مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال سیزدهم، شماره 3، پاییز 1397، صفحات 114-103

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

امیر دارائی گرمه خانی[1]، میلاد مرادی[2]

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 قدیمی ترین 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

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 غلیظ مناسب (مانند محلول‌های غلیظی از قندها، نمک‌ها یا مخلوط‌هایی از نمک و قند)، آبگیری می‌شوند (1). فرآیندهای اسمزی به عنوان زیرمجموعه‌ای از عملیات استخراج محسوب می شود 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 می شود. 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. کارآیی این فرآیند به نسبت

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-25]

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 قطعه‌قطعه شده یا کامل در یک محلول اسمزی، دیواره طبیعی سلول‌های ماده غذایی به عنوان یک غشاء نیمه تراوا عمل می‌کند 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 می‌شوند (2-1). در فرآیند آبگیری اسمزی دو جریان اصلی غیر هم جهت به طور همزمان اتفاق می‌افتد، 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 (6-3). انتقال جرم در حین فرآیند اسمز، از بین غشاهای سلولی نیمه تراوای موجود در مواد بیولوژیکی که باعث ایجاد مقاومت بالایی می‌گردند، به وقوع می‌پیوندد. حالت غشای سلولی می‌تواند از حالت تراوایی کلی تا تراوایی جزئی، تغییر نماید، این مسئله باعث ایجاد تغییرات موثری در ساختار بافت می‌گردد (7). از آبگیری اسمزی برای تولید محصولاتی با رطوبت حد واسط استفاده می‌شود یا از این فرآیند می‌توان به عنوان یک پیش فرآیند برای فرآیندهای بعدی مانند خشک کردن یا انجماد استفاده کرد (8).Tregunno and Goff (1996) اثر آبگیری اسمزی را قبل از انجماد بر ویژگی‌های 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 می‌توان خواص ارگانولپتیک و بافتی را بهبود بخشید و از قهوه‌ای شدن آنزیمی جلوگیری نمود (10). مطالعات سایر محققین در بررسی تأثیر فرآیند اسمز بر ویژگی‌های کیفی طالبی، میگو و سیب درختی در مقایسه با میوه تازه نشان داد سیب‌های تازه، پذیرش کلی پایین تری نسبت به انواع اسمز شده دارند (14-11). خشک کردن اسمزی به علت استفاده از دماهای پایین (کمتر از 50- 45 درجه سانتی‌گراد) باعث حفظ بهتر رنگ و عطر و طعم محصول نهایی و ایجاد کیفیت بالاتر می‌گردد (18-15، 3). همچنین به طور مؤثری در مصرف انرژی فرآیندهای بعدی صرفه‌جویی نموده و مقدار انرژی کمی که در این فرآیند مصرف می‌شود صرف هم زدن محلول و ثابت نگه داشتن حرارت تا دمای مورد نظر می‌گردد (22-19). تلفیق فرآیند اسمز و هوای گرم به روش جابجایی باعث کاهش مصرف انرژی در حدود 30-20% در مقایسه با استفاده از خشک کردن به تنهایی می‌شود (23).

به دلیل غوطه‌ور بودن مواد غذایی در محلول اسمزی، آبگیری اسمزی فرآیندی بدون تماس با اکسیژن هوا است. بنابراین می‌توان پیش‌تیمارهایی مانند گوگرد زنی یا آنزیم بری که برای جلوگیری از تغییر رنگ ناشی از آنزیم‌ها و اکسیژن استفاده می شوند را حذف نمود چون از طرفی گوگرد زنی به علت سمی بودن گوگرد دارای اثر منفی تغذیه‌ای می‌باشد و همچنین آنزیم بری موجب تخریب دیواره سلول‌ها شده و باعث چروکیدگی زیاد محصول خشک‌شده می‌شود (25، 24، 21، 20).

