

بهینه‌سازی خشک کردن ترکیبی (اسمز - هوای داغ) برگه‌های سیب درختی با استفاده از روش سطح پاسخ

امیر دارائی گرمه خانی¹، میلاد مرادی²

1- نویسنده مسئول: گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده فنی و منابع طبیعی تویسرکان، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. پست الکترونیکی: amirdaraey@yahoo.com

2- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، کردستان، ایران.

تاریخ دریافت: 96/5/27

تاریخ پذیرش: 96/8/14

چکیده

سابقه و هدف: خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های افزایش ماندگاری مواد غذایی است. ارزش تغذیه‌ای و قابلیت جذب آب مجدد محصول خشک‌شده دو پارامتر مهم کیفی محصولات خشک شده است و تولید محصول با بهترین کیفیت از نظر ارگانولپتیکی و تغذیه‌ای هدف اصلی فرآیند خشک کردن اسمزی است.

مواد و روش‌ها: به منظور تعیین تأثیر خشک کردن ترکیبی (اسمز - هوای داغ) بر کیفیت برگه‌های سیب زرد درختی، سیب‌ها به صورت برش‌هایی با ضخامت 5 میلی‌متر برش زده شدند و در غلظت‌های مختلف محلول ساکارز (0، 30 و 60 درصد وزنی-وزنی) و در دمای 50 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. قطعات سیب در زمان‌های متوالی بین (60، 120 و 180 دقیقه) از محلول اسمزی خارج شده و پس از شستشوی سطحی و خشک کردن سطح توزین گردیدند. مقدار کاهش آب، مقدار ماده جامد (شکر) جذب‌شده، میزان رطوبت و اختلاف بریکس نمونه‌ها محاسبه گردید و با استفاده از روش سطح پاسخ تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که دما و غلظت محلول اسمزی، زمان فرآیند اسمز تأثیر معنی‌داری در پارامترهای مقدار رطوبت، بریکس، مقدار وزن پس از فرآیند اسمز و خصوصیات حسی محصول نهایی داشت. خشک کردن اسمزی باعث بهبود پارامترهای کیفی محصول نظیر رنگ، طعم و بافت محصول شده است. در فرآیند اسمزی با افزایش دما و غلظت محلول اسمزی مقدار رطوبت برگه‌های سیب درختی کاهش و مقدار بریکس افزایش یافته بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت محلول اسمزی، زمان و دمای فرآیند اسمزی تأثیر معنی‌داری در پارامترهای مقدار رطوبت، بریکس، مقدار وزن پس از فرآیند اسمز و فاکتورهای حسی محصول داشت.

واژگان کلیدی: خشک کردن اسمزی، سیب درختی، بهینه‌سازی فرآیند، خواص حسی

• مقدمه

غلیظ مناسب (مانند محلول‌های غلیظی از قندها، نمک‌ها یا مخلوط‌هایی از نمک و قند)، آبداری می‌شوند (1). فرآیندهای اسمزی به عنوان زیرمجموعه‌ای از عملیات استخراج محسوب می‌شود که طی آن رطوبت در دماهای پایین از ماده غذایی جداسازی می‌شود. این عملیات به دو صورت فرآیند اسمزی جامد-مایع و مایع-مایع تقسیم‌بندی می‌شود. فرآیند اسمزی جامد-مایع (خشک کردن اسمزی) بر اساس غوطه‌وری ماده غذایی جامد در محلول اسمزی و به دنبال آن خروج آب از ماده غذایی و ورود اجزاء اسمز به داخل ماده غذایی (به طور همزمان) می‌باشد. کارایی این فرآیند به نسبت

خشک کردن مواد غذایی خصوصاً میوه‌ها و سبزیجات از زمان‌های بسیار دور جهت افزایش عمر ماندگاری آن‌ها معمول بوده و امروزه نیز به عنوان یکی از فرآیندهای مهم در صنایع غذایی مطرح می‌باشد. حفظ ارزش تغذیه‌ای و قابلیت جذب آب مجدد محصول خشک‌شده دو پارامتری است که به عنوان شاخص کیفیت محصول مد نظر قرار می‌گیرند و هدف و هنر متخصصین صنایع غذایی ارائه و اجرای روش‌هایی است که به تولید محصول با کمترین تغییرات نامطلوب و بهترین کیفیت از نظر ارزیابی حسی و تغذیه‌ای منتج شود. در فرآیند خشک کردن اسمزی، محصولات بعد از غوطه‌وری در محلول اسمزی

انرژی در حدود 20-30% در مقایسه با استفاده از خشک کردن به تنهایی می شود (23).

به دلیل غوطه ور بودن مواد غذایی در محلول اسمزی، آبداری اسمزی فرآیندی بدون تماس با اکسیژن هوا است. بنابراین می توان پیش تیمارهایی مانند گوگرد زنی یا آنزیم بری که برای جلوگیری از تغییر رنگ ناشی از آنزیم ها و اکسیژن استفاده می شوند را حذف نمود چون از طرفی گوگرد زنی به علت سمی بودن گوگرد دارای اثر منفی تغذیه ای می باشد و همچنین آنزیم بری موجب تخریب دیواره سلول ها شده و باعث چروکیدگی زیاد محصول خشک شده می شود (24، 25، 21، 20).

در فرآیند خشک کردن اسمزی عواملی نظیر نوع و ترکیب محلول های اسمزی، دمای فرآیند، شکل و اندازه قطعات ماده غذایی و هم زدن و سیرکولاسیون محلول، مدت زمان فرآیند و نسبت ماده غذایی به محلول و ویژگی های ماده غذایی مؤثر هستند که میزان آبداری را بهبود می بخشند. با افزایش دما، آبداری اسمزی به علت کمتر شدن ویسکوزیته محلول اسمزی و افزایش ضریب انتقال جرم، افزایش می یابد، ولی این افزایش دما در محلول اسمزی به علت اثرات منفی بر روی کیفیت محصول نهایی از نظر نرم شدن، از دست دادن عطر و طعم و ... دارای محدودیت می باشد که حدود دما در مورد میوه ها و سبزی ها 45-50 درجه سانتی گراد در نظر گرفته می شود (26، 19). در زمینه خشک کردن اسمزی سیب درختی مطالعات زیادی صورت گرفته است اما در زمینه بهینه سازی و استفاده از روش سطح پاسخ برای بهینه سازی فرآیند خشک کردن اسمزی تحقیقات چندانی صورت نگرفته است لذا با توجه به مزایای روش خشک کردن اسمزی و عوامل مؤثر بر فرآیند اسمزی این مطالعه با هدف بررسی و بهینه سازی تأثیر غلظت و دمای محلول اسمزی، زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک کردن با هوای داغ بر خواص کیفی، انتقال جرم و بازجذب مجدد آب برگه های نازک سیب درختی طی فرآیند خشک کردن ترکیبی (اسمزی - هوای داغ) با استفاده از روش سطح پاسخ انجام شد.

