

Effect of Ultrasound and Low Caloric Osmotic Solution Pretreatment on the Quality of Dried Banana Slices

GHANIEH ROUEITA¹, MOHAMMAD HOJJATI^{2*}, MOHAMMAD NOSHAD³

1. M.Sc. Student, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahwaz, Iran
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahwaz, Iran
3. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahwaz, Iran

(Received: June. 26, 2018- Revised: Aug. 19, 2018- Accepted: Sep. 9, 2018)

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the effect of osmotic solutions of high fructose corn syrup and sugar in concentrations of 40 and 60%, compared to distilled water for 20 and 30 minutes assisted ultrasound on water loss, solid gain, weight loss, shrinkage, texture firmness, moisture, color indices and sensory properties of dried banana slices. The results showed that with increasing ultrasound time and concentration of osmotic solutions, especially high fructose corn syrup with 60% concentration, the amount of water loss, solid gain, weight loss, firmness and brightness increased while the amount of shrinkage and moisture content of the samples decreased. The sensory characteristics of dried bananas with osmotic solutions also had the better appearance, color, firmness and overall acceptance. Use of ultrasound pretreatment with high fructose corn syrup as a low-caloric and dietary solution is recommended for banana drying.

Key words: drying, ultrasound, banana, high fructose corn syrup

تأثیر پیش تیمار فراصوت و محلول اسمزی کم کالری بر کیفیت ورقه‌های موز خشک شده

غنیه رویتع^۱، محمد حجتی^{۲*}، محمد نوشاد^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۲. دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۳. استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۵/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۶/۱۸)

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر محلول‌های اسمزی شربت ذرت با فروکتوز بالا و شکر در غلظت‌های ۴۰ و ۶۰ درصد در مقایسه با آب مقطر در مدت زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه فراصوت بر میزان از دست دادن آب، جذب مواد جامد محلول، افت وزن، چروکیدگی، سفتی بافت، رطوبت، شاخص‌های رنگی و ویژگی‌های حسی برش‌های موز خشک شده بود. نتایج نشان داد که با افزایش زمان فراصوت و غلظت محلول اسمزی به‌ویژه شربت ذرت با فروکتوز بالا با غلظت ۶۰ درصد، میزان از دست دادن آب، جذب مواد جامد محلول، وزن، سفتی و روشنایی افزایش یافت در حالیکه میزان چروکیدگی و رطوبت نمونه‌ها کاهش یافت. همچنین ویژگی‌های حسی موزهای خشک شده با محلول‌های اسمزی دارای ظاهر، رنگ، سفتی و پذیرش کلی بهتری بودند. استفاده از پیش تیمار فراصوت به همراه شربت ذرت با فروکتوز بالا به عنوان یک محلول رژیمی و کم کالری جهت خشک کردن موز پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: خشک کردن، فراصوت، موز، شربت ذرت با فروکتوز بالا

مقدمه

موز با نام علمی (*Musa acuminata*) بومی مناطق حاره‌ای جنوب شرق آسیا، شبه جزایر مالزی و استرالیا است. امروزه این میوه در تمام مناطق گرمسیری که از رطوبت مطلوبی برخوردار باشند کاشت می‌شود (Torregiani & Bertolo, 2001). موز بدون پوست شامل ۷۵٪ آب، ۲۳٪ کربوهیدرات، ۱٪ پروتئین و اندکی چربی است. ۱۰۰ گرم، موز حدود ۸۹ کالری انرژی دارد و منبعی غنی از ویتامین B است به‌طوری‌که حدود ۳۱ درصد از نیاز روزانه را تامین می‌کند و حاوی مقادیر مناسبی ویتامین ث، منگنز و فیبر غذایی است (Zhang et al., 2017).

موز بیشتر به صورت تازه خوری مصرف می‌شود و با توجه به نرمی بافت و عمر ماندگاری کم، خشک کردن می‌تواند از روش‌های مهم در حفظ خصوصیات این میوه باشد. موز پس از برداشت آسیب پذیر بوده و به دلیل محتوای رطوبتی بالا در معرض فساد قرار دارد (Roser et al., 1991). خشک کردن مواد غذایی و به‌ویژه میوه‌ها به روش‌های مختلفی مانند خشک کردن در آفتاب، خشک کردن با هوای داغ و خشک کردن با اشعه مایکروویو امکان پذیر است. استفاده از عملیات پیش تیمار می‌تواند منجر به کاهش آب بافتی و سهولت انتقال جرم

هنگام خشک کردن با هوا گردد (White, 2008).

خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری میوه‌ها و سبزی‌ها در دنیا می‌باشد. در حال حاضر در بسیاری از کشورهای در حال توسعه از روش‌های سنتی برای خشک کردن فرآورده‌های کشاورزی استفاده می‌شود که این امر باعث کاهش کیفیت و افزایش ضایعات می‌شود. روش‌های سنتی خشک کردن منجر به افزایش چروکیدگی بافت با سطحی سفت، تغییرات نامطلوب در رنگ، عطر، طعم و کاهش جذب مجدد آب و ارزش غذایی محصول می‌شوند. از طرفی استفاده از خشک کردن با هوای داغ انرژی زیادی مصرف می‌کند. بنابراین انتخاب روش مناسب برای خشک کردن و یا استفاده از پیش تیمارهای مناسب قبل از فرآیند خشک کردن می‌تواند تا حدود بسیار زیادی سبب بهبودی ویژگی‌های کیفی محصول نهایی خشک شده شود (Gowen et al., 2006; Emam-djomeh et al., 2012). بنابراین انتخاب روش مناسب برای خشک کردن و یا استفاده از پیش تیمارهای مناسب قبل از فرآیند خشک کردن می‌تواند تا حدود بسیار زیادی سبب بهبودی ویژگی‌های کیفی محصول نهایی خشک شده شود (Amami et al., 2017). تحقیقات نشان داده که به کارگیری پیش تیمار ترکیبی اسمز و امواج فراصوت، به عنوان روشی ارزان و ساده، کاهش زمان خشک کردن، بهبود کیفیت محصول و کاهش مصرف انرژی را

