ درجه سلسیوس برای تکمیل فرآیند خشک شدن قرار گرفتند. سپس تأثیر پیش تیمار اسمزی و فراصوت بر میزان از دست دادن آب، جذب مواد جامد محلول، کاهش وزن، جذب مجدد آب، درصد چروکیدگی، بافت، شاخص رنگ b^* a^* L^* و مقبولیت حسی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که پیش فرایند اسمزی-فراصوت سبب افزایش جذب مواد جامد محلول، از دست دادن آب، کاهش وزن و بافت نمونه می‌شود. همچنین درصد چروکیدگی (تا ۲۱/۴۴ درصد) و شاخص قرمزی و زردی در طی زمان فراصوت کاهش یافتند. نمونه‌های پیش تیمار دیده اسمزی از نظر طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی مقبولیت بیشتری در بین مصرف کنندگان داشتند. با اعمال انواع پیش تیمارها، کل زمان خشک شدن به میزان ۵ الی ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. در این میان خشک کردن با پیش تیمار اسمزی-فراصوت از نظر زمان مقرون به صرفه‌تر است.

واژه‌های کلیدی: خشک کردن اسمزی، فراصوت، توت‌فرنگی، کیفیت سنجی

مقدمه

توت‌فرنگی گیاهی نهان‌دانه با نام علمی *Fragaria vesca* و از تیره گلسرخیان *Rosaceae* است. توت‌فرنگی وحشی اروپایی عمدتاً از ریشه *Fragaria vesca* بوده و ارقام زیر کشت نیز از منشأ *F. Chilosensis* و *F. Virginia* به دست آمده‌اند. توت‌فرنگی (*F. ananassa*) در سطح جهانی کشت می‌شود (Perkins-Veazie, 2010). مهم‌ترین ارقامی که در ایران کشت و کار می‌شوند، شامل ارقام کردستان، سلوا، کامارزا، پاجرو، پارس، گاوپوتا، کویین الیزا و آلیسو می‌باشند (Eshghi et al., 2007). بر اساس آمار فائو، سطح زیر کشت توت‌فرنگی در ایران، ۳۹۷۶ هکتار با تولید ۵۵۹۴۶ تن در سال ۲۰۱۶ بوده است (FAO, 2016).

این میوه سرشار از ویتامین C و پتاسیم بوده و کمی هم دارای ویتامین A، فولات و کلسیم می‌باشد. این میوه به عنوان یک جایگزین شیرین، باعث افزایش سلامت قلب، کاهش خطر ابتلا به انواع سرطان و در کل ارتقاء سلامتی بدن می‌شود. توت‌فرنگی سرشار از ویتامین و فاقد چربی اشباع است و کالری کمی دارد، پاک کننده روده و مثانه نیز محسوب می‌شود (Giampieri et al., 2012). علی‌رغم ویژگی‌های تغذیه‌ای بالا، توت‌فرنگی یکی از میوه‌های مستعد فساد و حساس به آسیب‌های مکانیکی و زوال فیزیولوژیکی است که دارای سرعت متابولیسم و تخریب سریع در طول مدت زمان نسبتاً کوتاه است. این میوه دارای عمر انباری کمی بوده و نمی‌توان آن را برای مدت طولانی نگهداری کرد،

نمونه‌های خربزه در آب مقطر و محلول ساکارز غوطه‌ور شد و برای مدت زمان مشخص فراصوت و سپس فرایند تکمیلی در آن انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد اعمال پیش تیمارها موجب تولید محصولی با بهره‌ی اقتصادی بالاتر کیفیتی بهتر از لحاظ رنگ و بافت شده است (Dasilva et al., 2016).

هدف از این پژوهش استفاده از پیش تیمارهای غیر حرارتی (اسمز و فراصوت) به منظور بررسی اثر آنها بر فرآیند خشک کردن ورقه‌های توت‌فرنگی به روش هوای داغ، کیفیت محصول خشک شده و مدت زمان خشک کردن هست.

مواد و روش‌ها

ابتدا توت‌فرنگی‌های تازه رقم سلوا (Selva) در اندازه‌های یکسان، رنگ و درجه رسیدگی یکسان از بازار اهواز خریداری و شسته شد و پس از گرفتن رطوبت اضافی توسط کاغذ خشک کن به اندازه‌های یکسان به قطر ۵ میلی‌متر بریده شدند. محتوای رطوبت میوه تازه اندازه‌گیری شد که برابر با ۸۷/۵۴ درصد بود.

تیمار بندی نمونه‌ها جهت خشک کردن اسمزی

الف_ پیش تیمار فراصوت (UDW): ورقه‌های توت‌فرنگی در حمام فراصوت (Parsonic7500s, Parsnahand company, Iran) با فرکانس ۳۷KHZ در آب مقطر غوطه‌ور شد و برای مدت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه تحت تیمار فراصوت قرار گرفت.

ب_ پیش تیمار اسمز - فراصوت (UOD): قطعات میوه در محلول اسمزی ساکارز با غلظت ۶۰ درصد وزنی تحت تیمار فراصوت با فرکانس ۳۷KHZ و به مدت زمان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه تحت تیمار قرار داده شد.

ج_ پیش تیمار اسمزی (OD): ورقه‌های توت‌فرنگی در محلول اسمزی ساکارز ۶۰ درصد وزنی به مدت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه تیماردهی شد. در ادامه، اندازه‌گیری میزان افزایش محتوای ماده خشک (SG)، کاهش محتوای رطوبتی (WL) و میزان کاهش وزن (WR) از فرمول‌های (۱)، (۲) و (۳) به دست آمد:

$$WR(\%) = \frac{w_i - w_f}{w_i} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$WL(\%) = \frac{(w_i \cdot x_i - w_f \cdot x_f)}{w_i} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$SG(\%) = \frac{w_f \cdot X_{sf} - w_i \cdot X_{si}}{w_i \cdot X_{si}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این روابط،

Wi: وزن اولیه نمونه (gr)

بنابراین برای افزایش عمر انباری محصول برداشت شده و حفظ کیفیت آن روش‌های مختلفی استفاده می‌شود (Changrue et al., 2006). خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌ها نیازمند توجه خاصی در صنعت می‌باشد به دلیل اینکه منبع مهم ویتامین‌ها و مواد معدنی مورد نیاز بدن هستند. همچنین به عنوان یک بخش مهم در صنعت کشاورزی مطرح می‌شود (Mirzaei Moghaddam et al., 2006).