• مواد و روش ها

آماده سازی مواد اولیه: سیب درختی واریته Golden delicious جهت انجام پژوهش به صورت فله ای از بازار محلی خریداری و پس از انتقال به آزمایشگاه و شستشو در یخچال نگهداری شد. شکر نیز به صورت فله ای از بازار تهیه شد. محلول های اسمزی به کار رفته در این پژوهش با انحلال شکر در آب مقطر با غلظت های 0، 30 و 60 درصد وزنی تهیه شدند. نسبت وزنی سیب درختی به محلول اسمزی 10:1 بود.

آب از دست رفته به جزء جامد نفوذ یافته بستگی دارد. در این فرآیند با قرار دادن مواد غذایی نظیر میوه یا سبزی به صورت قطعه قطعه شده یا کامل در یک محلول اسمزی، دیواره طبیعی سلول های ماده غذایی به عنوان یک غشاء نیمه تراوا عمل می کند و به علت وجود گرادیان غلظت بین محلول اسمزی (که دارای فشار اسمزی بالاتر و فعالیت آبی کمتری است) و مایعات داخل سلولی نیروی محرک لازم برای خروج آب از ماده غذایی به داخل محلول اسمزی ایجاد می شوند (1-2). در فرآیند آبداری اسمزی دو جریان اصلی غیر هم جهت به طور همزمان اتفاق می افتد، اول جریان آب از ماده غذایی به داخل محیط اسمزی به دلیل اختلاف غلظت بین دو محیط و دوم انتقال فعال مواد مغذی و حسی به داخل ماده غذایی که به علت انتخابی بودن غشاء می باشد (3-6). انتقال جرم در حین فرآیند اسمز، از بین غشاهای سلولی نیمه تراوا موجود در مواد بیولوژیکی که باعث ایجاد مقاومت بالایی می گردند، به وقوع می پیوندد. حالت غشای سلولی می تواند از حالت تراوایی کلی تا تراوایی جزئی، تغییر نماید، این مسئله باعث ایجاد تغییرات مؤثری در ساختار بافت می گردد (7). از آبداری اسمزی برای تولید محصولات با رطوبت حد واسط استفاده می شود یا از این فرآیند می توان به عنوان یک پیش فرآیند برای فرآیندهای بعدی مانند خشک کردن یا انجماد استفاده کرد (8). Tregunno and Goff (1996) اثر آبداری اسمزی را قبل از انجماد بر ویژگی های بافتی و ساختمانی سیب مطالعه کردند (9). تحقیقات زیادی در خصوص فرآوری سیب درختی با خشک کردن اسمزی یا فناوری هاردل قبل از خشک کردن انجمادی یا تحت خلأ ارائه شده است؛ و مشخص شده است که با استفاده از این تکنیک می توان خواص ارگانولپتیک و بافتی را بهبود بخشید و از قهوه ای شدن آنزیمی جلوگیری نمود (10). مطالعات سایر محققین در بررسی تأثیر فرآیند اسمز بر ویژگی های کیفی طالبی، میگو و سیب درختی در مقایسه با میوه تازه نشان داد سیب های تازه، پذیرش کلی پایین تری نسبت به انواع اسمز شده دارند (11-14). خشک کردن اسمزی به علت استفاده از دماهای پایین (کمتر از 45-50 درجه سانتی گراد) باعث حفظ بهتر رنگ و عطر و طعم محصول نهایی و ایجاد کیفیت بالاتر می گردد (15-18، 3). همچنین به طور مؤثری در مصرف انرژی فرآیندهای بعدی صرفه جویی نموده و مقدار انرژی کمی که در این فرآیند مصرف می شود صرف هم زدن محلول و ثابت نگه داشتن حرارت تا دمای مورد نظر می گردد (19-22). تلفیق فرآیند اسمز و هوای گرم به روش جابجایی باعث کاهش مصرف

تجزیه و تحلیل آماری و رسم نمودار: بهینه‌سازی داده‌ها به روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی CCD (Central Composite Design) با استفاده از نرم‌افزار Design Expert (Design Expert, 6.0.2 Trial, Stat-Ease Inc) انجام گرفت به این منظور طرح مرکب مرکزی با 3 سطح و 5 تکرار در نقطه مرکزی مورد استفاده قرار گرفت. در خشک کردن اسمزی متغیرهای مستقل زمان فرآیند خشک کردن اسمزی (X_1)، زمان خشک کردن با هوای داغ (X_2) و غلظت محلول اسمزی (X_3) از آزمون‌های اولیه استنتاج گردید (جدول 1).

جدول 1. متغیرهای مستقل و سطوح مورد استفاده جهت بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن اسمزی برگه‌های سیب درختی تحت شرایط مختلف فرآیند

سطوح و حدود متغیرها			متغیرهای مستقل
-1	0	+1	
60	120	180	زمان فرآیند اسمزی (دقیقه)
60	120	180	زمان خشک کردن با هوای داغ (دقیقه)
0	30	60	غلظت محلول اسمزی (%)

• یافته‌ها

تغییرات وزن، بریکس و مقدار رطوبت برگه‌های 5 میلی‌متری سیب درختی پس از خشک کردن اسمزی: روند تغییرات وزن پس از خشک کردن اسمزی تحت تأثیر پارامترهای مختلف (غلظت محلول اسمزی، زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک کردن با هوای داغ) در شکل 1 الف ارائه شده است. همان‌طور که (شکل 1 الف سمت چپ) مشاهده می‌شود در زمان‌های ثابت خشک کردن با هوای داغ با افزایش زمان خشک کردن اسمزی، وزن نمونه‌های سیب درختی پس از اسمز افزایش می‌یابد درحالی‌که در زمان‌های ثابت خشک کردن اسمزی با افزایش زمان خشک کردن با هوای داغ وزن نمونه‌های سیب درختی روند نزولی دارد و آب بیشتری از نمونه‌های سیب درختی خارج شده است در حقیقت می‌توان گفت که با طولانی شدن زمان فرآیند اسمز، ماده جامد بیشتری از طریق محلول اسمزی به داخل بافت سیب منتقل شده است و پس از مدتی که با محلول به تعادل رسید خروج آب کاهش می‌یابد و به دلیل افزایش ورود مواد جامد به بافت سیب، وزن نمونه‌ها افزایش می‌یابد درحالی‌که اعمال هوای داغ و طولانی شدن این فرآیند باعث خروج رطوبت از بافت سیب شده و وزن نمونه‌ها کاهش می‌یابد. همان‌طور که از شکل 1 الف وسط مشاهده می‌شود با افزایش غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی میزان وزن نمونه‌های تیمار شده افزایش

پیش از انجام هر آزمایش محلول‌ها تا رسیدن به دمای مورد نظر در حمام آب (شیمی فن، ایران) قرار گرفت و سپس نمونه‌های مورد نظر در آن غوطه‌ور شد. در حین انجام فرآیند اسمز دمای محلول‌ها با استفاده از دماسنج کنترل شد. پس از شستشوی نمونه‌ها، پوست‌گیری و هسته‌گیری آن، نمونه‌ها به صورت برش‌هایی مشابه مکعب مربع با ضخامت‌های 5 میلی‌متر تهیه شدند. سپس نمونه‌ها به وسیله ترازوی دیجیتال (سارتوریوس) با دقت 0/001 گرم توزین و بریکس نمونه‌ها به وسیله رفراکتومتر (در دمای محیط) تعیین گردید.