* نویسنده مسئول: hojjati@asnruk.ac.ir

می‌کنند. قندهای فروکتوز و گلوکز آزاد در شربت ذرت با فروکتوز بالا برخلاف ساکارز که یک قند غیراحیا است، قندهای احیا کننده هستند (Hanover & White, 1993). این فرآورده می‌تواند با ثبات طعم، ایجاد بافت نرم، حفظ رطوبت و کاهش فعالیت آبی باعث حفظ تازگی محصول شود و به عنوان یک محلول اسمزی در خشک کردن استفاده گردد (Ruiz-Matute et al., 2010). اثر پیش تیمار آبیگری اسمزی خربزه با استفاده از شربت ذرت با فروکتوز بالا به عنوان محلول اسمزی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان داده که میزان رطوبت و جذب مواد قندی خربزه خشک شده به طور قابل توجهی به ترتیب کاهش و افزایش یافته است (Sunjka & Raghavan, 2004). همچنین ویژگی‌های خشک کردن برش‌های کیوی با اشعه مادون قرمز و پیش تیمار اسمزی با استفاده از شربت ذرت با فروکتوز بالا بررسی و مشاهده گردید که میزان نگهداری اسید آسکوربیک و کلروفیل برش‌های کیوی خشک شده‌ای که با محلول اسمزی شربت فروکتوز پیش تیمار شده بودند نسبت به نمونه‌های خشک شده معمولی افزایش و تغییر رنگ آن‌ها نیز کاهش یافت (Lyu et al., 2017).

هدف از این پژوهش بررسی تاثیر استفاده از محلول اسمزی شربت ذرت با فروکتوز بالا به عنوان یک شیرین کننده کم کالری در مقایسه با محلول اسمزی شکر به عنوان پیش تیمار غیر مخرب اسمزی- فراصوت بر ویژگی‌های کیفی و عملکرد موز در طی فرایند خشک کردن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موز (رقم Cavendish) از بازار محلی ملاثانی واقع در استان خوزستان خریداری شد. پس از جداسازی پوست، برش‌های موز در اندازه‌های یکسان با ضخامت یک سانتی‌متر به وسیله چاقوی لیزری (Aero knife, China) تهیه شدند و رطوبت سطحی آن‌ها با کاغذ جاذب رطوبت گرفته و وزن اولیه آنها تعیین شد.

پیش تیمار اسمز- فراصوت

محلول اسمزی شکر و شربت ذرت با فروکتوز بالا (شرکت زرفروکتوز، تهران، ایران) با بریکس ۵۵ تهیه شد. نمونه‌ها به نسبت ۱ به ۱۰ (وزن میوه به حجم محلول)، به بشر حاوی محلول‌های اسمزی مختلف و آب مقطر (به عنوان شاهد) اضافه شده و بشر درون حمام فراصوت (TransSonic TP 690-A, Elma, Germany) با فرکانس ۳۷ کیلو هرتز و دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در دو زمان ۲۰ و ۳۰ دقیقه قرار گرفتند.

در خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات در پی داشته است (Fabiano et al., 2009). یکی از مهم‌ترین معیارها برای انتخاب روش خشک کردن، نوع ماده اولیه، ویژگی‌ها و کاربرد فرآورده- های خشک شده نهایی می‌باشد. استفاده از پیش تیمار اسمز، یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای خشک کردن میوه و سبزی‌ها می‌باشد (Azoubel et al., 2010). فرایند آبیگری اسمزی می‌تواند به عنوان پیش تیمار جهت آبیگری اولیه، قبل از خشک کردن با هوای داغ مورد استفاده قرار گیرد. فرایند آبیگری اسمزی خارج کردن بخشی از آب بافت گیاهی یا حیوانی بوسیله تماس مستقیم آنها با یک محلول غلیظ مناسب مثل محلول‌های قندی یا نمکی و یا مخلوطی از قندها و نمک‌ها است. در این فرایند براساس گرادیان غلظت بوجود آمده بین ماده غذایی و محلول، دوجریان خلاف جهت هم بوجود می‌آید که موجب خروج آب از بافت محصول به سمت محلول و ورود مواد جامد از محلول به داخل بافت ماده غذایی می‌گردد (Fabiano et al., 2009; Dandamrongrak et al., 2002). امواج فراصوت با مکانیسم‌های مختلف ممکن است منجر به افزایش میزان خروج رطوبت از ماده غذایی طی فرایند خشک کردن شوند که از جمله آنها می‌توان به افزایش دما در لایه مرزی، تغییر فشار در اثر کاویتاسیون، توسعه میکروکانال‌ها در نتیجه تنش برشی حاصل از کاویتاسیون، اغتشاش در لایه مرزی و ایجاد تغییرات ساختمانی در محیط اشاره کرد (Chua et al., 2002). امروزه با افزایش سطح آگاهی مردم، تقاضا برای تولید و مصرف مواد غذایی با ارزش غذایی بالاتر روز به روز در حال افزایش است. بنابراین استفاده از محلول اسمزی شربت ذرت با فروکتوز بالا^۱ به عنوان جایگزین مناسب شکر در فرایند خشک کردن اسمزی می‌تواند گامی در تحقق این امر باشد. شربت ذرت با فروکتوز بالا از بهترین منابع شیرین کننده و جایگزین شکر، مخصوصا در سلامت انسان می‌باشد و از لحاظ ساختار شیمیایی با شکر متفاوت است به طوری که فروکتوز و گلوکز در شربت ذرت با فروکتوز بالا با هم، مانند شکر (ساکارز) متصل نیستند. در عوض، آنها به طور جداگانه در کنار یکدیگر هستند و به عنوان شیرین کننده‌ای کم کالری برای افراد دیابتی ایجاد اشکال نمی‌کند (White, 2008). بسیاری از مزایای شربت ذرت با فروکتوز بالا به دلیل ویژگی‌های تجمعی مولکول‌های آزاد فروکتوز و گلوکز است که بستگی به غلظت ماده حل شونده دارد. به عنوان مثال مونوساکاریدهای کوچکتر فشار اسمزی بالاتر و نقطه انجماد پایین‌تری از دی‌ساکارید ساکارز ایجاد

خشک کردن نهایی

پس از اعمال تیمار، نمونه‌ها از محلول اسمزی خارج و با آب مقطر به صورت سطحی شست و شو داده شدند و سپس آب سطحی آنها توسط کاغذ جاذب گرفته شد. خشک کردن نهایی نمونه‌ها با استفاده از خشک کن کابینتی (مدل X1، شرکت به دونه، بابلسر، مازندران، ایران) در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت ۲۰ درصد انجام پذیرفت.