یکی از مهم‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی، خشک کردن و آب زدایی است. خشک کردن اسمزی یکی دیگر از روش‌های نگهداری مواد غذایی است که قادر به ایجاد خواص کیفی بهتر در محصول می‌گردد (Yu et al., 2018). در کاربرد فرآیند اسمزی، به دلیل استفاده محدود و کوتاه مدت از جریان هوای گرم برای تکمیل عملیات خشک کردن، نه تنها ویژگی‌های مطلوب محصول در حد قابل توجهی حفظ می‌گردد بلکه میزان نیاز به انرژی حرارتی جهت حذف آب اضافی محصول شدیداً کاهش می‌یابد. از طرفی با بکارگیری محلول اسمزی از واکنش قهوه‌ای شدن آنزیمی تا حد قابل توجهی جلوگیری شده و امکان حذف مواد شیمیایی نظیر ترکیبات گوگردی افزایش خواهد یافت (Lyu et al., 2017). از سوی دیگر امواج فراصوت با مکانیسم‌های مختلف ممکن است منجر به افزایش میزان خروج رطوبت از ماده غذایی طی فرایند خشک کردن شود از جمله آنها می‌توان به افزایش دما در لایه مرزی، تغییر فشار در اثر کاپیتاسیون، توسعه میکرو کانال‌ها در اثر ایجاد در نتیجه تنش برشی حاصل از کاپیتاسیون، اغتشاش در لایه مرزی و ایجاد تغییرات ساختمانی در محیط اشاره کرد (Awad et al., 2012). لازم به ذکر است که امواج فراصوت با فرکانس پایین و انرژی زیاد می‌توانند بطور مستقیم برای خشک کردن و یا به عنوان یک پیش تیمار قبل از خشک شدن استفاده شوند (Poursaeedi et al., 2012).

در پژوهشی، اثر پیش تیمار فراصوت و فراصوت اسمزی قبل از خشک کردن آناناس بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد مدت زمان خشک کردن (بیش از ۱ ساعت) کاهش می‌یابد. در مدت اعمال پیش تیمار فراصوت در آب مقطر تکه‌های آناناس مقدار قند از دست دادند، که این بررسی نشان می‌دهد که می‌توان میوه خشک با درصد قند کمتر تولید نمود. همچنین آزمایش‌ها نشان داد که از دست دادن رطوبت میوه در محلول اسمزی با افزایش مواد جامد محلول بیشتر می‌شود (fernandes et al., 2008). در پژوهشی مشابه در مورد خربزه هدف ارزیابی پیش تیمارهای فراصوت، آب‌گیری اسمزی و وکیوم در خشک کردن خربزه است.

نمونه‌های تیمار نشده (NT) و نمونه‌ها با تیمارهای مختلف در آن (شکل ۱) با دمای ۶۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به رطوبت ۲۰ درصد خشک شدند (Doymaz, 2008). سرعت جریان هوا در اطراف نمونه در داخل آن در حدود ۰/۳-۰/۲ متر بر ثانیه است.



شکل ۱- آون خلاء Binder مدل VD 23

W_f : وزن نهایی نمونه (gr)

X_i : رطوبت اولیه نمونه بر پایه وزن تر

X_f : رطوبت نهایی نمونه بر پایه وزن تر

X_{sf} : مقدار ماده جامد نمونه آب‌گیری شده (gr)

X_{si} : مقدار ماده جامد نمونه اولیه (gr)

گزارش گردید. (Aidani *et al.*, 2017). برای گرفتن عکس‌های میکروسکوپی و تعیین تغییر ساختار سلول‌ها از میکروسکوپ نوری (BX51, Olympus co., Japan) با بزرگنمایی ۱۰۰ استفاده شد که دوربین DP12 بر روی آن نصب شده بود.

آنالیز بافت

برای بررسی بافت نمونه‌ها از دستگاه بافت‌سنج مدل Stable micro system TA.XT.PLUS ساخت انگلستان استفاده شد. این دستگاه با اعمال فشار بر سطح ماده غذایی میزان مقاومت ماده غذایی را به صورت عدد بر حسب گرم نیرو نشان می‌دهد و با استفاده از این دستگاه می‌توان شاخص‌های سفتی بافت، چسبندگی و پیوستگی را بررسی کرد. بدین طریق نیروی لازم برای نفوذ یک پروب با انتهای سوزنی با سرعت ۳۰ میلی‌متر در دقیقه به داخل توت‌فرنگی محاسبه و بر حسب میزان سفتی گزارش شد (Goli *et al.*, 2010).

اندازه‌گیری درصد چروکیدگی

برای اندازه‌گیری درصد چروکیدگی نمونه‌ها، تغییرات حجم نمونه‌ها با استفاده از روش جابجایی مایع توسط تولون تعیین شد (Sette *et al.*, 2017).

قابلیت جذب مجدد آب

قابلیت جذب مجدد نمونه‌های خشک شده بصورت غوطه‌وری در آب مقطر با دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت انجام شد. نمونه‌ها پس از ۱ ساعت از آب خارج و آب سطحی آن با استفاده از کاغذ صافی گرفته و توزین و بر اساس رابطه ۴ مقدار قابلیت جذب مجدد آب توسط نمونه‌ها محاسبه شد (Hammami *et al.*, 1999)

$$PR = \frac{W_r}{W_d} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در این فرمول،

PR: قابلیت جذب آب

W_r : وزن نمونه پس از جذب آب (gr)

W_d : وزن نمونه قبل از جذب آب (gr)

فاکتورهای رنگی و پردازش تصویر

جهت بررسی رنگ برش‌های میوه‌ی توت‌فرنگی تیمار دیده از روش پردازش تصویر استفاده شد. شاخص‌های رنگی برش‌های میوه‌ی توت‌فرنگی با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج بررسی و شاخص‌های L^* (شاخص شفافیت)، a^* (شاخص قرمزی - سبزی) و b^* (شاخص زرد - آبی)، تعیین گردید. هر بار ۳ نمونه از هر تیمار اسکن شده و تصاویر به دست آمده آنالیز و میانگین نتایج

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی توسط یک گروه ارزیاب حسی متشکل از چند نفر از متخصصان صنایع غذایی انجام گرفت که با انجام آزمایش‌های اولیه تشخیص طعم از بین ۱۰ نفر در محدوده‌ی سنی ۲۸-۲۲ انتخاب گردید. کلیه ارزیابی‌ها با امتیازدهی بدین طریق که کمترین امتیاز با دادن نمره ۱ و بیشترین امتیاز با دادن نمره ۵ انجام پذیرفت. در این آزمون از روش هدونیک پنج نقطه‌ای استفاده گردید و پرسش‌ها درباره نظر ارزیاب‌ها در مورد بافت، رنگ، طعم و پذیرش کلی محصول مطرح گردید (Mezgebo *et al.*, 2018).