خشک کردن اسمزی: محلول اسمزی ساکارز با غلظت‌های مختلف (0، 30 و 60 درصد وزنی-وزنی) تهیه شده و نمونه‌های سیب در دمای 50 درجه سانتی‌گراد در این غلظت‌ها قرار گرفتند، نمونه‌ها در زمان‌های متوالی (60، 120 و 180 دقیقه) از محلول خارج شده و پس از شستشوی سطحی و خشک کردن سطح آن توزین شدند. بریکس و رطوبت نهایی محصول اسمز شده نیز محاسبه و ثبت شد.

خشک کردن با هوای داغ: در این مرحله نمونه‌های سیب درختی رطوبت‌گیری شده به روش اسمزی در آون با دماهای مختلف (45، 50 و 55 درجه سانتی‌گراد) قرار گرفته شدند و در فواصل زمانی متوالی (60، 120 و 180 دقیقه) از داخل آون خارج شده و توزین گردید.

خصوصیات کیفی محصول تولیدی: در این مرحله خصوصیات کیفی نمونه‌های خشک‌شده نهایی از جمله رنگ و قدرت آگیری مجدد (به وسیله غوطه‌وری 5 گرم از نمونه‌های خشک‌شده در آب مقطر و انجام توزین‌های پی در پی با فواصل زمانی 60، 120 و 180 دقیقه) ارزیابی شدند.

اندازه‌گیری رطوبت: مقدار مشخصی از نمونه‌ها توزین و پس از قرارگیری در آون 70 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند (27).

اندازه‌گیری بریکس: بریکس نمونه‌ها با استفاده از رفراکتومتر اندازه‌گیری شد. برای این کار عصاره نمونه مورد نظر روی رفراکتومتر ریخته و مقدار بریکس (در دمای محیط) آن اندازه‌گیری شد.

ارزیابی خصوصیات حسی: ارزیابی حسی محصول به صورت خشک بر مبنای مقیاس امتیازدهی انجام شد. به این منظور نمونه‌ها کد گذاری شدند و در اختیار 12 نفر پانلیست آموزش‌دیده قرار گرفتند. از پانلیست‌ها خواسته شد که نمونه‌ها را از نظر رنگ، طعم و بافت بین 1 تا 10 امتیازدهی کنند که هرچه امتیاز بالاتر باشد بیانگر مطلوبیت بیشتر نمونه است (27).

پارامترهای مختلف فرآیند اسمزی (غلظت محلول اسمزی، زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک کردن با هوای داغ) بر میزان تغییرات ارزیابی حسی رنگ، طعم و بافت محصول نهایی ارائه شده است. همان طور که از شکل 2 الف سمت چپ ملاحظه می شود با افزایش زمان فرآیند خشک کردن اسمزی تا 150 دقیقه میزان رنگ نمونه ها افزایش یافت اما با افزایش زمان فرآیند اسمزی از 180-150 رنگ نمونه ها روند نزولی کمی پیدا نمود. همچنین زمان خشک کردن با هوای داغ تأثیر چندانی بر میزان رنگ نمونه ها نداشت. زمان فرآیند اسمزی تأثیر بیشتری بر میزان مطلوبیت رنگ نمونه ها نسبت به غلظت محلول اسمزی دارد. غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی باعث تشدید اثر یکدیگر روی مطلوبیت رنگی نمونه ها شده بودند به طوری که بالاترین میزان مطلوبیت رنگی (3/39887) در محدوده زمان فرآیند اسمزی 120-130 دقیقه و غلظت محلول اسمزی 40-55% مشاهده شد (شکل 2 الف وسط). در غلظت ثابت محلول اسمزی با افزایش زمان خشک کردن با هوای داغ میزان مطلوبیت رنگی محصول نهایی کاهش می یابد. همچنین در زمان ثابت خشک کردن با هوای داغ با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان مطلوبیت رنگی نمونه های خشک شده اسمزی افزایش می یابد که در زمان های طولانی خشک کردن با هوای داغ غلظت محلول اسمزی تأثیری در مطلوبیت رنگی نمونه های تولیدی ندارد (شکل 2 الف سمت راست).

افزایش زمان فرآیند اسمزی تا 130 دقیقه باعث افزایش مطلوبیت طعم محصول تولیدی می شود و سپس با افزایش زمان فرآیند اسمزی از مطلوبیت طعم محصول کاسته می شود که می تواند ناشی از شیرین شدن بالای محصول در اثر افزایش انتقال جرم (شکر) از محلول اسمزی به داخل بافت برگه های سیب باشد. بالاترین میزان امتیاز طعم (9/824) در نمونه های خشک شده در محلول اسمزی با غلظت 60 درصد به مدت 120 دقیقه مشاهده شد (شکل 2 ب).

همان طور که از شکل 2 ج ملاحظه می شود با افزایش زمان خشک شدن با هوای داغ تا 120 دقیقه امتیاز بافتی محصول افزایش و سپس با ادامه خشک شدن با هوای داغ از امتیاز بافتی محصول کاسته می شود. زمان فرآیند اسمزی تأثیر مشابه با زمان خشک شدن با هوای داغ داشت بطوری که افزایش زمان فرآیند اسمزی تا 150 دقیقه منجر به افزایش امتیاز بافتی نمونه ها شد و سپس با افزایش زمان فرآیند اسمزی میزان امتیاز بافتی نمونه ها روند تقریباً ثابت و نزولی آهسته ای دارد. غلظت محلول اسمزی تأثیر مثبت و افزایشی بر امتیاز بافت نمونه ها داشت.

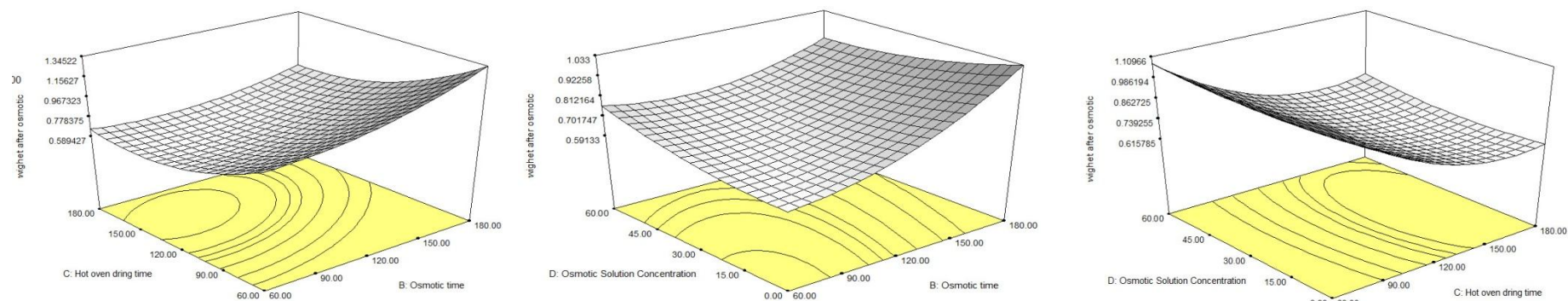
می یابد که به علت تسهیل شرایط انتقال مواد جامد از محلول اسمزی به بافت سیب می باشد. پایین ترین میزان وزن نمونه ها در زمان اسمز 60-80 دقیقه و غلظت 20-0% مشاهده شد (0/6154). همان طور که در شکل 1 سمت راست مشاهده می شود با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان وزن نمونه ها روند صعودی ثابت و آهسته ای دارد درحالی که در غلظت ثابت محلول اسمزی با افزایش زمان خشک کردن با هوای داغ وزن نمونه ها روند نزولی دارد.