در فرآیند خشک کردن اسمزی عواملی نظیر نوع و ترکیب محلول‌های 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 ویژگی‌های ماده غذایی مؤثر هستند که میزان آبگیری را بهبود می‌بخشند. با افزایش دما، آبگیری اسمزی به علت کمتر شدن ویسکوزیته محلول اسمزی و افزایش ضریب انتقال جرم، افزایش می‌یابد، 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 می‌باشد که حدود دما در مورد میوه‌ها و سبزی‌ها 45-50 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود (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 موثر 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 برگه‌های نازک سیب درختی طی فرآیند خشک کردن ترکیبی (اسمزی- هوای داغ) با استفاده از روش سطح پاسخ انجام شد.

• مواد و روش‌ها

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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-25]

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 نمونه ها، پوست گیری و هسته گیری آن، نمونه‌ها به صورت برش‌هایی مشابه مکعب مربع با ضخامت‌های 5 میلی‌متر تهیه شدند. سپس نمونه‌ها به وسیله ترازوی دیجتال (سارتریوس) 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 آبگیری 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).

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

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

• 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. همان طور 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. همان طور که از شکل 1 الف وسط مشاهده می‌شود با افزایش غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی میزان وزن نمونه‌های تیمار شده افزایش

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-25]

می‌یابد که به علت تسهیل شرایط انتقال مواد جامد از محلول اسمزی به بافت سیب می‌باشد. پایین‌ترین میزان وزن نمونه‌ها در زمان اسمز 80-60 دقیقه و غلظت 20-0% مشاهده شد (0/6154). همان طور که در شکل 1 سمت راست مشاهده می‌شود با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان وزن نمونه‌ها روند صعودی ثابت و آهسته‌ای دارد درحالی‌که در غلظت ثابت محلول اسمزی با افزایش زمان خشک کردن با هوای داغ وزن نمونه‌ها 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 برگه‌های 5 میلی‌متری سیب درختی در شکل ا ب ارائه شده است. همان طور که (شکل 1 ب سمت چپ) مشاهده می‌شود با افزایش زمان فرآیند اسمز بریکس نمونه‌های نهایی روند افزایشی شدیدی داشته درحالی‌که با افزایش زمان خشک کردن با هوای داغ بریکس نمونه‌ها تغییر چندانی نداشته و تقریباً ثابت می‌ماند. 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 نمونه‌ها 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 می‌شوند. با افزایش غلظت محلول اسمزی و زمان خشک شدن با هوای داغ، میزان بریکس نمونه‌ها روند صعودی دارد که بیانگر انتقال بیشتر مواد به داخل بافت محصول می‌باشد (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 می‌شود با افزایش زمان خشک کردن با هوای داغ میزان رطوبت نمونه‌ها روند ثابتی را دارا می‌باشد. درحالی‌که با افزایش زمان خشک کردن اسمزی میزان رطوبت نمونه‌ها به علت افزایش شدت پدیده انتشار کاهش می‌یابد. 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 می‌گیرد. همان طور که ملاحظه می‌شود غلظت محلول اسمزی تأثیر معنی‌داری بر میزان تغییرات رطوبت محصول نهایی دارد که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر غلظت محلول اسمزی بر میزان رطوبت در مقایسه با زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک شدن با هوای داغ است.

ارزیابی حسی برگه‌های 5 میلی‌متری سیب درختی پس از خشک کردن اسمزی: در شکل 2 تأثیر همزمان 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 می‌شود با افزایش زمان فرآیند خشک کردن اسمزی تا 150 دقیقه میزان رنگ نمونه‌ها افزایش یافت اما با افزایش زمان فرآیند اسمزی از 180-150 رنگ نمونه‌ها روند نزولی کمی پیدا نمود. همچنین زمان خشک کردن با هوای داغ تأثیر چندانی بر میزان رنگ نمونه‌ها نداشت. زمان فرآیند اسمزی تأثیر بیشتری بر میزان مطلوبیت رنگ نمونه‌ها نسبت به غلظت محلول اسمزی دارد. غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی باعث تشدید اثر یکدیگر روی مطلوبیت رنگی نمونه‌ها شده بودند به طوری که بالاترین میزان مطلوبیت رنگی (3/39887) در محدوده زمان فرآیند اسمزی 130-120 دقیقه و غلظت محلول اسمزی 55-40% 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 می‌یابد. همچنین در زمان ثابت خشک کردن با هوای داغ با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان مطلوبیت رنگی نمونه‌های خشک‌شده اسمزی افزایش می‌یابد که در زمان‌های طولانی خشک کردن با هوای داغ غلظت محلول اسمزی تأثیری در مطلوبیت رنگی نمونه‌های تولیدی ندارد (شکل 2 الف سمت راست).