طرح آماری و آنالیز داده‌ها

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین داده با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. کلیه آزمایش‌ها در ۳ تکرار انجام شد. جهت آنالیز آماری از نرم افزار SPSS (نسخه ۲۰) استفاده شد.

نتایج و بحث

میزان از دست دادن آب و جذب مواد جامد محلول

تأثیر زمان تیماردهی فراصوت و محلول اسمزی بر میزان از دست دادن آب و جذب مواد جامد محلول در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، اختلاف معنی‌داری در سطح $(P < 0.05)$ بین نمونه‌های تیمار دیده با فراصوت و بدون فراصوت وجود دارد. به عبارت دیگر، در نمونه‌های تیمار دیده با فراصوت

جدول ۱- تأثیر مدت زمان فراصوت و پیش تیمار اسمزی بر میزان از دست دادن آب و جذب مواد جامد محلول

زمان (دقیقه)	محتوای رطوبتی			محتوای ماده خشک		
	اسمز-فراصوت	اسمزی	آب مقطر-فراصوت	اسمز-فراصوت	اسمزی	آب مقطر-فراصوت
۱۰	۳/۸۰۶±۱/۰۸ ^{Ca}	۱/۸۱۳±۱/۳۲ ^{Ba}	۱/۳۹۳±۱/۸۲ ^{Aa}	۰/۳۲±۱/۰۳ ^{Ca}	-۰/۴۵۳±۱/۷۶ ^{Aa}	-۰/۲۴۶±۱/۲۱ ^{Ba}
۲۰	۴/۵۴۳±۱/۹۹ ^{Cb}	۲/۱۰۶±۱/۲ ^{Ab}	۲/۷۸۶±۱/۶۱ ^{Bb}	۰/۴۰±۱/۴۵ ^{Cb}	-۰/۲۰۶±۱/۱۴ ^{Bb}	-۰/۴۸۰±۰/۹۸ ^{Ab}
۳۰	۵/۶۹۵±۲/۰۴ ^{Bc}	۲/۵۲±۱/۲۷ ^{Ab}	۳/۰۶۶±۱/۵۵ ^{Bc}	۰/۴۵±۲/۰۱ ^{Cb}	۰/۳۳۶±۱/۰۵ ^{Bc}	-۰/۵۵۳±۱/۱۱ ^{Ab}

*حروف بزرگ متفاوت در یک ردیف نشان دهنده اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد بین تیمارها می‌باشد.

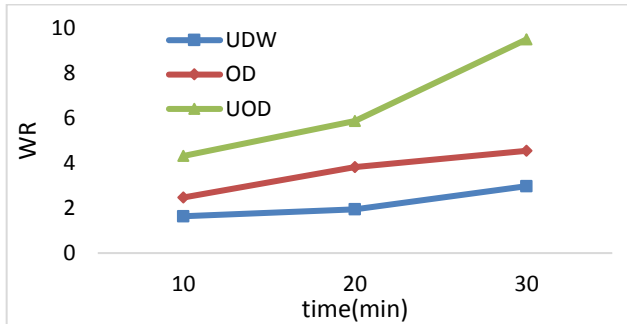
*حروف کوچک متفاوت در یک ستون نشان دهنده اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد بین تیمارها می‌باشد.

نسبت جذب مجدد آب

تأثیر مدت زمان فراصوت و محلول اسمزی بر نسبت جذب مجدد آب در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲، اختلاف معنی‌داری در سطح $(P < 0.05)$ بین نمونه‌های تیمار دیده با فراصوت و بدون فراصوت وجود دارد. در محلول اسمزی ساکارز با اعمال فراصوت در طی افزایش زمان نسبت به نمونه محلول اسمزی ساکارز بدون فراصوت، نسبت جذب مجدد آب کمتری را

بطور کلی فراصوت با انرژی بالا به عنوان پیش تیمار قبل از فرآیند خشک کردن با هوای داغ، با هدف بهبود خصوصیات از جمله چروکیدگی محصول خشک شده از طریق بهبود پدیده انتقال جرم و حرارت به کار می‌رود. همچنین به دلیل ایجاد کانال‌های میکروسکوپی، باعث حفظ اختلاف فشار مکش لوله های موئین و خروج راحت تر رطوبت می‌گردد (Amami *et al.*, 2017).

رطوبت در مراحل اولیه فرایند می‌شود. در نتیجه نمونه مورد نظر در زمان کمتری خشک و وزن کمتری خواهد داشت. در واقع با افزایش جذب مواد جامد محلول و میزان از دست دادن آب، کاهش وزن بیشتری اتفاق می‌افتد. بیشترین و کمترین مقدار کاهش وزن نمونه برابر با ۹/۴۹ و ۱/۶ مربوطه به تیمار UOD و زمان ۳۰ دقیقه، و تیمار UDW و زمان ۱۰ دقیقه بود.