میزان رطوبت، از دست دادن آب، جذب مواد جامد محلول و کاهش وزن

میزان رطوبت^۱ بر اساس تغییرات وزن موز با استفاده از آن (Binder WTC, Tutlingen, Germany) در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت محاسبه گردید (Noshad *et al.*, 2012). میزان از دست دادن آب^۲، جذب مواد جامد محلول^۳ و کاهش وزن^۴، با استفاده از اندازه‌گیری وزن موز قبل و بعد از آزمایشات و همچنین میزان رطوبت (رطوبت پایه) قبل و بعد تعیین شده، انجام گرفت. سپس با استفاده از روابط ۱ تا ۳ به ترتیب میزان از دست دادن آب، جذب مواد جامد محلول و میزان کاهش وزن محاسبه گردید:

$$WL = \frac{\text{محتوای رطوبت اولیه} - \text{محتوای رطوبت پس از فرایند}}{\text{وزن اولیه}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$SG = \frac{\text{ماده خشک پس از فرایند} - \text{ماده خشک اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$WR = w1 - SG \quad (\text{رابطه ۳})$$

اندازه‌گیری درصد چروکیدگی

چروکیدگی^۵ ناشی از خشک کردن از طریق اندازه‌گیری تغییر حجم نمونه^۶ محاسبه شد. تغییرات حجم با استفاده از جابجایی مایع (تولوئن) در پیکنومتر بر اساس روش تعیین (Sette *et al.*, 2017) گردید.

سفتی

سفتی^۷ نمونه‌ها با انجام آزمون نفوذ با استفاده از دستگاه بافت سنج TA-XT Plus texture analyzer (Stable Micro Systems Surrey, UK) مورد بررسی قرار گرفت. آزمون سفتی با یک پروب فولاد ضد زنگ با قطر ۶ میلی‌متر با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه و عمق نفوذ ۱۰ میلی‌متر انجام شد. میزان سفتی برش‌های موز در هر تیمار به صورت میانگین ۵ تکرار بود. نتایج به عنوان

سفتی و حداکثر نیروی مورد نیاز جهت نفوذ پروب در برش‌های موز بر حسب نیوتن (N) گزارش گردید (Hamedi *et al.*, 2018).

ویژگی‌های رنگی

شاخص‌های رنگی برش‌های تازه و خشک شده موز با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج مدل CR-400 (کونیکامینولتا، ازاکا، ژاپن) مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های رنگی L^* (شاخص شفافیت-تیرگی)، a^* (شاخص قرمزی-سبزی) و b^* (شاخص زرد-آبی) نمونه‌ها با پنج بار تکرار مورد بررسی قرار گرفت.

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی برش‌های موز توسط ۱۰ نفر از افراد آموزش دیده و با تجربه ارزیابی مواد غذایی از دانشجویان گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در رده سنی ۲۲ تا ۲۸ سال (۶۰٪ خانم و ۴۰٪ آقا) انجام پذیرفت. ارزیابی در اتاق‌های با روشنایی و دمای کنترل شده انجام گرفت. نمونه‌ها با امتیاز دهی پنج نقطه‌ای به روش هدونیک که کمترین امتیاز با دادن نمره ۱ (بسیار بد) و بیشترین امتیاز با دادن نمره ۵ (بسیار عالی) بود از نظر رنگ‌ظاهری، بافت، طعم و پذیرش کلی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

تحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی صورت گرفت و برای مقایسه میانگین داده‌ها برای ارزیابی تفاوت معنی‌داری از آزمون دانکن تک متغییره در سطح احتمال ۵ درصد ($p < 0.05$) استفاده گردید. نرم افزار SPSS 20 (SPSS Science, Chicago, IL, USA) و Excel 2013 به ترتیب، جهت تجزیه و تحلیل نتایج و رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

میزان از دست دادن آب و جذب مواد جامد محلول

نتایج میزان از دست دادن آب توسط تیمارها در جدول ۱ نشان داده شده است. استفاده از محلول‌های اسمزی (شربت ذرت با فروکتوز بالا) باعث افزایش معنی‌داری ($p < 0.05$) در میزان از دست دادن آب توسط نمونه‌ها می‌شود که این امر احتمالاً به دلیل وجود مونوساکاریدهایی مانند گلوکز و فروکتوز در محلول اسمزی (شربت ذرت با فروکتوز بالا) نسبت به محلول شکر می‌باشد. مونوساکاریدها به علت اندازه و وزن مولکولی کم تر نسبت به ساکارز، فشار اسمزی بیشتری ایجاد کرده و در نتیجه باعث خروج بیشتر آب از نمونه‌ها می‌شود. به عبارتی دیگر، استفاده از شربت ذرت با فروکتوز بالا به عنوان محلول اسمزی باعث افزایش میزان از دست دادن آب توسط نمونه‌ها در طی

1. Moisture Content
2. Water Loss
3. Solid Gain
4. Weight Loss
5. Shrinkage
6. Gravimetrically
7. Firmness

مدت زمان فراصوت، میزان از دست دادن آب توسط نمونه‌ها نیز افزایش یافته است. به‌طوریکه بیشترین میزان از دست دادن آب به مقدار ۱۵/۲۱ درصد در برش‌های موز خشک شده با محلول ۶۰ درصد شربت ذرت با فروکتوز بالا و ۳۰ دقیقه امواج فراصوت مشاهده گردید. احتمالاً علت این امر می‌تواند این‌چنین باشد که با گذشت زمان، امواج فراصوت موجب ایجاد منافذ و مجاری بیشتری در ساختار نمونه‌ها می‌شود. بنابراین می‌توان انتظار داشت که این پدیده باعث سرعت بخشیدن به خروج آب طی فرآیند آب گیری اسمزی از نمونه‌ها شود (Patricia *et al.*, 2010).