نتایج مربوط به تأثیر پارامترهای مختلف (غلظت محلول اسمزی، زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک کردن با هوای داغ) بر روی بریکس برگه های 5 میلی متری سیب درختی در شکل 1 ب ارائه شده است. همان طور که (شکل 1 ب سمت چپ) مشاهده می شود با افزایش زمان فرآیند اسمز بریکس نمونه های نهایی روند افزایشی شدیدی داشته درحالی که با افزایش زمان خشک کردن با هوای داغ بریکس نمونه ها تغییر چندانی نداشته و تقریباً ثابت می ماند. زمان فرآیند اسمزی و غلظت محلول اسمزی تأثیر چشمگیری بر میزان بریکس محصول نهایی دارند و با افزایش زمان فرآیند اسمزی و غلظت محلول اسمزی میزان بریکس نمونه ها روند صعودی دارد (شکل 1 ب وسط). غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی تأثیر سینرژیست بر همدیگر داشته و باعث تشدید اثر همدیگر روی بریکس محصول می شوند. با افزایش غلظت محلول اسمزی و زمان خشک شدن با هوای داغ، میزان بریکس نمونه ها روند صعودی دارد که بیانگر انتقال بیشتر مواد به داخل بافت محصول می باشد (شکل 1 ب سمت راست).

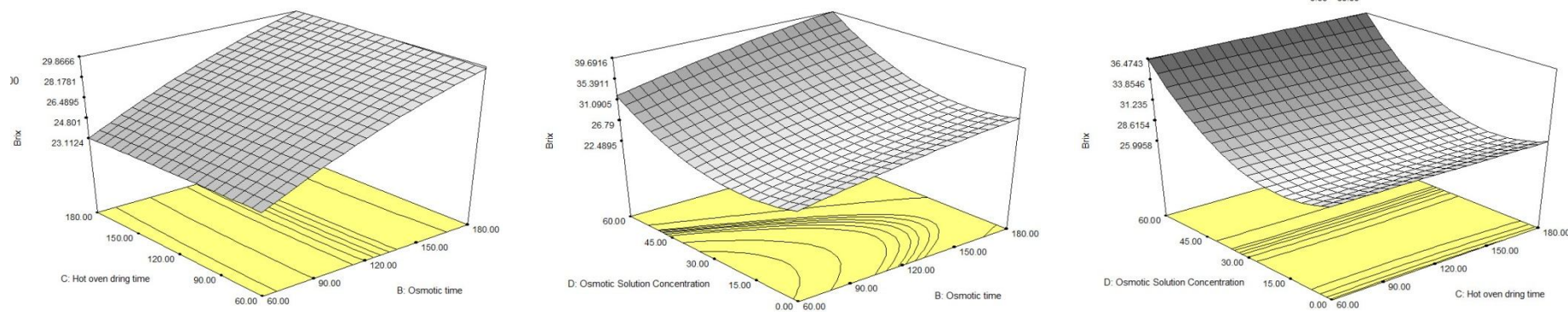
روند تغییرات رطوبت تحت تأثیر زمان فرآیند اسمزی، زمان خشک شدن با هوای داغ و غلظت محلول اسمزی در شکل 1 ج ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می شود با افزایش زمان خشک کردن با هوای داغ میزان رطوبت نمونه ها روند ثابتی را دارا می باشد. درحالی که با افزایش زمان خشک کردن اسمزی میزان رطوبت نمونه ها به علت افزایش شدت پدیده انتشار کاهش می یابد. همچنین با افزایش غلظت محلول اسمزی تا 45% مقدار رطوبت نمونه با روند افزایشی و سپس با افزایش غلظت محلول اسمزی منحنی رطوبت نمونه ها روند نزولی به خود می گیرد. همان طور که ملاحظه می شود غلظت محلول اسمزی تأثیر معنی داری بر میزان تغییرات رطوبت محصول نهایی دارد که نشان دهنده تأثیر بیشتر غلظت محلول اسمزی بر میزان رطوبت در مقایسه با زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک شدن با هوای داغ است.

ارزیابی حسی برگه های 5 میلی متری سیب درختی پس از خشک کردن اسمزی؛ در شکل 2 تأثیر همزمان

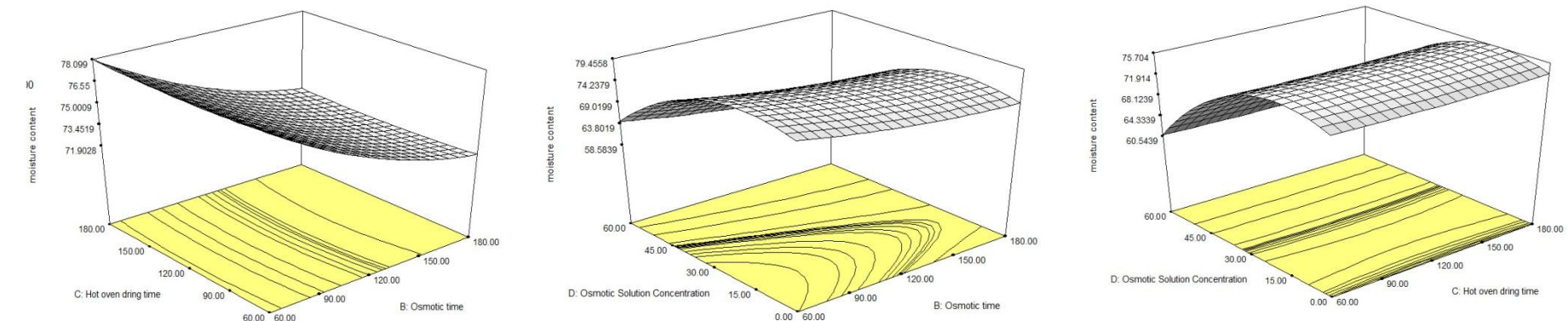
(ف)