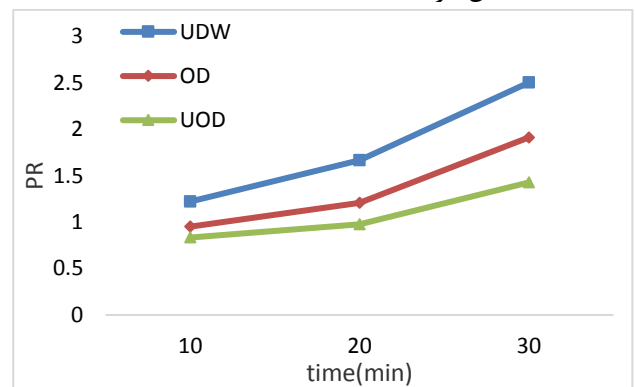


شکل ۳- تأثیر مدت زمان فراصوت و پیش تیمار اسمزی بر میزان کاهش وزن

بافت

تأثیر مدت زمان فراصوت و محلول اسمزی بر میزان سفتی بافت در جدول ۲ و شکل ۴ نشان داده شده است. سفتی می‌تواند، ساختمان فیزیکی بافت، اندازه سلول، شکل، استحکام دیواره سلولی و کشش سطحی داخل سلولی را نشان دهد (Toivonen & Brummell, 2008). طبق شکل ۴ اختلاف معنی‌داری در سطح ($p < 0.05$) بین نمونه‌های تیمار دیده اسمزی با فراصوت و بدون فراصوت با نمونه آب مقطر-فراصوت، مشاهده گردید. بر این اساس با افزایش مدت زمان فراصوت، ساختار بافت نمونه‌های حاوی محلول اسمزی ساکارز نسبت به محلول اسمزی بدون فراصوت و نمونه آب مقطر-فراصوت، سفت‌تر شد. به نظر می‌رسد فرایند اسمزی باعث بهبود بافت نمونه‌ها نسبت به نمونه آب مقطر-فراصوت شد و با افزایش میزان حذف آب، جذب مواد جامد محلول در نمونه‌های اسمزی افزایش یافت. همچنین با کاهش آب میان بافتی، مواد قندی حاصل از اسمز افزایش یافته و فضاهای خالی ناشی از خشک شدن را پر کرده و به همین دلیل بافت نمونه حاوی محلول اسمزی سفت‌تر شده است. بنابراین با افزایش میزان جذب مواد جامد در محلول اسمزی ساکارز، میزان سفتی بافت نیز در سطح ($p < 0.05$) معنی‌داری افزایش یافت. این سخت شدن بافت سبب بهبود و رفع چروکیدگی نیز می‌شود. بطور کلی بکارگیری محلول‌های اسمزی و فراصوت سبب افزایش سفتی بافت نمونه می‌شود. این گزارش با نتایج (Jalaei et al., 2011) مطابقت دارد. کمترین و بیشترین سفتی به ترتیب مربوط به تیمار اسمز-فراصوت در زمان ۳۰ دقیقه برابر با ۱۷/۸۵ و تیمار آب مقطر-فراصوت در زمان ۱۰ دقیقه برابر با ۵/۳ نیوتن است.

نشان می‌دهد. این نسبت در زمان ۳۰ دقیقه برای تیمار اسمزی با فراصوت ۱/۴۳ و برای تیمار اسمزی بدون فراصوت ۱/۹ می‌باشد. همچنین در مقایسه با نمونه آب مقطر-فراصوت، کمترین میزان جذب مجدد آب را داشتند. این امر عمدتاً به دلیل اعمال پیش تیمار اسمزی است که باعث کاهش نسبت جذب مجدد آب می‌شود. این نسبت در زمان ۳۰ دقیقه برای نمونه آب مقطر-فراصوت عدد ۲/۵ را نشان داد. در واقع علت این کاهش می‌تواند پر شدن منافذ خالی بافت و ساختار توت‌فرنگی توسط حل شونده اسمزی و آب‌گیری کمتر لایه ایجاد شده ساکارزی در مقایسه با بافت طبیعی است. بنابراین با اعمال فراصوت، میزان نفوذ و کانال‌های میکروسکوپی نمونه در محلول اسمزی ساکارز بیشتر شده و در نتیجه میزان نسبت جذب مجدد آب با افزایش مدت زمان فراصوت، به تدریج کاهش می‌یابد. این نتایج با گزارش (Romero et al., 2004) مطابقت دارد که نسبت جذب مجدد آب در انبه‌ی پیش تیمار دیده با فرایند اسمز را ۱/۲۲ و در نمونه شاهد ۱/۴۶ بیان کردند.



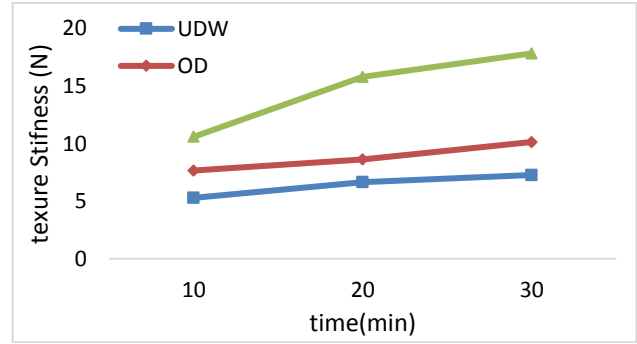
شکل ۲- تأثیر مدت زمان فراصوت و پیش تیمار اسمزی بر نسبت جذب مجدد آب

کاهش وزن

تأثیر مدت زمان فراصوت و محلول اسمزی بر میزان کاهش وزن نمونه‌های توت‌فرنگی در شکل ۳ گزارش شده است. بر این اساس اختلاف معنی‌داری در سطح ($p < 0.05$) بین تیمارها در طی افزایش زمان وجود دارد. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است بیشترین میزان کاهش وزن مربوط به نمونه برش‌های توت‌فرنگی در محلول اسمزی ساکارز و با اعمال فراصوت می‌باشد. بطور کلی سرعت آب‌گیری اسمزی بستگی به فشار اسمزی محیط دارد و فشار اسمزی به تعداد ذرات ماده حل شده در واحد حجم محلول بستگی دارد (Wang & Ingber, 1994).

بنابراین با توجه به مورد فوق می‌توان اذعان داشت که محلول ساکارز با فراصوت، فشار اسمزی بیشتری نسبت به نمونه بدون فراصوت ایجاد می‌کند لذا جذب مواد جامد محلول بیشتری خواهد داشت. این امر موجب کاهش گرادیان غلظت و میزان افت

که مدت زمان فراصوت اثر معنی داری در سطح ($p < 0.05$) در افزایش میزان چروکیدگی دارد. به طوری که نمونه آب مقطر- فراصوت بیشترین میزان چروکیدگی نسبت به نمونه های حاوی محلول اسمزی ساکارز با فراصوت و بدون فراصوت را دارد. این امر عمدتاً به دلیل ترکیب عمل فراصوت و ایجاد میکرو کانال ها و تسریع انتقال جرم طی خشک کردن توسط هوای داغ در کنار آبردایی محلول اسمزی است که در نتیجه آن، نمونه ها در تیمار محلول اسمزی ساکارز با فراصوت در زمان کوتاه تری خشک و دارای چروکیدگی کمتری می شود. کمترین و بیشترین درصد چروکیدگی به ترتیب مربوط به تیمار اسمز- فراصوت در زمان ۱۰ دقیقه برابر با ۲۱/۴۴ و تیمار آب مقطر- فراصوت در زمان ۳۰ دقیقه برابر با ۶۳/۵۳ است.