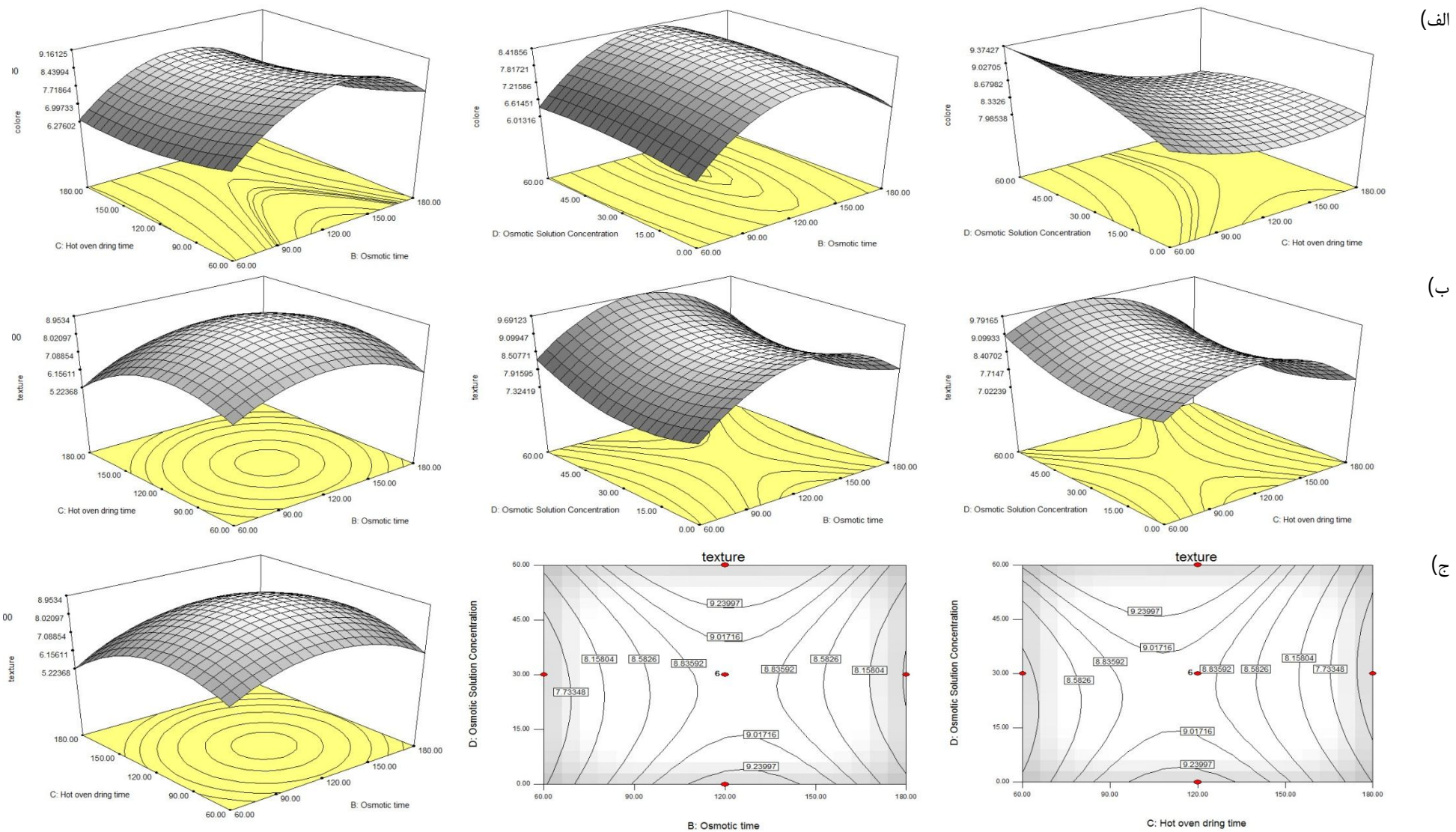
افزایش زمان فرآیند اسمزی تا 130 دقیقه باعث افزایش مطلوبیت طعم محصول تولیدی می‌شود و سپس با افزایش زمان فرآیند اسمزی از مطلوبیت طعم محصول کاسته می‌شود که می‌تواند ناشی از شیرین شدن بالای محصول در اثر افزایش انتقال جرم (شکر) از محلول اسمزی به داخل بافت برگه‌های سیب باشد. بالاترین میزان امتیاز طعم (9/824)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