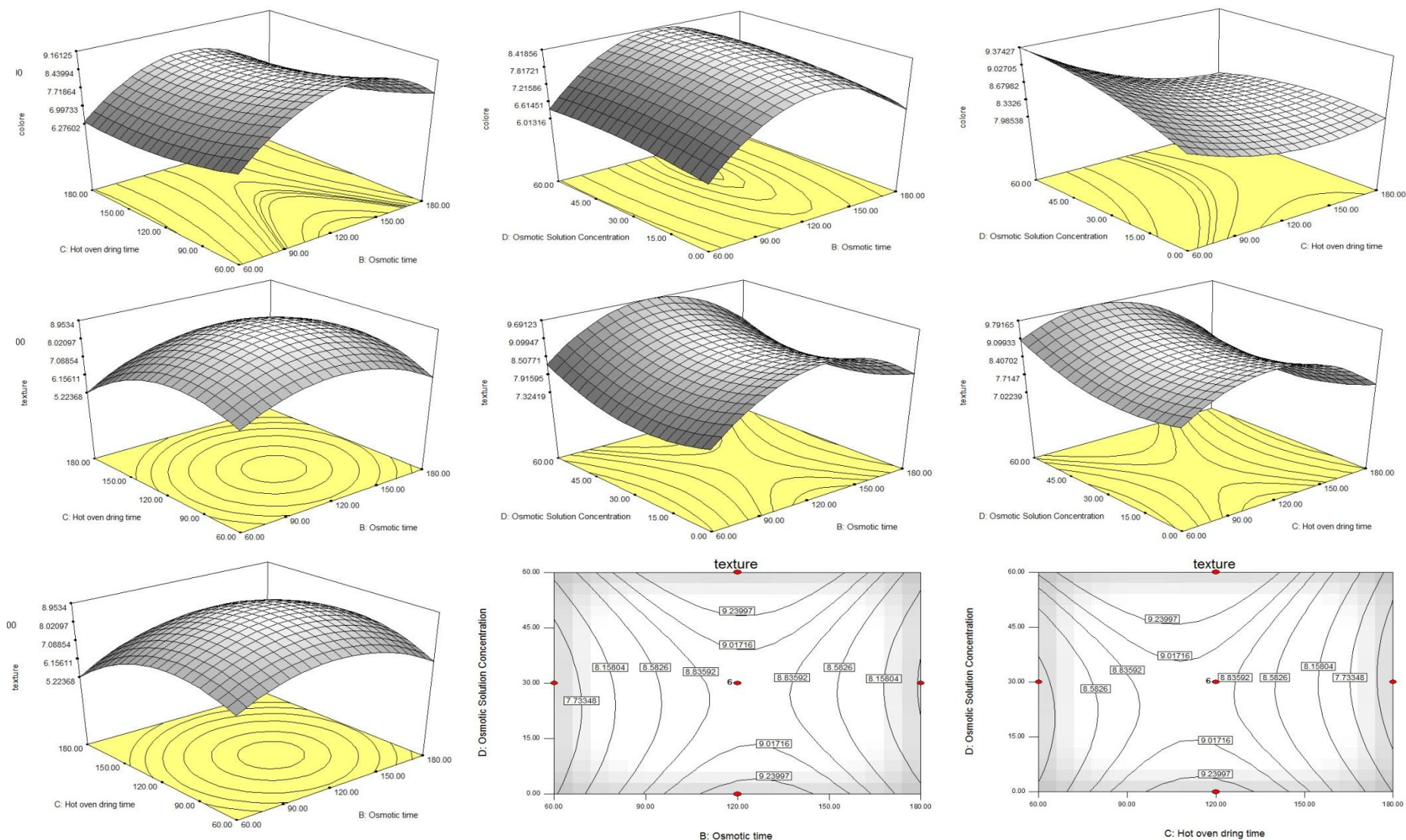
(ب)



(ج)



شکل 1. تأثیر پارامترهای مختلف (غلظت محلول اسمزی، زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک کردن با هوای داغ) بر الف- تغییرات وزن ب- بریکس و ج- مقدار رطوبت برگه‌های 5 میلی‌متری سیب درختی پس از خشک کردن اسمزی



شکل 2. تأثیر پارامترهای مختلف (غلظت محلول اسمزی، زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک کردن با هوای داغ) بر میزان مطلوبیت الف- رنگ ب- طعم و ج- بافت برگه های 5 میلی متری سیب درختی پس از خشک کردن اسمزی

شرایطی که غلظت محلول اسمزی 60% و زمان خشک کردن اسمزی 144/76 دقیقه و به دنبال آن 62/76 دقیقه خشک کردن در آون با هوای داغ می توان به محصولی با کیفیت مناسب از نظر رنگ، بافت، عطر و طعم و مقدار ماده جامد محلول کل رسید.

جذب آب مجدد نمونه های سیب درختی خشک شده تحت تأثیر پارامترهای مختلف خشک کردن اسمزی: نتایج مربوط به بازجذب مجدد آب نمونه های تولیدی در شرایط مختلف اسمزی و زمان خشک شدن و بازجذب آب مجدد آب 180 دقیقه در جدول 3 ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می شود در غلظت محلول اسمزی 40%، با افزایش زمان فرآیند اسمز، میزان بازجذب آب نمونه های تولیدی افزایش می یابد ($p < 0/05$). همچنین غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی با یکدیگر اثر تشدیدکننده دارند و با افزایش این دو عامل میزان بازجذب آب نمونه های تولیدی افزایش می یابد ($p < 0/05$).

بهینه سازی فرآیند خشک کردن اسمزی برگه های 5 میلی متری سیب درختی: جدول 2 شرایط تعیین شده برای متغیرهای مستقل (جهت بهینه سازی خشک کردن اسمزی برگه های 5 میلی متری سیب درختی) و شرایط بهینه را نشان می دهد. متغیرهای مستقل (غلظت محلول اسمزی، زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک کردن با هوای داغ) در محدوده انتخاب شده در نظر گرفته شده است. همچنین ویژگی های مورد مطالعه به عنوان اهداف فرآیند بسته به نوع صفت به صورت حداقل، در محدوده به دست آمده و حداکثر در نظر گرفته شد. در فرآیند بهینه سازی به تمامی پارامترهای مستقل وزن و اهمیت یکسان داده شد. با توجه به شرایط مورد نظر بهترین راه حل پیش بینی شده بر اساس مطلوبیت در شکل 7 ارائه شده است که هرچه مطلوبیت بالاتر و به 1 نزدیک تر باشد مناسب ترین و بهترین شرایط خواهد بود که راه حل اول به عنوان بهترین شرایط جهت دستیابی به شرایط بهینه در نظر گرفته شد. بر این اساس با اعمال خشک کردن اسمزی در