شکل ۴- تأثیر مدت زمان فراصوت و پیش تیمار اسمزی بر میزان سفتی و بافت نمونه

درصد چروکیدگی

شکل ۵ نتایج ارزیابی پارامتر میزان چروکیدگی نمونه های توت فرنگی را تحت تأثیر مدت زمان فراصوت و محلول اسمزی نشان می دهد. طبق جدول ۲ نتایج چروکیدگی نمونه ها نشان داد

جدول ۲- تأثیر مدت زمان فراصوت و پیش تیمار اسمزی بر میزان درصد چروکیدگی و بر میزان سفتی بافت نمونه

زمان (دقیقه)	سفتی بافت نمونه			درصد چروکیدگی		
	تیمار	تیمار	تیمار	تیمار	تیمار	تیمار
	اسمز-فراصوت	اسمز	آب مقطر-فراصوت	اسمز-فراصوت	اسمز	آب مقطر-فراصوت
۱۰	۱۰/۶۰۰±۰/۳۷ ^{Ca}	۷/۶۷۰±۰/۲۲ ^{Ba}	۵/۲۹۶±۰/۱۱ ^{Aa}	۲۱/۴۴±۰/۱۸ ^{Aa}	۳۲/۹۴۳±۱/۷۷ ^{Ba}	۴۶/۳۴۰±۰/۴۸ ^{Ca}
۲۰	۱۵/۸۱۰±۰/۴۴ ^{Cb}	۸/۶۳۳±۰/۰۰۵ ^{Bb}	۶/۶۴۶±۰/۲۲ ^{Ab}	۳۰/۱۷۰±۰/۹۱ ^{Ab}	۴۲/۴۰۰±۲/۴۴ ^{Bb}	۵۴/۶۵۶±۰/۲۲ ^{Cb}
۳۰	۱۷/۸۵۳±۰/۲۵ ^{Cb}	۱۰/۱۵۰±۰/۶۴ ^{Bc}	۷/۲۸۳±۰/۳۱ ^{Ac}	۴۱/۳۱۳±۰/۹۴ ^{Ac}	۵۰/۸۶۳±۱/۹۴ ^{Bc}	۶۳/۵۲۶±۰/۴۰ ^{Cc}

*حروف بزرگ متفاوت در یک ردیف نشان دهنده اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد بین تیمارها می باشد.

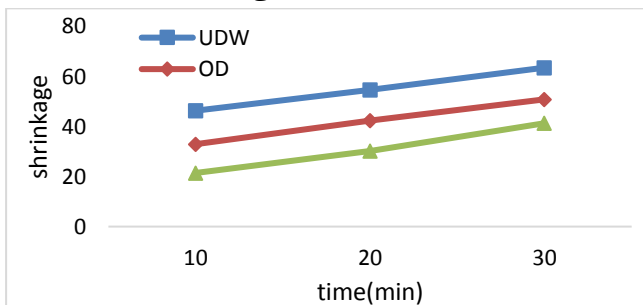
*حروف کوچک متفاوت در یک ستون نشان دهنده اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد بین تیمارها می باشد.

فاکتورهای رنگی و پردازش تصویر

در جدول ۳ نتایج ارزیابی پارامترهای رنگ نمونه های توت فرنگی نشان داده شده است. میزان فاکتور روشنایی (L^*) و آبی- زردی (a^*) و سبزی- قرمزی (b^*) در سطح بین نمونه های توت فرنگی معنی دار بود.

فاکتور روشنایی در بین نمونه های حاوی محلول اسمزی و نمونه آب مقطر اختلاف معنی داری در سطح ($p < 0.05$) وجود دارد. به نظر می رسد محلول اسمزی سبب نگهداری بهتر رنگ و شکل ظاهری شده و نمونه های اسمزی در مقایسه با نمونه آب مقطر شفافیت خود را حفظ کردند. این پدیده را می توان بدین صورت تفسیر کرد که در مرحله خشک شدن به روش اسمز، نمونه ها به دور از دسترس اکسیژن قرار دارند که این امر موجب کندی پیشرفت واکنش های قهوه ای شدن می شود و به دلیل تغییر رنگ کمتر، جذابیت بیشتری برای مصرف کننده دارد. همچنین در طی افزایش مدت زمان فراصوت، پارامتر a^* و b^* در نمونه های حاوی محلول اسمزی با فراصوت و بدون فراصوت، کاهش یافتند. به نظر می رسد به دلیل نقش فعال قندها در واکنش شیمیایی رنگزا در طی خشک شدن باشد.