همان طور که از شکل 2 ج ملاحظه می‌شود 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 می‌شود. 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 نمونه‌ها شد و سپس با افزایش زمان فرآیند اسمزی میزان امتیاز بافتی نمونه‌ها روند تقریباً ثابت و نزولی آهسته‌ای دارد. غلظت محلول اسمزی تاثیر مثبت و افزایشی بر امتیاز بافت نمونه‌ها داشت.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-25]

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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-25]



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 برگه‌های 5 میلی‌متری سیب درختی پس از خشک کردن اسمزی

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-25]

بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن اسمزی برگه‌های 5 میلی‌متری سیب درختی: جدول 2 شرایط تعیین‌شده برای متغیرهای مستقل (جهت بهینه‌سازی خشک کردن اسمزی برگه‌های 5 میلی‌متری سیب درختی) و شرایط بهینه را نشان می‌دهد. متغیرهای مستقل (غلظت محلول اسمزی، زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک کردن با هوای داغ) در محدوده انتخاب‌شده در نظر گرفته شده است. همچنین ویژگی‌های 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 بهینه‌سازی به تمامی پارامترهای مستقل وزن و اهمیت یکسان داده شد. با توجه به شرایط مورد نظر بهترین راه حل پیش‌بینی‌شده بر اساس مطلوبیت در شکل 7 ارائه شده است که هرچه مطلوبیت بالاتر و به 1 نزدیک‌تر باشد مناسب‌ترین 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 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 نمونه‌های سیب درختی خشک‌شده تحت تأثیر پارامترهای مختلف خشک کردن اسمزی: نتایج مربوط به بازجذب مجدد آب نمونه‌های 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 می‌شود در غلظت محلول اسمزی 40%، با افزایش زمان فرآیند اسمز، میزان بازجذب آب نمونه‌های تولیدی افزایش می‌یابد ($p<0/05$). همچنین غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی با یکدیگر اثر تشدیدکننده دارند و با افزایش این دو عامل میزان بازجذب آب نمونه‌های تولیدی افزایش می‌یابد ($p<0/05$).

جدول 2. شرایط تعیین‌شده جهت بهینه‌سازی خشک کردن اسمزی برگه‌های 5 میلی‌متری سیب درختی