فرآیند خشک کردن نسبت به سایر تیمارها گردید. این امر به این دلیل می‌باشد که محلول اسمزی شربت ذرت با فروکتوز بالا نسبت به محلول اسمزی شکر، دارای مقادیر بیشتری گلوکز و فروکتوز است که در نتیجه فشار اسمزی بیشتری ایجاد کرده و باعث خروج بیشتر آب از نمونه‌ها در طی فرآیند خشک کردن می‌شود. در واقع مونساکاریدهای شربت ذرت با فروکتوز بالا کوچکتر، فشار اسمزی بالاتر و نقطه انجماد پایین تری از دی ساکارید ساکارز ایجاد می‌کنند (Hanover & White, 1993). این گزارش با نتایج حاصل از پژوهش‌های (Zhang *et al.*, 2017) که بر روی خشک کردن اسمزی میوه‌ی هلو با فراصوت انجام داده بودند، مطابقت دارد. هم چنین مشاهده می‌شود که با افزایش

جدول ۱- تاثیر مدت زمان فراصوت و نوع محلول اسمزی بر خواص فیزیکی برش‌های موز خشک شده

از دست دادن آب (%)					
زمان فراصوت (دقیقه)	آب مقطر	شکر ۴۰٪ HFCS	شکر ۶۰٪ HFCS	شکر ۴۰٪	شکر ۶۰٪
۲۰	Aa ۱/۲۲±۴/۳۱۰	Da ۰/۹۸±۱۰/۸۲۵	Ea ۱/۰۶±۱۴/۴۶۵	Ba ۰/۹۲±۶/۴۳۰	Ca ۰/۸۴±۹/۴۳۲
۳۰	Ab ۱/۴۳±۵/۰۷۵	Cb ۱/۰۱±۱۱/۷۴۰	Eb ۰/۹۲±۱۵/۲۱۰	Bb ۰/۸۱±۸/۱۹۲	Db ۱/۲۲±۱۲/۰۱۳
جذب مواد جامد محلول (%)					
زمان فراصوت (دقیقه)	آب مقطر	شکر ۴۰٪ HFCS	شکر ۶۰٪ HFCS	شکر ۴۰٪	شکر ۶۰٪
۲۰	Aa ۱/۱۹±۳/۷۲۰-	Da ۰/۶۷±۷/۴۴۰	Ea ۱/۰۴±۹/۴۵۵	Ba ۱/۳۴±۵/۳۲۱	Ca ۰/۷۶±۶/۰۵۶
۳۰	Ab ۰/۶۵±۴/۶۵۵-	Db ۱/۳۲±۸/۰۰۵	Eb ۰/۹۷±۱۰/۴۴۰	Bb ۰/۸۹±۶/۹۶۱	Cb ۱/۰۶±۷/۸۷۲
کاهش وزن (%)					
زمان فراصوت (دقیقه)	آب مقطر	شکر ۴۰٪ HFCS	شکر ۶۰٪ HFCS	شکر ۴۰٪	شکر ۶۰٪
۲۰	Aa ۰/۹۶±۱/۲۷۰	Ca ۱/۲۳±۳/۴۲۵	Da ۱/۰۱±۴/۴۰۵	Ba ۰/۸۹±۲/۸۶۳	Ca ۰/۹۲±۳/۰۱۱
۳۰	Aa ۰/۶۰±۱/۷۳۵	Ba ۱/۱۱±۳/۷۳۵	Db ۰/۸۷±۵/۱۲۰	Bb ۰/۹۰±۳/۲۹۱	Cb ۱/۰۹±۴/۴۲۱
رطوبت (%)					
زمان فراصوت (دقیقه)	آب مقطر	شکر ۴۰٪ HFCS	شکر ۶۰٪ HFCS	شکر ۴۰٪	شکر ۶۰٪
۲۰	Db ۰/۵۴±۳۲/۱۴۲	Bb ۰/۸۹±۲۰/۱۸۵	Ab ۱/۰۲±۱۹/۱۴۵	Cb ۰/۸۷±۲۴/۴۱۲	Bb ۰/۹۵±۲۱/۳۴۰
۳۰	Ea ۰/۸۲±۲۸/۸۸۵	AbA ۱/۰۹±۱۹/۱۸۰	Aa ۰/۹۷±۱۸/۳۲۵	Da ۱/۱۰±۲۲/۰۱۳	Ca ۰/۸۹±۲۰/۰۱۱

*به ترتیب حروف کوچک و بزرگ متفاوت در یک ستون و ردیف نشان دهنده اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد بین تیمارها می‌باشد.

مقایسه با محلول اسمزی با وزن مولکولی بالا (محلول شکر) راحت تر به درون بافت میوه نفوذ می‌کند که در این میان قند فروکتوز به دلیل توانایی بیشتر در پیوند با آب، فشار اسمزی بیشتری در بافت میوه ایجاد می‌کند که همین امر سبب خروج بیشتر آب از بافت نمونه می‌شود همزمان با خروج رطوبت از نمونه مقدار ترکیبات قندی بیشتری به درون بافت نمونه نفوذ

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد، استفاده از محلول‌های اسمزی تأثیر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر میزان جذب مواد جامد توسط نمونه‌ها دارد. استفاده از شربت ذرت با فروکتوز بالا به جای محلول شکر باعث افزایش معنی‌داری ($p < 0.05$) در میزان جذب مواد جامد توسط نمونه‌ها شد. استفاده از محلول‌های اسمزی با وزن مولکولی پایین تر (شربت ذرت با فروکتوز بالا) در

از دست دادن آب و جذب مواد جامد محلول، آب بیشتری از نمونه خارج و تبخیر می‌شود و نمونه به دلیل کاهش رطوبت، سریعتر خشک می‌شود (Jokic et al., 2009). این نتایج با پژوهش (Deng & Zhao., 2008) که تاثیر پالس‌های خلاء و اولتراسوند بر ریزساختار و دیگر خواص انتخابی سیب مورد بررسی قرار داده بودند، مطابقت دارد. بنابراین با کاهش رطوبت زمان خشک شدن کاهش می‌یابد و محصول با کیفیت تری را خواهیم داشت.