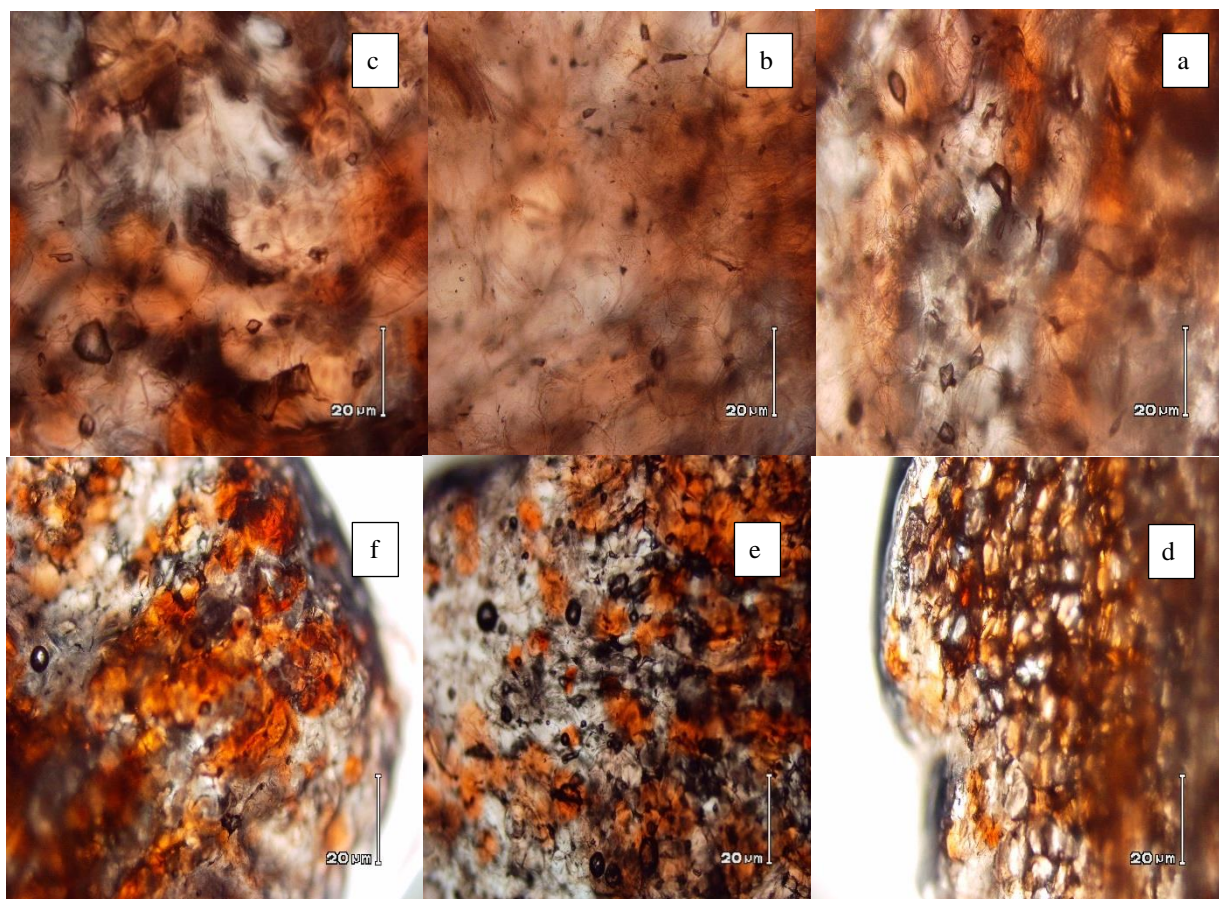
در واقع چروکیدگی، با افزایش دمای سطح و مهاجرت مواد جامد محلول به سطح نمونه و تبخیر آن صورت می گیرد. این در نتیجه تغییرات فیزیکی و شیمیایی در سطح رخ می دهد و پس از آن بافت تخریب می گردد و با افزایش دما و تشکیل ساختار باز رطوبت به بیرون منتقل می شود. دلیل دیگر برای چروکیدگی، تخریب بافت است به این صورت که دیواره سلولی تخریب و مقاومت در برابر رطوبت درون نمونه کاهش می یابد و آب بیشتری از دست می رود (Maskan, 2001). این گزارش با نتایج Nieto et al. (2004) مطابقت دارد که دلیل افزایش چروکیدگی را خروج آب و کاهش جذب مواد جامد محلول می دانند.



شکل ۵- تأثیر مدت زمان فراصوت و پیش تیمار اسمزی بر میزان درصد چروکیدگی

به بافت نمونه است. نتایج Ren et al. (2010) تأیید کننده نتایج تحقیق حاضر است. با توجه به تصاویر گرفته شده (شکل ۶) توسط میکروسکوپ نوری (mes)، بافت و ساختار نمونه‌های با محلول اسمزی ساکارز با فراصوت و نمونه آب مقطر - فراصوت در طی افزایش زمان فراصوت تخریب شده و دارای کانال‌های ریزی می‌باشد.

بطور کلی بکارگیری همزمان فرایند اسمزی و فراصوت، میزان روشنایی را افزایش و میزان قرمزی را در طی مدت زمان فراصوت کاهش می‌دهند. تغییر شکل و تخریب سلول‌ها و کاهش زمان خشک شدن و کاهش واکنش اکسیداسیون آنزیمی توسط امواج فراصوت و ورود مواد جامد قندی در اثر آب‌گیری اسمزی



شکل ۶. میکرو ساختار توت‌فرنگی تیمار شده با محلول اسمزی و پیش فرایند فراصوت

تیمار آب مقطر - فراصوت (a-زمان ۱۰ دقیقه، b-زمان ۲۰ دقیقه، c- زمان ۳۰ دقیقه) و تیمار محلول اسمزی ساکارز (d- زمان ۱۰ دقیقه، e- زمان ۲۰ دقیقه، f- زمان ۳۰ دقیقه)

جدول ۳- تأثیر مدت زمان فراصوت و پیش تیمار اسمزی بر میزان شاخص‌های رنگی

زمان (دقیقه)	اسمز-فراصوت		تیمار		اسمز		آب مقطر - فراصوت	
	L	B	Lab	تیمار	L	a	L	a
۱۰	۹±۳۲/۰۱۳	B ₀ /۶۷±۱۹/۰۲۳	Aa ₀ /۲	a	۱±۲۰/۶۹۳	۷±۱۴/۷۷۶	۱±۳۷/۸۹۶	۲۳±۲۰/۹۷
۲۰	۷±۳۴/۴۹۳	B ₀ /۴۲±۱۹/۰۰۸	Ab ₀ /۶	b	۴±۳۵/۲۸۶	۲۹±۱۴/۰۲	۴±۳۵/۲۸۶	۴±۱۶/۱۸۶
۳۰	۳±۳۳/۳۳۶	B ₀ /۱۱۵±۱۸/۵۹۶	Cc ₀ /۱	a	۸±۱۶/۷۷۶	۵۸±۱۲/۲۴	۸±۱۶/۷۷۶	۶±۱۴/۲۰۳

*حروف بزرگ متفاوت در یک ردیف نشان دهنده اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد بین تیمارها می‌باشد.

*حروف کوچک متفاوت در یک ستون نشان دهنده اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد بین تیمارها می‌باشد.

که به چندین عامل بستگی دارد. در مرحله اول آب‌گیری اسمزی، ساکارز در سطح لایه نمونه حل شده که باعث دشوار بودن جذب

همچنین در نمونه‌های حاوی محلول اسمزی ساکارز، نفوذ ترکیبات قندی به درون بافت نمونه دارای فرایند پیچیده‌ای است

اسمزی است (شکل ۷). فرایند اسمزی باعث حفظ بافت و رنگ و شکل ظاهری بهتری می‌شود. ماده قندی در محلول اسمزی به میزان قابل توجهی بافت را محافظت کرده و حداقل صدمه و گسستگی و تخریب دیواره سلول‌ها را باعث می‌شود و محصول نهایی بافت و رنگی مشابه به مواد غذایی تازه دارد.

همچنین به دلیل انجام آزمایش در محیط اسمزی و به دور از اکسیژن، واکنش‌های اکسیداسیونی کمتر رخ می‌دهند و ویتامین‌ها بهتر حفظ گردید که این امر سبب افزایش طعم و عطر و رنگ محصول و پذیرش کلی توسط مصرف‌کننده می‌شود. بنابراین نمونه‌های حاوی محلول اسمزی در طی افزایش مدت زمان فراصوت مقبولیت بیشتری در بین مصرف‌کننده‌ها دارند.