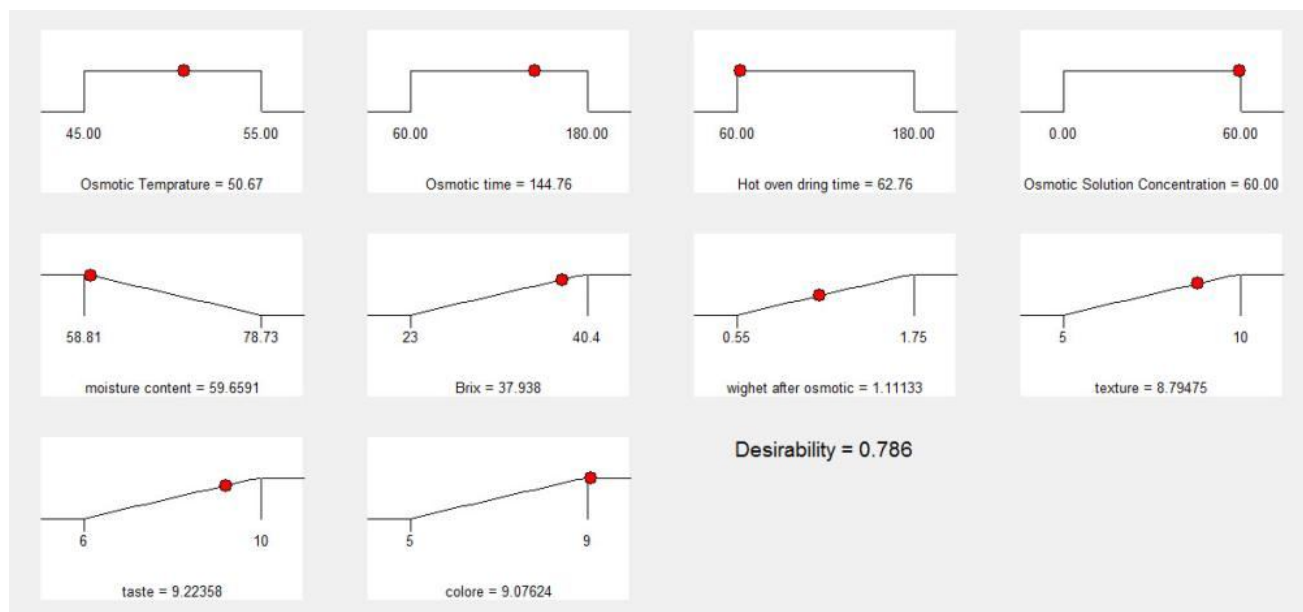
جدول 2. شرایط تعیین شده جهت بهینه سازی خشک کردن اسمزی برگه های 5 میلی متری سیب درختی

شرایط	هدف	حد پایین	حد بالا	وزن بالا	وزن پایین	اهمیت
زمان فرآیند اسمزی (دقیقه)	در محدوده	60	180	1	1	3
زمان خشک کردن با هوای داغ (دقیقه)	در محدوده	60	180	1	1	3
غلظت و دمای محلول اسمزی (%)	در محدوده	0	60	1	1	3
مقدار رطوبت (%)	حداقل	58/81	78/73	1	1	3
بریکس (%)	حداکثر	23	40/4	1	1	3
وزن نمونه ها پس از فرآیند اسمزی (گرم)	حداکثر	0/55	1/75	1	1	3
امتیاز بافتی نمونه ها	حداکثر	5	10	1	1	3
امتیاز طعم نمونه ها	حداکثر	6	10	1	1	3
امتیاز رنگ نمونه ها	حداکثر	5	9	1	1	3

جدول 3. نتایج مربوط به بازجذب مجدد آب نمونه های تولیدی در شرایط مختلف اسمزی و زمان خشک شدن و بازجذب آب 180 دقیقه

غلظت محلول اسمزی (%W/W)			زمان فرآیند اسمزی (دقیقه)		
			60	120	180
40	1/99*	2/14	3/43		
60	2/04	2/27	2/69		
40	2/1	2/09	1/96		
60	1/80	1/71	1/68		
40	2/11	2/08	1/94		
60	1/79	1/69	1/69		

* نتایج برحسب گرم می باشند



شکل 3. نتایج حاصل از بهینه‌سازی خشک کردن اسمزی بر گه‌های 5 میلی‌متری سیب درختی

• بحث

عوامل موثر بر کیفیت فرآورده حاصل از خشک کردن

اسمزی: کارایی روش خشک اسمزی عواملی مختلفی وابسته است که مهمترین عوامل شامل نوع و غلظت محلول‌های اسمزی، دمای فرآیند اسمزی، شکل و اندازه قطعات ماده غذایی و هم زدن و سیرکولاسیون محلول، مدت زمان فرآیند و نسبت ماده غذایی به محلول و ... می‌باشند. با افزایش دمای فرآیند اسمزی، به علت کمتر شدن ویسکوزیته محلول اسمزی و افزایش ضریب انتقال جرم، میزان آگیری اسمزی افزایش می‌یابد، اما به علت تاثیر منفی دماهای بالا بر کیفیت بافتی و حسی محصول نهایی، فرآیند اسمزی دارای محدودیت دمایی است (28). بکار بردن دماهای بالاتر از 50 درجه سانتی‌گراد برای میوه‌ها و سبزی‌ها باعث قهوه‌ای شدن آنزیمی، نرم شدگی بافت و از دست رفتن عطر و طعم می‌شود (19) که به علت اختلال در انبساط غشای پروتوپلاسمی، نازک شدن یا از بین رفتن کامل دیواره سلول در اثر تجزیه حرارتی می‌باشد (26).

نوع و غلظت محلول اسمزی مورد استفاده نیز تاثیر مهمی بر خواص کیفی محصولات حاصل از خشک کردن اسمزی دارد. محلول‌های مناسب در خشک کردن اسمزی باید دارای طعم و مزه مناسب باشند و برای سلامتی انسان بی‌ضرر باشد و فعالیت آبی پایینی داشته باشد. همچنین باید این محلول‌ها از لحاظ اقتصادی هم مقرون به صرفه بوده و برای محیط‌زیست هم مشکلی ایجاد نکنند (29). محلول‌های اسمزی مورد استفاده بیشتر قندی و نمکی هستند و بسته به نوع محصول (میوه و سبزی) از آن‌ها استفاده می‌شود، البته بنا به تحقیقات

انجام‌شده مشخص گردیده که محلول‌های چندگانه دارای مزایای بیشتری هستند و بهتر است در فرآیند از این نوع محلول‌ها استفاده نمود (29). با افزایش غلظت محلول اسمزی می‌توان آگیری را افزایش داد و تا حدی این افزایش مؤثر است ولی در غلظت‌های بالای قند (بیشتر از 65%) به علت افزایش ویسکوزیته، از دست دادن آب تسریع نمی‌شود (19). وزن مولکولی و قدرت یونی از عواملی هستند که در افزایش کاهش آگیری اسمزی مؤثر است در مقایسه محلول گلوکز با ساکارز به علت اینکه وزن مولکولی ساکارز تقریباً دو برابر گلوکز می‌باشد و این موجب فشار اسمزی پایین تر محلول ساکارز می‌شود آب کمتری از بافت میوه‌ها (موز و سیب و کیوی) خارج گردید (30). همچنین نسبت مناسب از محلول اسمزی به ماده غذایی بایستی رعایت شود تا یک تبادل ثابت بین آب و مواد حل شده برقرار باشد برای این منظور ترجیح داده می‌شود که نسبت ماده غذایی به محلول اسمزی کمتر باشد (31). اگر چه در طی فرآیند خشک کردن اسمزی تعادل واقعی (زمانی که پتانسیل شیمیایی آب در ماده غذایی و محلول اسمزی برابر شود) بعد از یک زمان نسبتاً طولانی حاصل می‌شود اما تبادل جرم بعد از یک دوره زمانی چهار تا پنج ساعته تغییر معنی‌داری نمی‌کند (29). در مورد زمان فرآیند اسمزی واضح است که با گذشت هر چه بیشتر زمان، فرآیند پیشرفت بیشتری خواهد داشت.