سفتی

آزمون نفوذ یکی از روش‌های قابل قبول برای اندازه گیری استحکام بافت یک محصول است. براساس پژوهش‌های انجام شده، زمان و نوع فرایند پیش تیمار انجام شده بر روی محصول، بر میزان سفتی محصول تاثیر گذار است (Camarena et al., 2007). با توجه به نتایج تجزیه واریانس شکل ۱، پیش تیمارهای نوع محلول اسمزی و زمان صوت دهی بر میزان سفتی نمونه‌ها تأثیر معنی‌داری ($P < 0.05$) داشت. براساس نتایج، افزایش مدت زمان فراصوت دهی و غلظت محلول اسمزی باعث افزایش میزان سفتی در نمونه‌ها شد. همچنین استفاده از محلول‌های اسمزی به جای آب مقطر باعث افزایش میزان سفتی نمونه‌ها شد که در این میان بیشترین میزان سفتی به ترتیب مربوط به نمونه‌های تیمار شده با محلول اسمزی شربت ذرت با فروکتوز بالا در غلظت‌های ۶۰ و ۴۰ درصد بود. سفت شدن بافت نمونه‌ها در هنگام استفاده از محلول‌های اسمزی احتمالا به دلیل افزایش ماده جامد و کاهش مقدار رطوبت نمونه‌ها است که در این میان، استفاده از محلول اسمزی شربت ذرت با فروکتوز بالا، به دلیل ایجاد فشار اسمزی بیشتر سبب افزایش جذب ماده جامد و کاهش بیشتر مقدار رطوبت در نمونه‌ها می‌شود که همین امر سبب افزایش سفتی در نمونه‌ها می‌شود. در واقع به دلیل تغییرات ناشی از نفوذ ترکیبات محلول‌های اسمزی به بافت نمونه و اشباع محیط اطراف از مواد جامد محلول، میزان آب بیشتری از دست می‌رود. همراه با از دست دادن آب و آبیگری اسمزی سفتی نمونه افزایش یافت. این نتایج با پژوهش (Nowacka et al., 2017) که به بررسی اثر پیش تیمار اسمزی (ساکارز) بر بافت و رنگ و میزان کلروفیل کیوی در مدت زمان مختلف فراصوت پرداخته بودند، مطابقت دارد. به طور کلی سفتی بافت در نتیجه ایجاد شبکه بین ترکیبات قندی و گروه‌های قطبی در پروتئین‌ها و فسفولیپیدها است که در زمان خشک کردن، پیوند هیدروژنی بین ترکیبات قندی و لیپیدهای قطبی غشا که جایگزین آب در غشا مایع می‌شوند و

می‌کند و در نتیجه میزان مواد جامد جذب شده افزایش می‌یابد. محلول‌های هیپرتونیک قادر به جداسازی آب از بافت میوه در طی یک مدت زمان معین هستند. این محلول‌ها معمولا دارای فشار اسمزی بالاتر و فعالیت آبی کمتری در مقایسه با محیط درون سلول مواد غذایی هستند. از آنجا که دیواره سلولی بسیاری از مواد غذایی می‌تواند به عنوان یک غشای نیمه تراوا عمل کند و به علت وجود گرادیان غلظت بین محلول اسمزی و مایعات داخل سلولی نیروی محرک لازم برای خروج آب از ماده غذایی به داخل محلول اسمزی ایجاد می‌شوند (Li et al., 2017; Hamed et al., 2018).

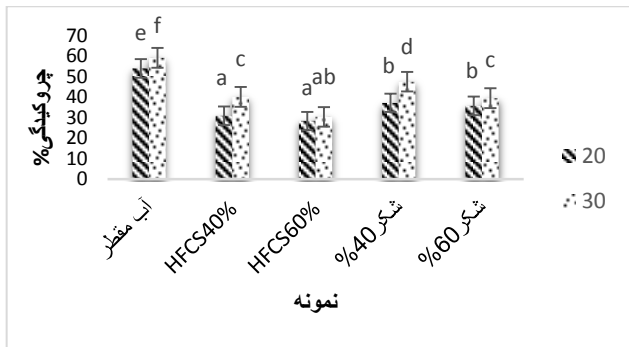
کاهش وزن

تاثیر مدت زمان فراصوت و نوع اسمزی بر میزان کاهش وزن در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) بین تیمارها وجود دارد به طوری که با افزایش مدت زمان فراصوت، کاهش وزن بیشتری مشاهده گردید. محلول اسمزی (شربت ذرت با فروکتوز بالا) در طی زمان دهی تیمار با فراصوت و در مقایسه با محلول اسمزی شکر و آب مقطر بیشترین میزان کاهش وزن را داشت. لذا با افزایش مدت زمان فراصوت، قابلیت جذب مواد جامد محلول افزایش می‌یابد و با افزایش میزان جذب مواد جامد محلول، افت وزن بیشتری صورت می‌گیرد. تیمار حاوی محلول اسمزی شربت ذرت با فروکتوز بالا در غلظت ۶۰ درصد، بیشترین میزان کاهش وزن را داشت. که این امر احتمالا به دلیل افزایش غلظت محلول اسمزی با گذشت مدت زمان فراصوت می‌باشد (Mujica-Paz et al., 2003).

درصد رطوبت

میزان رطوبت نمونه‌های تیمار شده در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، نوع محلول اسمزی و مدت زمان فراصوت بر میزان رطوبت نمونه‌ها تأثیر معنی‌داری ($P < 0.05$) داشت به طوری که مقدار رطوبت در نمونه‌ها با افزایش زمان و اعمال فرایند فراصوت، کاهش یافت که کمترین میزان رطوبت مربوط به نمونه تیمار شده با محلول شربت ذرت با فروکتوز بالا در غلظت ۶۰ درصد بود. این امر به دلیل وجود مونوساکارید بیشتر (فروکتوز) در شربت ذرت با فروکتوز بالا است که باعث ایجاد فشار اسمزی بیشتر و در نتیجه باعث خروج بیشتر آب و کاهش میزان رطوبت در نمونه‌ها می‌شود (Panagiotou et al., 1999). همچنین انجام فرایند آبیگری اسمزی با افزایش زمان، موجب تغییر در نفوذ پذیری دیواره سلولی می‌شود که سبب افزایش میزان خروج آب از نمونه‌ها می‌شود. لذا با افزایش میزان

چروکیدگی کمتری بودند.