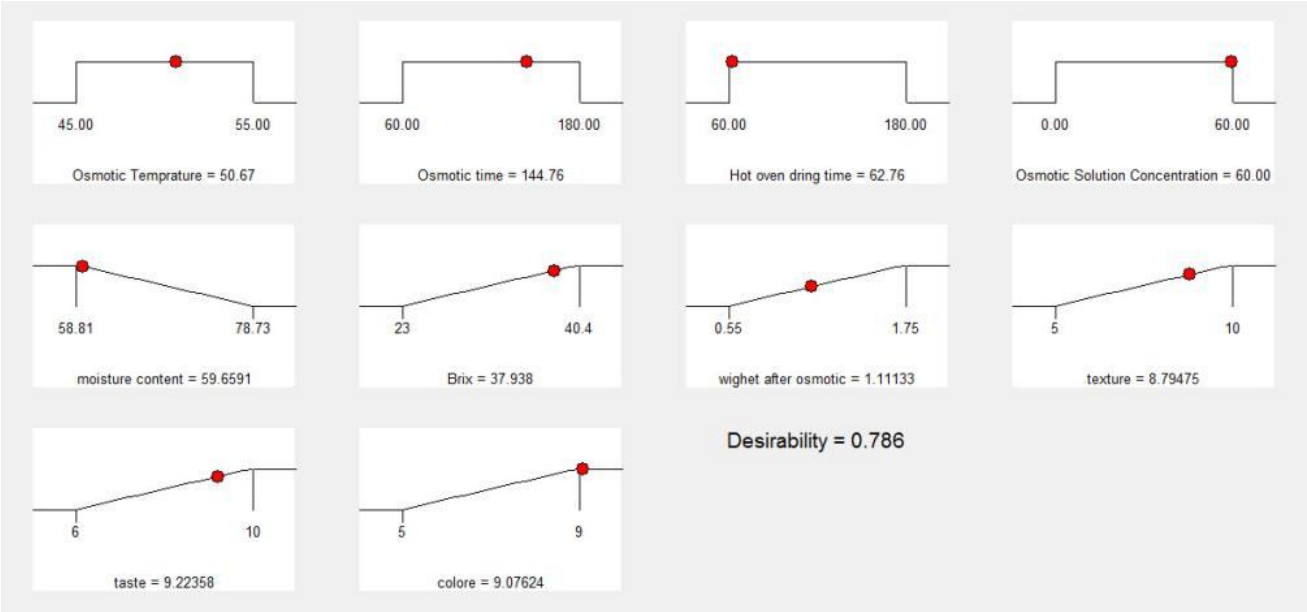
شرایط	هدف	حد پایین	حد بالا	وزن بالا	وزن پایین	اهمیت
زمان فرآیند اسمزی (دقیقه)	در محدوده	60	180	1	1	3
زمان خشک کردن با هوای داغ (دقیقه)	در محدوده	60	180	1	1	3
غلظت و دمای محلول اسمزی (%)	در محدوده	0	60	1	1	3
مقدار رطوبت (%)	حداقل	58/81	78/73	1	1	3
بریکس (%)	حداکثر	23	40/4	1	1	3
وزن نمونه‌ها پس از فرآیند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

جدول 3. نتایج مربوط به بازجذب مجدد آب نمونه‌های 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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-25]



شکل 3. نتایج حاصل از بهینه‌سازی خشک کردن اسمزی برگه‌های 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 آبگیری 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 آبگیری 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 یا کاهش آبگیری اسمزی موثر 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 می شود 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.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-25]

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 اسمز 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 قابل‌ملاحظه‌ای حفظ شده بود و سلول‌ها کمترین آسیب را دیده بودند (2) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت. نتایج این تحقیق بیانگر تاثیر مثبت تیمارهای به کار رفته در این تحقیق (غلظت محل.ل اسمزی، زمان خشک کردن اسمزی و خشک کردن با هوای داغ) بر امتیاز بافتی برگه های سیب درختی تولیدی بود.