تغییرات ماده غذایی در اثر فرآیند آبگیری اسمزی

اثر خشک کردن اسمزی بر بافت ماده غذایی: دانشمندان دریافته‌اند که حالت و چگونگی بافت به روش خشک کردن بستگی دارد. اگر در فرآیند خشک کردن از دمای بالا استفاده شود می‌توان با تزریق شکر قبل از خشک کردن تکمیلی سخت شدن پوسته قطعات میوه را کاهش داد. چروکیدگی بافت شاخصی است که به طور مستقیم میزان جذب مجدد آب توسط محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اگر میزان تخریب سلولی کم باشد آبگیری مجدد مقدار بسیار بالایی خواهد داشت (32). Jayaraman et al. (1990) تأثیر خشک کردن اسمزی را به عنوان پیش فرآیندی برای خشک کردن کلم مورد مطالعه قرار دادند و بدین نتیجه رسیدند که نمونه‌های اسمزی شده، کمتر صدمه دیده بودند و میزان چروکیدگی کمتری در طی خشک کردن تکمیلی در آن‌ها به وجود آمده است. همچنین مطالعات میکروسکوپی بافت نشان داد که در نمونه‌های اسمز نشده بافت به شدت متلاشی شده و سلول نابود شده بود ولی در نمونه‌های اسمز شده با ساکارز و نمک بافت، به طور قابل ملاحظه‌ای حفظ شده بود و سلول‌ها کمترین آسیب را دیده بودند (2) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت. نتایج این تحقیق بیانگر تأثیر مثبت تیمارهای به کار رفته در این تحقیق (غلظت محلول اسمزی، زمان خشک کردن اسمزی و خشک کردن با هوای داغ) بر امتیاز بافتی برگه‌های سیب درختی تولیدی بود.

اثر فرآیند خشک کردن اسمزی بر عطر و طعم ماده غذایی: در فرآیند اسمزی به علت عواملی همچون عدم تغییر فاز و استفاده از دماهای پایین عطر و طعم محصول بیشتر حفظ می‌شود. در فرآیند خشک کردن با هوای گرم به دلیل اینکه ترکیبات آلی فرار (ترکیبات مولد عطر و طعم) نقطه جوش کمتری از آب دارند، عطر و طعم بسیار کاهش می‌یابد (32). به علت اینکه در فرآیند خشک کردن اسمزی میوه به ملایمت خشک می‌شود بنابراین افزایش طعم نامطلوب محدود می‌شود و صدمه حرارتی به رنگ و طعم به حداقل می‌رسد و طعم میوه‌ها حفظ می‌شود (33). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که افزایش زمان فرآیند اسمزی تا 130 دقیقه باعث افزایش مطلوبیت طعم محصول تولیدی می‌شود و سپس با افزایش زمان فرآیند اسمزی از مطلوبیت طعم محصول کاسته می‌شود که می‌تواند ناشی از شیرین شدن بالای محصول در اثر افزایش انتقال جرم (شکر) از محلول اسمزی به داخل بافت برگه‌های سیب باشد.

اثر خشک کردن اسمزی بر رنگ ماده غذایی: یکی از مزایای فرآیند اسمز در مقایسه با سایر روش‌های خشک کردن، حفظ رنگ مطلوب در ماده غذایی و عدم نیاز به پیش تیمارهایی مانند گوگرد زنی برای حفظ رنگ است (29). معمولاً خشک کردن در معرض هوا برای آبگیری جزئی استفاده می‌شود، اما رنگ بعضی از میوه‌ها مانند کیوی می‌تواند تحت تأثیر حرارت تغییر نماید. بنابراین این میوه‌ها باید با استفاده از فرآیند اسمز که در دمای محیط و به دور از اکسیژن هوا است فرآیند شوند (34). امیری پور و همکاران (2017) بیان نمودند که در خشک کردن ترکیبی اسمز- هوای داغ میوه گلایی با افزایش زمان و دمای خشک کردن با هوای داغ میزان مطلوبیت رنگ نمونه‌های تولیدی کاهش می‌یابد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت (28). نتایج نشان داد که محلول اسمزی تأثیر بیشتری بر میزان رنگ محصول تولیدی در مقایسه با سایر تیمارهای مورد استفاده داشت.

اثر خشک کردن اسمزی بر آبگیری مجدد ماده غذایی: نتایج تحقیق حاضر بیانگر افزایش میزان بازجذب آب نمونه‌های تولیدی تحت تأثیر افزایش زمان فرآیند اسمز، غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی بوده و این پارامترها اثر تشدیدکننده همدیگر را دارند. در مورد مواد غذایی مانند سبزیجات خشک‌شده‌ای که در هنگام آبگیری مجدد در آب جوش قرار بگیرند یا پخته شوند خشک کردن اسمزی باعث افزایش درصد آبگیری در آن‌ها می‌شود. et al. Jayaraman (1990) بیان نمودند که خشک کردن اسمزی گل کلم با محلولی از ساکارز و نمک باعث می‌شود که نمونه‌های اسمز شده در طی آبگیری مجدد در آب جوش، 57 درصد آب را در طی 12 دقیقه جذب کردند، در صورتیکه این میزان برای نمونه‌های بدون اسمز فقط 43 درصد در طی 22 دقیقه بود (2).

نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر پارامترهای مختلف فرآیند اسمزی (غلظت محلول اسمزی، زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک کردن با هوای داغ) بر ویژگی‌های کیفی سیب درختی بررسی و با استفاده از روش سطح پاسخ بهینه‌سازی شد. تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر متغیرهای فرآیند شامل غلظت محلول اسمزی، زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک کردن با هوای داغ بر متغیرهای وابسته (مقدار رطوبت، بریکس، مقدار وزن پس از فرآیند اسمز و فاکتورهای حسی) معنی دار بود و مدل‌های چند جمله‌ای درجه دوم برای پیش بینی تغییرات این پارامترهای وابسته به دست آمدند. با توجه به خصوصیات

داد که روش سطح پاسخ روشی کارآمد برای بهینه سازی خشک کردن ترکیبی اسمز- هوای داغ برگه های سیب درختی در محدوده زمان خشک کردن با هوای داغ 60-180 دقیقه، غلظت محلول اسمز 0-60% و زمان فرآیند اسمز 60-180 دقیقه بود.

کیفی و نتایج ارزیابی حسی برگه های سیب درختی شرایط بهینه فرآیند امکان پذیر می باشد. در نمونه های با ضخامت 5 میلی متر با اعمال شرایطی نظیر استفاده از محلول اسمز با غلظت 60%، زمان فرآیند اسمز 144/76 دقیقه و زمان خشک کردن با هوای داغ 62/76 دقیقه بهترین محصول به لحاظ حسی و کیفی حاصل می شود. نتایج این تحقیق نشان