شکل ۲- تاثیر مدت زمان فراصوت (۲۰ و ۳۰ دقیقه) و محلول اسمزی بر میزان درصد چروکیدگی برش‌های موز خشک شده

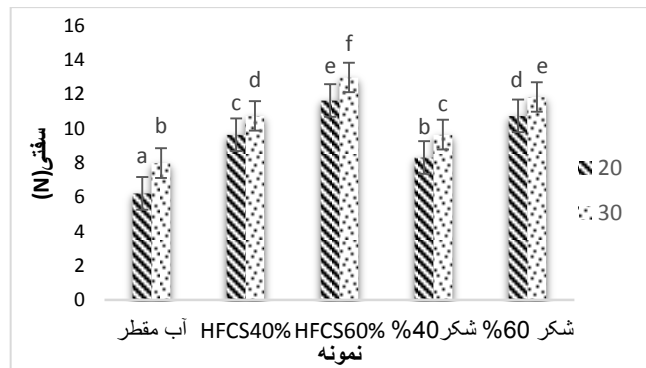
ویژگی‌های رنگی

نتایج پارامترهای روشنایی (L^*) و آبی-زردی (a^*) و سبزی-قرمزی (b^*) در جدول ۲ در زمان‌های مختلف فراصوت و انواع مختلف محلول اسمزی گزارش شده است. اختلاف معنی داری در سطح ($p < 0.05$) در بین تیمارها وجود داشت. براین اساس میزان روشنایی در محلول‌های اسمزی شربت ذرت با فروکتوز بالا و شکر در غلظت‌های ۴۰ و ۶۰ درصد، در طی افزایش مدت زمان فراصوت، افزایش یافت. حال اینکه روشنایی نمونه در آب مقطر به تدریج در طی زمان کاهش یافت که می‌تواند به علت به کارگیری فرآیند اسمزی و فراصوت باشد که میزان روشنایی را افزایش و میزان قرمزی را در طی مدت زمان فراصوت کاهش می‌دهند و تغییر شکل، رنگ محصول، تخریب سلول‌ها، کاهش زمان خشک شدن و کاهش واکنش اکسیداسیون آنزیمی توسط امواج فراصوت و ورود مواد جامد قندی در اثر آبگیری اسمزی به بافت نمونه است. نتایج حاصل از این تحقیق با گزارش برخی محققین که نتایج مشابه‌ای را مشاهده نموده بودند همخوانی داشت (Ren et al., 2010).

ارزیابی حسی

بر اساس نتایج آنالیز واریانس (شکل ۳)، استفاده از محلول‌های اسمزی به جای آب مقطر تأثیر معنی داری ($p < 0.05$) بر شاخص‌های کیفی مانند رنگ، بافت و طعم داشت در حالی که نوع محلول اسمزی تفاوت معنی داری بر میزان مقبولیت شاخص‌های کیفی نمونه‌ها نداشت. به کارگیری پیش تیمار فراصوت و محلول اسمزی به طور همزمان سبب افزایش میزان از دست دادن آب می‌شود که این امر موجب کاهش مدت زمان خشک شدن و در نتیجه آن محصول با کیفیت بالا تولید می‌شود. هم چنین در طی افزایش مدت زمان فراصوت و افزایش جذب مواد جامد محلول، میزان بیشتری از محلول اسمزی شربت ذرت با فروکتوز بالا به بافت نمونه نفوذ می‌کند و بر

هیدراتاسیون رخ می‌دهد و از انتقال و نشت جلوگیری می‌کند (Nowacka et al., 2017).



شکل ۱- تاثیر مدت زمان فراصوت (۲۰ و ۳۰ دقیقه) و محلول اسمزی بر سفتی برش‌های موز خشک شده

میزان درصد چروکیدگی

تأثیر نوع محلول اسمزی بر میزان چروکیدگی در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، بیشترین میزان چروکیدگی مربوط به نمونه‌ی پیش تیمار شده با آب مقطر می‌باشد و استفاده از شربت ذرت با فروکتوز بالا به عنوان محلول اسمزی باعث کاهش میزان چروکیدگی در نمونه‌ها شد. در حقیقت مواد جامدی که به فضای میان بافتی نفوذ می‌کنند با پر کردن فضاها و مجاری خالی از ایجاد چروکیدگی در این بخش‌ها تا حدی جلوگیری می‌کنند. با توجه به این که شربت ذرت با فروکتوز بالا نسبت به شکر، مقادیر بالاتری فروکتوز دارد. بنابراین این ترکیبات در طی فرآیند اسمز به دلیل داشتن وزن مولکولی کمتر نسبت به ساکارز بیشتر جذب نمونه‌ها شده است که همین امر سبب کاهش میزان چروکیدگی در نمونه‌ها می‌شود. در بررسی تاثیر پیش تیمار اسمز و فراصوت در میوه‌ی موز خشک شده به این نتایج دست یافتند که نوع محلول اسمزی و مدت زمان و غلظت محلول بر میزان از دست دادن آب و درصد چروکیدگی اثر دارد (Shahidi et al., 2012). هم‌چنین بیشترین میزان از دست دادن آب و کمترین درصد چروکیدگی در محلول اسمزی شربت ذرت با فروکتوز بالا در غلظت ۶۰ درصد بود. زیرا که با افزایش غلظت محلول اسمزی شربت ذرت با فروکتوز بالا درصد چروکیدگی کاهش می‌یابد. براساس این گزارش میزان درصد چروکیدگی با غلظت محلول اسمزی رابطه عکس دارد. به طوری که با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان جذب مواد جامد محلول افزایش می‌یابد. در نتیجه درصد چروکیدگی کاهش می‌یابد. این امر عمدتاً به دلیل ایجاد میکروکانال‌ها و تسریع انتقال جرم طی خشک کردن توسط هوای داغ است که در نتیجه آن، نمونه‌ها در زمان کوتاه تری خشک و دارای