آب داخل مویرگی‌های متخلخل می‌شود و در نتیجه آب توسط نیروهای جاذب حفظ می‌شود. ظاهراً این نیروها هستند که سبب ایجاد فشار اسمزی شده و در ادامه آب‌گیری اسمزی، ساکارز به مقدار مشخصی به درون ساختار نمونه نشت می‌کند و در نتیجه ساختار نمونه را تشکیل می‌دهد. این مراحل در طی افزایش مدت زمان فراصوت افزایش می‌یابد و میزان جذب مواد جامد محلول و از دست دادن آب بیشتر می‌شود (Agnieszka et al., 2010).

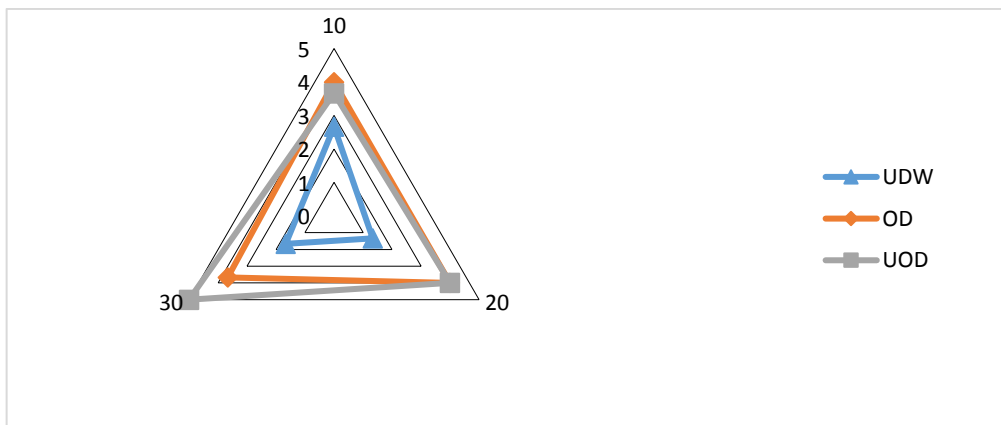
ارزیابی حسی

نتایج آزمون میانگین‌ها به روش دانکن مربوط به ارزیابی حسی نمونه‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. از لحاظ پذیرش کلی مشاهده می‌شود که کمترین سطح پذیرش مربوطه به تیمار غیر

جدول ۴- تأثیر مدت زمان فراصوت و پیش تیمار اسمزی بر میزان شاخص‌های آزمون حسی

تیمار												
اسمزی				اسمز - فراصوت				آب مقطر - فراصوت				
زمان (دقیقه)	پذیرش کلی	طعم	رنگ	بافت	پذیرش کلی	طعم	رنگ	بافت	پذیرش کلی	طعم	رنگ	بافت
۱۰	۳/۶۶۶Ba	۳/۶۶۶Aa	۲/۳۳۳Aa	۲/۳۳۳ABc	۴/۰۰۰Bb	۳/۶۶۶Aa	۳/۰۰۰Aa	۲/۳۳۳ABc	۲/۶۶۶Ab	۳/۶۶۶Ac	۲/۳۳۳Aa	۱/۳۳۳Aa
۲۰	۴/۰۰۰Bb	۳/۶۶۶Ba	۳/۳۳۳Ab	۳/۰۰۰ABb	۴/۰۰۰Bb	۴/۳۳۳Bb	۳/۶۶۶Ac	۳/۰۰۰ABb	۴/۰۰۰Bb	۲/۰۰۰Ab	۳/۳۳۳Ac	۲/۰۰۰Ab
۳۰	۵/۰۰۰Cc	۵/۰۰۰Bb	۳/۳۳۳Ab	۲/۰۰۰Aa	۳/۶۶۶Ba	۴/۰۰۰Bb	۳/۳۳۳Ab	۲/۰۰۰Aa	۵/۰۰۰Bc	۱/۰۰۰Aa	۲/۶۶۶Abc	۳/۰۰۰Ac

*حروف بزرگ متفاوت در یک ردیف نشان دهنده اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد بین تیمارها می‌باشد.
*حروف کوچک متفاوت در یک ستون نشان دهنده اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد بین تیمارها می‌باشد.



شکل ۷- تأثیر مدت زمان فراصوت و پیش تیمار اسمزی بر پذیرش کلی ورقه‌های خشک شده توت‌فرنگی توسط ارزیاب کنندگان

دقیقه، و با پیش تیمار ۳۰ دقیقه‌ای، این زمان برای تیمار UDW، OD و UOD به ترتیب برابر ۴۸۰، ۴۲۰ و ۳۷۸ دقیقه گزارش گردید. با اعمال انواع پیش تیمارها، کل زمان خشک شدن به میزان ۵ الی ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. پیش فرایند اسمزی با خارج کردن آب از داخل بافت نمونه سبب کاهش مدت زمان خشک شدن نهایی می‌شود. در نتیجه محصول بهتر حفظ شده و کیفیت خوبی در مقایسه با نمونه شاهد و تیمار آب مقطر-فراصوت دارد. همچنین از لحاظ اقتصادی به دلیل کاهش مدت زمان

مقایسه مدت زمان خشک شدن توت‌فرنگی

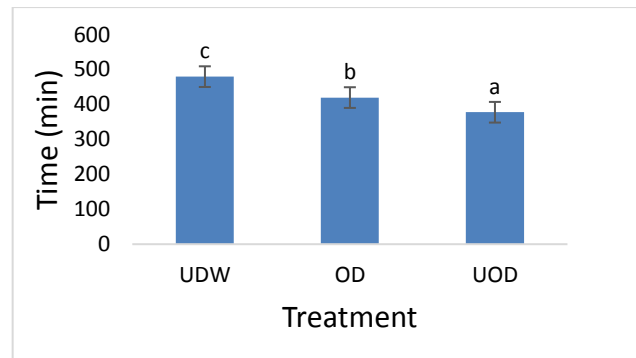
همان طور که شکل ۸ نشان می‌دهد بین نمونه‌های آب مقطر و محلول اسمزی ساکارز بدون فراصوت و با فراصوت اختلاف معنی‌داری در سطح $(p < 0.05)$ وجود دارد.