اثر فرآیند خشک کردن اسمزی بر عطر و طعم ماده غذایی: در فرآیند اسمزی به علت عواملی همچون عدم تغیر 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 پیش‌تیمارهایی 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 گلابی با افزایش زمان و دمای خشک کردن با هوای داغ میزان مطلوبیت رنگ نمونه های تولیدی کاهش می یابد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت (28). نتایج نشان داد که محلول اسمزی تاثیر 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 تاثیر 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. Jayaraman et al (1990) بیان نمودند که خشک کردن اسمزی گل کلم با محلولی از ساکارز و نمک باعث می شود که نمونه‌های اسمز شده در طی آبگیری مجدد در آب جوش، 57 درصد آب را در طی 12 دقیقه جذب کردند، درصورتیکه 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 تاثیر متغییرهای فرآیند شامل غلظت محلول اسمزی، زمان فرآیند اسمزی و زمان خشک کردن با هوای داغ بر متغییرهای وابسته (مقدار رطوبت، بریکس، مقدار وزن پس از فرآیند اسمز و فاکتورهای حسی) معنی دار بود و مدل های چند جمله ای درجه دوم برای پیش بینی تغییرات این پارامترهای وابسته به دست آمدند. با توجه به خصوصیات

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-25]

کیفی و نتایج ارزیابی حسی برگه‌های سیب درختی شرایط بهینه فرآیند امکان‌پذیر می‌باشد. در نمونه‌های با ضخامت 5 میلی‌متر با اعمال شرایطی نظیر استفاده از محلول اسمزی با غلظت 60%، زمان فرآیند اسمزی 144/76 دقیقه و زمان خشک کردن با هوای داغ 62/76 دقیقه بهترین محصول به لحاظ حسی و کیفی حاصل می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که روش سطح پاسخ روشی کارامد برای بهینه سازی خشک کردن ترکیبی اسمز- هوای داغ برگه های سیب درختی در محدوده زمان خشک کردن با هوای داغ 180-60 دقیقه، غلظت محلول اسمزی 60-0% و زمان فرآیند اسمزی 180-60 دقیقه بود.

• References

1. 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.
2. 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.
3. Potter N. Food science (Firest edition). Falahi, M. Tehran, Gutenberg publication, 1991; 50-62.
4. 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.
5. Ertekin F.K, Cakaloz T. Osmotic dehydration of peas: influence of process variables on mass transfer. J Food Process. Preserv 1996; 20: 87-104.
6. Saputra D. Osmotic dehydration of pine apple. Drying Technol 2001; 19 (2): 415-425.
7. 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.
8. Eren I, Kaymak-Ertekin F. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. J Food Eng 2007; 79: 344-352.
9. Tregunno N.B, Goff H.D. Osmotic dehydro freezing of apples: structural and textural effects. Food Research Int 1996; 29(5-6): 471-479.
10. Chiralt A, Talens P. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. J Food Eng 2005; 67: 167-177.
11. 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. Anestesiol 2001; 23: 551-554.
12. 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.
13. Bakhshabadi H, Mirzaei H.O, Daraei Garmakhany A, Mokhtarian M, Jabaraeili Sh, Shakeri Z, Khanzadi M. The 1nd International conference on the optimization of production, distribution and consumption chain in the food industry. Gorgan, 2010; pp 1-7.
14. 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].
15. Kar A, Gupta D.K. Osmotic dehydration characteristics of button mushroom. J Food Sci Tech 2001; 38(4): 352-357.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Mavroudis N.E, Gekas V, Sjoholm I. Osmotic dehydration of apple effects of agitation and row material characteristics. Int J Food Eng 1998; 35: 191-209.
21. 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.
22. Gomes D, Barbosa J.L, Colato G, Fernando E.M. Osmotic dehydration of a cerola fruit (malpighia punici folial). J Food Eng 2004; 25: 176-183.
23. Lenart A. Osmo- convective drying of fruit and vegetables technology and Application. Drying Technol 1996; 14 (2): 391-413.
24. 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.
25. Singh H. Osmotic dehydration of carrot shreds for azraila preparation**.** J Food Sci Technol 2001; 38 (2): 152-154.
26. 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.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-25]

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.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-25]

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

Daraei Garmakhany A[1], Moradi M[2]*

*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 50^0C. 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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-25]