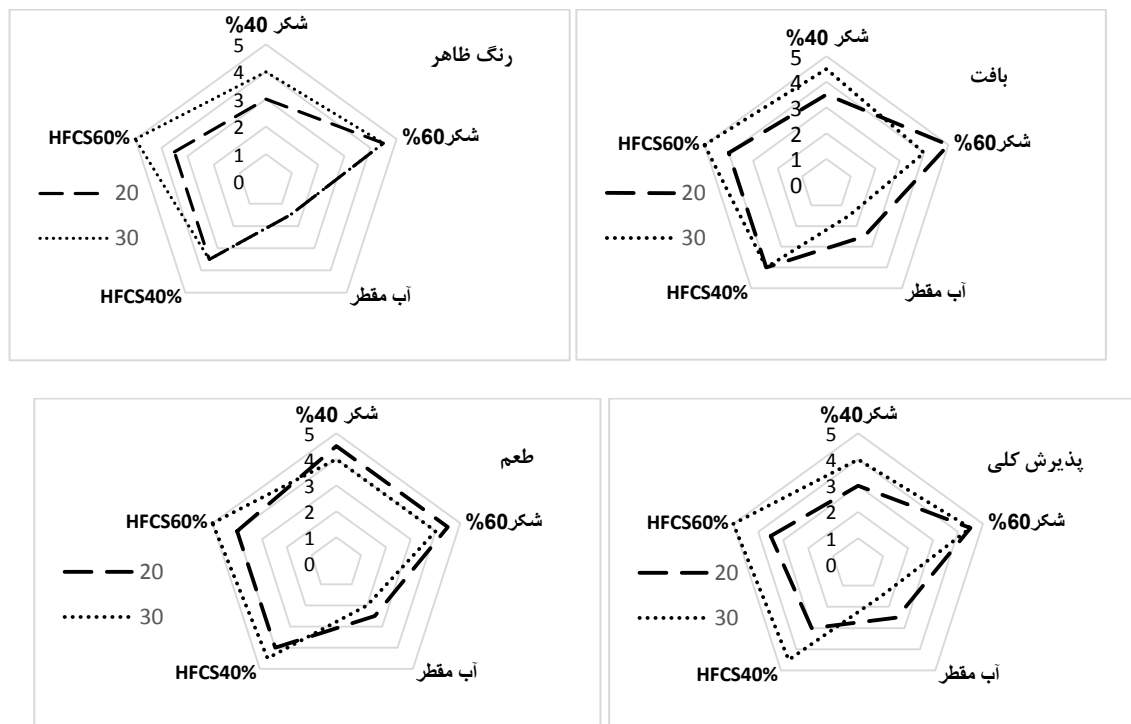
شربت ذرت با فروکتوز بالا و شکر در غلظت‌های ۴۰ و ۶۰ درصد وجود نداشت. دلیل این امر را می‌توان چنین پنداشت که ارزیابان نتوانستند طعم بین نمونه حاوی شربت ذرت با فروکتوز بالا و شکر در غلظت ۴۰ درصد و ۶۰ درصد را تشخیص دهند.

میزان طعم و رنگ نمونه موردنظر اثر می‌گذارد به طوری که بیشترین امتیاز ارزیاب‌ها مربوط به نمونه حاوی محلول اسمزی شربت ذرت با فروکتوز بالا با غلظت ۶۰ درصد بود. حال اینکه از نظر پذیرش کلی تفاوت معنی داری بین محلول‌های اسمزی

جدول ۲- تاثیر مدت زمان فراصوت و پیش تیمار اسمزی بر میزان پارامترهای روشنایی، قرمزی و زردی

L* (روشنایی)					
زمان فراصوت(دقیقه)	آب مقطر	HFCS ۴۰٪	HFCS ۶۰٪	شکر ۴۰٪	شکر ۶۰٪
۲۰	Ab ۲۹/۶۷۰±۰/۹۳	Ca ۳۶/۲۲۵±۰/۷۸	Da ۰/۹۲ ±۴۴/۱۲۰	Ba ۰/۶۳±۳۲/۶۴۱	Ba ۰/۴۹ ± ۳۳/۵۴۳
۳۰	Aa ۲۶/۸۳۵±۰/۷۶	Cb ۰/۸۱±۳۸/۹۵۵	Da ۰/۴۹ ± ۴۴/۴۷۵	Bb ۰/۹۰±۳۵/۰۳۲	Bb ۰/۸۷ ± ۳۴/۹۷۶
a* (قرمزی)					
زمان فراصوت(دقیقه)	آب مقطر	HFCS ۴۰٪	HFCS ۶۰٪	شکر ۴۰٪	شکر ۶۰٪
۲۰	Ca ۰/۲۷±۲/۱۹۰-	Bb ۰/۵۵±۳/۵۴۰-	Ab ۰/۴۱±۴/۶۲۵-	Ba ۰/۵۱±۳/۰۱۱-	Ba ۰/۴۳±۳/۴۵۱-
۳۰	Da ۰/۶۷±۲/۲۱۵-	Ba ۰/۲۸±۴/۵۲۵-	Aa ۰/۹۹±۵/۰۶۵-	Ca ۰/۹۸±۳/۹۸۴-	Ca ۰/۶۵±۳/۷۲۱-
b* (زردی)					
زمان فراصوت(دقیقه)	آب مقطر	HFCS ۴۰٪	HFCS ۶۰٪	شکر ۴۰٪	شکر ۶۰٪
۲۰	Aa ۰/۷۱±۱۷/۲۲۰	Ca ۰/۵۳±۲۰/۰۴۰	Da ۰/۸۸±۲۵/۶۸۵	Ba ۰/۷۵±۱۸/۰۱۲	BCa ۰/۸۰±۱۹/۴۳۱
۳۰	Ab ۰/۴۱±۱۸/۰۲۵	Cb ۰/۳۱±۲۱/۱۸۰	Db ۰/۵۲±۳۳/۷۵۰	Bb ۰/۹۸±۱۹/۲۳۱	Cb ۰/۶۵±۲۰/۰۱۷

*به ترتیب حروف کوچک و بزرگ متفاوت در یک ستون و ردیف نشان دهنده اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد بین تیمارها می‌باشد.



شکل ۳- تاثیر مدت زمان فراصوت (۲۰ و ۳۰ دقیقه) و محلول‌های اسمزی بر ویژگی‌های حسی برش‌های موز خشک شده

ویژگی حسی، ارزیاب کنندگان را به بیشترین امتیاز را به نمونه حاوی محلول اسمزی با غلظت ۶۰ درصد دادند. این امر به دلیل استفاده از شیرین کننده (شربت ذرت با فروکتوز بالا) به عنوان محلول اسمزی نسبت به شکر و همچنین بهبود بافت، رنگ و طعم بود. بنابراین استفاده از فراصوت و افزایش غلظت محلول اسمزی سبب

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش غلظت محلول اسمزی در طی افزایش مدت زمان فراصوت، میزان دفع آب و جذب مواد جامد محلول و کاهش وزن افزایش یافت. هم چنین درصد چروکیدگی و رطوبت نمونه کاهش یافت. از نظر ارزیابی

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان جهت حمایت مالی انجام این تحقیق قدردانی می‌نمایند.