مدت زمان خشک شدن نمونه‌های پایانی که تحت فرایند اسمزی-فراصوت قرار گرفته بودند، کمتر از نمونه آب مقطر بودند. مدت زمان خشک شدن نمونه‌های شاهد (NT) با شرایط یکسان از نظر وزن و اندازه اولیه تا رسیدن به مقدار رطوبت ثابت ۵۴۰

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که نمونه‌های توت‌فرنگی تحت پیش فرایند اسمزی_فراصوت از لحاظ خصوصیات حسی (طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی) مورد قبول ارزیاب‌ها بودند. همچنین پیش فرایند اسمزی_فراصوت سبب افزایش جذب مواد جامد محلول، از دست دادن آب، کاهش وزن و بافت نمونه شد. همچنین درصد چروکیدگی و شاخص قرمزی و زردی در طی زمان فرصاصوت کاهش یافتند. در نهایت می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استفاده از پیش فرایند اسمزی_فراصوت به دلیل حفظ کیفیت و کاهش مدت زمان خشک شدن نهایی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.

مصرف انرژی (آون و فرصاصوت) مقرون به صرفه‌تر است.



شکل ۸- تأثیر مدت زمان فرصاصوت و پیش تیمار اسمزی بر زمان خشک شدن

REFERENCES

- Agnieszka, C. & Andrzej, L. (2010). Rehydration and sorption properties of osmotically pretreated freeze-dried strawberries. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 267-274.
- Aidani, E., Hodadkhodaparast, M. & Kashaninejad, M. (2017). Experimental and modeling investigation of mass transfer during combined infrared-vacuum drying of Hayward kiwifruits. *Food science nutrition*, 53, 596-601.
- Amami, E., Khezami, W., Mezrigui, S., Badwaik, L. S., Bejar, A. K., Perez, C. T. & Kechaou, N. (2017). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. *Ultrasonics sonochemistry*, 36, 286-300.
- Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D., & Youssef, M. M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food research international*, 48(2), 410-427.
- Carcel, J. A., Garcia-Perez, J. V., Benedito, J., & Mulet, A. (2012). Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. *Journal of Food Engineering*, 110(2), 200-207.
- Changrue, V., Vijaya Raghavan, G. S., Garipey, Y., & Orsat, V. (2006). Microwave vacuum dryer setup and preliminary drying studies on strawberries carrots. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 41(2), 36-44.
- Dasilva, G. D., Barros, Z. M. P., de Medeiros, R. A. B., de Carvalho, C. B. O., Brandao, S. C. R. & Azoubel, P. M. (2016). Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum. *LWT-Food Science and Technology*, 74, 114-119.
- Doymaz, I. (2008) convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing (Vol. 47). Issue 5*, May 2008, Pages 914-919.
- Eshghi, S., Abdi, G.H, Tafazoli, E., & Yavari, S. (2007). Strawberry Research and Biotechnology in Iran. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1(1): 39-41.
- FAO. (2016). FAOSTAT Agricultural Statistics Database. <http://www.fao.org>.
- Fernandes, f., linhares, f. e. & rodrigues, Jr, s. (2008). Ultrasound as pre-treatment for drying pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry* 15.1049-1054.
- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28(1), 9-19.
- Goli, Z., Lakzaee, M., & Pouramir, M. (2010). Antioxidant activity of sour orange peel extract and its effect on lipid oxidation in raw and cooked fish *Hypophthalmichthys molitrix*. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 5(2), 19-26.
- Hammami, C., Rene, F. & Marin, M. (1999). Process quality optimization of the vacuum freeze-drying of apple slices by the response surface method. *International Journal of Food Science and Technology*. (Vol 34). Issue 2.
- Jalae, F., Fazeli, A., Fatemian, H. & Tavakolipour, H. (2011). Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating, *food and bioproducts processing (Vol 89). Issue 4*, October 2011, (pp. 367-374).
- Perkins-Veazie, P. (2010) Growth and ripening of strawberry fruit. *Horticultural Reviews (Vol 17)*. (pp. 267-297).
- Lyu, J., Chen, Q., Bi, J., Zeng, M. & Wu, X. (2017) Drying Characteristics and Quality of Kiwifruit Slices with/without Osmotic Dehydration under Short-and Medium-Wave Infrared Radiation Drying. *International Journal of Food Engineering*, 13(8).
- Maskan, M. (2001) Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of food engineering*, 48(2), 177-182.
- Mezgebo, K., Belachew, T. & Satheesh, N. (2018) Optimization of red teff flour, malted soybean flour, and papaya fruit powder blending ratios for better nutritional quality and sensory acceptability

- of porridge. Food Science & Nutrition.
- Mirzaeimoghadam, H., Tavakkoli, H. T., Minaei, S. & Zakki, D. H. (2006) the effect of humidity, degree of maturity and the quality of the properties sheet Kiwi. *Journal of Food Science and Technology* No. 2, Volume 3. (In Farsi)
- Nieto, A. B., Salvatori, D. M., Castro, M. A., & Alzamora, S. M. (2004) Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. *Journal of Food Engineering*, 61(2), 269-278.
- Poursaeedi, S., Zakidizaji, H., & Bahrami, H. (2012) Effect of ultrasonic waves as a pretreatment on tomato drying. In *The 1st Middle-East Drying Conference (MEDC 2012)*.
- Ren, X. E., He, R., Huang, Y. C., Zhang, J. M., & Yang, F. (2010). Osmotic Dehydration of Pineapple Enhanced by Ultrasonic Treatment [J]. *Food Science*, 22, 061.
- Romero, J. T., Gabas, A. L. & Sorbal, J. A. (2004). Osmo-convective drying of mango cubes in fluidized bed and tray dryer. *Proceeding of the 14th international symposium (IDS 2004)*, Sao Paula. Vol C. 1868-1875.
- Sharafatkah, A. S., Fathi, A. B. & Alirezaloo, K. (2017) Study of drying strawberry leaves using osmotic drainage. *Journal of Food Science and Technology* No. 66, (Vol 14). (In Farsi)
- Sette, P., Franceschinis, L., Schebor, C., & Salvatori, D. (2017) Fruit snacks from raspberries: influence of drying parameters on colour degradation and bioactive potential. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(2), 313-328.
- Toivonen, P. M. A. & Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 1-14.
- Wang, N. & Ingber, D. E. (1994). Control of cytoskeletal mechanics by extracellular matrix, cell shape, and mechanical tension. *Biophysical journal*, 66(6), 2181-2189.
- Yu, Y., Jin, T. Z., Fan, X., & Wu, J. (2018) Biochemical degradation and physical migration of polyphenolic compounds in osmotic dehydrated blueberries with pulsed electric field and thermal pretreatments. *Food chemistry*, 239, 1219-1225.