• References

- Lazarides H.N. Advance in osmotic dehydration by processing foods: (eds. F.A. R. oliveria et al.) CRC press New York. 1999; PP 45-60.
- Jayaraman K.S, Das Gupta D. K, Babu Rao N. Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower. *Int J Food Sci Tech* 1990; 25: 47-60.
- Potter N. Food science (Firest edition). Falahi, M. Tehran, Gutenberg publication, 1991; 50-62.
- Barat J.M, Fito P, Chiralt A. Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. *J Food Eng* 2001; 49: 77-85.
- Ertekin F.K, Cakaloz T. Osmotic dehydration of peas: influence of process variables on mass transfer. *J Food Process. Preserv* 1996; 20: 87-104.
- Saputra D. Osmotic dehydration of pine apple. *Drying Technol* 2001; 19 (2): 415-425.
- Rastogi N.K, Eshtiaghi M.N, Knorr D. Acceleration mass transfer during osmotic dehydration of high intensity electrical field pulse pretreated carrots. *J Food Sci* 1999; 64: 1020-1023.
- Eren I, Kaymak-Ertekin F. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *J Food Eng* 2007; 79: 344-352.
- Tregunno N.B, Goff H.D. Osmotic dehydro freezing of apples: structural and textural effects. *Food Research Int* 1996; 29(5-6): 471-479.
- Chiralt A, Talens P. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *J Food Eng* 2005; 67: 167-177.
- Nassu R.T, Lima J.R, Souza Filho M. de S.M. Consumer's acceptance of fresh and combined methods processed melon, mango and cashew apple. *Rev. Bras. Anesthesiol* 2001; 23: 551-554.
- Mandala I.G, Anagnostaras E.F, Oikonomou C.K. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *J Food Eng* 2005; 69: 307-316.
- Bakhshabadi H, Mirzaei H.O, Daraei Garmakhany A, Mokhtarian M, Jabaraeili Sh, Shakeri Z, Khanzadi M. The 1st International conference on the optimization of production, distribution and consumption chain in the food industry. Gorgan, 2010; pp 1-7.
- Kalbasi A, Fatemian H. Effect of osmotic dehydration properties on quality criteria of sliced golden delicious apple. *Iranian J Agirc Sci* 2001; 32 (4): 835-845 [in Persian].
- Kar A, Gupta D.K. Osmotic dehydration characteristics of button mushroom. *J Food Sci Tech* 2001; 38(4): 352-357.
- Aguilar C.N, Anzaldúa-Morales A, Talamás R, Gastélum G. Low-temperature blanch improves textural quality of French fries. *J Food Sci* 1997; 62: 568-571.
- Azuara E, Garcia H.S, Beristain C.I. Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. *Food Rev Int* 1996; 29(2): 195-199.
- Barat J.M, Chiralt A, Fito P. Equilibrium in cellular food-osmotic systems: The role of the structure. *J Food Sci* 1998; 63(5): 836-84.
- Lazarides H.N, Mavroudis N. E. Kinetics of osmotic dehydration of a highly shrinking vegetable tissue in a salt-free medium. *J Food Eng* 1996; 30: 61-74.
- Mavroudis N.E, Gekas V, Sjöholm I. Osmotic dehydration of apple effects of agitation and row material characteristics. *Int J Food Eng* 1998; 35: 191-209.
- Ponting J.D, Walters G.G, Forrey R.R, Jackson R, Stanley W.L. Osmotic dehydration of fruits. *J Food Technol* 1966; 8: 18-20.
- Gomes D, Barbosa J.L, Colato G, Fernando E.M. Osmotic dehydration of a cerola fruit (malpighia punicea folial). *J Food Eng* 2004; 25: 176-183.
- Lenart A. Osmo- convective drying of fruit and vegetables technology and Application. *Drying Technol* 1996; 14 (2): 391-413.
- Lerici CR, Pinnavaia G, Dalla Rosa M, Bartolucci L. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *J Food Sci* 1985; 50: 1217-1219.
- Singh H. Osmotic dehydration of carrot shreds for azraila preparation. *J Food Sci Technol* 2001; 38 (2): 152-154.
- Delvalle J.M, Aranguiz V, Leon H. Effects of blanching and calcium infiltration on PPO activity, texture, microstructure and kinetics of osmotic dehydration of apple tissue. *Food Res Int* 1999; 31(8): 557-569.

27. Kargozari M, Emam Jome Z, Moeini S. Optimization of Osmotic Dehydration of Carrot Using Response Surface Methodology (Rsm). *Iranian J Biosys Eng* 2012; 42(2): 215-224 [in Persian].
28. Amiripour M, Habibi-Najafi M. B, Mohebbi M, Emadi B. Optimization of osmosis-hot air drying of pear using Response Surface Methodology. *JFST* 2017; 62(14): 57-65 [in Persian].
29. Lazarides HN, Fito P, Chiralt A, Gekas V, Lenart A. Advances in osmotic dehydration. In: Oliveira F.A.R. and Oliveira J.C. (eds.), *Processing of foods: Quality optimization and process assesment*. Boca Raton: CRC Press. 1998; pp. 175-200
30. Panagiotou NM, Karathanos VT, Maroulis ZB. Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. *Drying Technol* 1999; 17 (1-2): 175-189.
31. Huse HL, Mallikar junan P, Chinnan MS, Hung YC, Phillips R D. Edible coatings reducing oil uptake in production of Akara (Deep fat frying of cowpea paste). *J Food Process Preserv* 1998; 22: 155-165.
32. Tavakoli Pour, H. *Principle and methods of food drying*. Tehran, Aeej, 2000; 30-40.
33. Singh S, Shivhare US, Ahmed J, Raghavan GS V. Osmotic concentration kinetics and quality of carrot preserve, *Food Res Int* 1999; 32: 509-514.
34. Torreggiani D, Bertolo G. Osmotic pre-treatment in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *J Food Eng* 2001; 49: 247-253.

Response Surface Optimization of Combination Drying (Osmotic-Hot Air Drying) of Apple Fruit Slices

Daraei Garmakhany A^{*1}, Moradi M²

1-^{*}Corresponding author: Dept. of Food Science and Technology, Toyserkan Faculty of Engineering and natural resources, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. Email: amirdaraey@yahoo.com.

2- Dept. of Food Science and Technology, Islamic Azad University Sannadaj Branch, Kordestan, Iran.

Received 18 Aug, 2017

Accepted 5 Nov, 2017

Background and Objectives: Drying is one of the oldest methods for increasing the shelf life of foods. Nutritional value and water rehydration ability are two important quality parameters of dried products and so production of a product with the highest organoleptic and nutritional quality is the main purpose of osmotic dehydration process.

Materials and Methods: In order to determine the effect of combination drying process (osmotic-hot air drying) on the quality attributes of golden delicious apple slices, the apple fruits were cut in the form of 5 mm thickness slices and immersed in different concentrations (0, 30 and 60 %w/w) of sucrose solution with the temperature of 50°C. After removal of the apple slices from the osmotic solution in different processing times (60, 120 and 180 minutes), their surface was cleaned, dried and weighted. Water loss, solid (sugar) giant, moisture content and the total soluble solid (Brix) of the samples were calculated and analyzed with response surface method.

Results: The results showed that osmotic solution concentration, temperature and duration of osmotic process had significant effect on the moisture content, Brix, and the weight of the samples after osmotic process, and on the sensory attributes of the final product. Osmotic dehydration improved different quality attributes including color, taste and texture of the final product. During the osmotic dehydration process, moisture content and Brix of the samples were reduced and increased, respectively by increase of the osmotic solution's concentration and temperature.

Conclusion: Osmotic solution concentration, temperature and duration of osmotic process had significant effect on the moisture content, Brix, and the weight of the samples after osmotic process, and on the sensory attributes of the final product.

Keywords: Osmotic dehydration, Apple fruit, Process optimization, Sensory attributes