کاهش زمان خشک شدن و تولید محصولی با کیفیت خواهد شد. ضمن اینکه جایگزین کردن شیرین کننده‌ها به جای شکر سبب افزایش سلامتی و کاهش بروز بیماری‌های قندی می‌شود. از این رو محصول، طعم و کیفیت بالاتری در مقایسه با آب مقطر و محلول اسمزی شکر خواهد داشت.

REFERENCES

- Amami, E., Khezami, W., Mezrigui, S., Badwaik, L. S., Bejar, A. K., Perez, C. T., *et al.* (2017). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 36, 286-300.
- Azoubel, P. M., Baima, M. D. A. M., da Rocha Amorim, M., & Oliveira, S. S. B. (2010). Effect of ultrasound on banana cv *Pacovan* drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 194-198.
- Bolin, H. R., Huxsoll, C., Jackson, R., & Ng, K. C. (1983). Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *Journal of Food Science*, 48(1), 202-205.
- Camarena, F., Martínez-Mora, J. A., & Ardid, M. (2007). Ultrasonic study of the complete dehydration process of orange peel. *Postharvest Biology and Technology*, 43(1), 115-120.
- Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Hawlader, M. N. A., Chou, S. K., & Ho, J. C. (2001). Batch drying of banana pieces—effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. *Food Research International*, 34(8), 721-731.
- Dandamrongrak, R., Young, G., & Mason, R. (2002). Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 139-146.
- Deng, Y., & Zhao, Y. (2008). Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1575-1585.
- Emam-djomeh, Z., Shamaei, S., & Moini, S. (2012). Modeling and optimization of ultrasound assisted osmotic dehydration of cranberry using response surface methodology. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 1523-1534.
- Fabiano A.N., Fernandes, Gall., M. I. & Rodrigues, S., (2009), Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*, 90, 186-190.
- Fernandes, F.A.N., Rodrigues, S., Gaspareto, O.C. & Oliveira, P.(2006) Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air drying. *Journal of Food Engineering*, 77, 188–193.
- Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., & Oliveira, J. (2006). Optimization of dehydration and rehydration properties of cooked chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing microwave-hot air combination drying. *Trends in Food Science and Technology*, 17(4), 177-183
- Hamed, F., Mohebbi, M., Shahidi, F., & Azarpazhooh, E. (2018). Ultrasound-assisted osmotic treatment of model food impregnated with pomegranate peel phenolic compounds: mass transfer, texture, and phenolic evaluations. *Food and Bioprocess Technology*, 11(5), 1061-1074.
- Hanover, L. M., & White, J. S. (1993). Manufacturing, composition, and applications of fructose. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 58(5), 724S-732S.
- Jokic, S., Mujic, I., Martinov, M., Velic, D., Bilic, M. & Lukinac, J., (2009). Influence of drying procedure on colour and rehydration characteristic of wild Asparagus. *Czech Journal of Food Sciences*. 27, 171-177.
- Kumar, C., Karim, A., Saha, S. C., Joardder, M. U. H., Brown, R. J., & Biswas, D. (2012). Multiphysics modelling of convective drying of food materials. In: *Proceedings of the Global Engineering, Science and Technology Conference*. 28-29 Dec., Global Institute of Science and Technology, Dhaka, Bangladesh.
- Li, M., Ye, B., Guan, Z., Ge, Y., Li, J., & Ling, C. M. (2017). Impact of ultrasound-assisted osmotic dehydration as a pre-treatment on the quality of heat pump dried tilapia fillets. *Energy Procedia*, 123, 243-255.
- 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).
- Mujica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López-Malo, A., Palou, E., & Welti-Chanes, J. (2003). Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *Journal of Food Engineering*, 57(4), 305-314.
- Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F., & Mortazavi, S. A. (2012). Multi-objective optimization of osmotic-ultrasonic pretreatments and hot-air drying of quince using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2098-2110.
- Nowacka, M., Tylewicz, U., Romani, S., Dalla Rosa, M., & Witrowa-Rajchert, D. (2017). Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on the

- main quality parameters of kiwifruit. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 41, 71-78.
- Panagiotou, N. M., Karathanos, V. T. & Maroulis, Z. B., (1999), Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. *Drying Technology*. 17(1 and 2), 175-189.
- Patrícia, M. A., Maria, A. M. B., Mariana, R. A. & Sofia, S. B. O., (2010), Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *Journal of Food Engineering*. 97, 194-198.
- Ren, X. E., He, R., Huang, Y. C., Zhang, J. M., & Yang, F. (2010). Osmotic dehydration of pineapple enhanced by ultrasonic treatment. *Food Science*, 22, 061.
- Roser, B. (1991). Trehalose, a new approach to premium dried foods. *Trends in Food Science and Technology*, 2, 166-169.
- Ruiz-Matute, A. I., Weiss, M., Sammataro, D., Finely, J., & Sanz, M. L. (2010). Carbohydrate composition of high-fructose corn syrups (HFCS) used for bee feeding: effect on honey composition. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(12), 7317-7322.
- 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 and Technology*, 52(2), 313-328.
- Shahidi, F. Mohebbi, M. Noshad, M. Ehtiati, A., & Fathi, M. (2012). Effect of osmotic and ultrasound pretreatments on some quality characteristics of air-dried banana. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 7 (4), 263-272 (In Farsi).
- Sunjka, P.S., & Raghavan, G.S.V. (2004). Assessment of pretreatment methods and osmotic dehydration for cranberries. *Canadian Biosystems Engineering*, 46(1), 45-48.
- Torregiani, D., & Bertolo, G., 2001, Osmotic pretreatment in fruit processing: Chemical, physical effect. *Journal of Food Engineering*, 49, 247-253.
- White, J.S. (2008). Straight talk about high-fructose corn syrup: what it is and what it ain't. *The American journal of Clinical Nutrition*, 88(6), 1716S-1721S.
- Zhang, P., Zhou, L., Bi, J., Liu, X., Lyu, J., Chen, Q., & Wu, X. (2017). Drying kinetics and quality attributes of peach cylinders as affected by osmotic pretreatments and infrared radiation drying. *International Journal of Food Engineering*, 13(5).