مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

مدل‌سازی سطح پاسخ انتقال جرم و باز جذب مجدد آب ورقه‌های نازک سیب درختی طی خشک کردن اسمزی

عبدالواحد خان احمد زاده[1]، میلاد مرادی[2]

۱- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.

۲- دانش آموخته گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹ /۰۹/۲٤

تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۳/۲۲

کلمات کلیدی:

خشک کردن اسمزی،

سیب درختی،

بهینه‌سازی روش فرآیند،

بریکس،

درصد رطوبت.

DOI: 10.52547/fsct.18.08.06

* مسئول مکاتبات:

Miladmoradi_19@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق فرآیند مدل‌سازی سطح پاسخ با استفاده از داده‌های تجربی میزان وزن نمونه‌ها، میزان رطوبت و بریکس محصول تولیدی پس از فرآیند اسمز در غلظت‌های مختلف محلول ساکاروز (W/W٪۶۰-۰)، دماها (۵۵-٤۵ درجه سانتی‌گراد) و زمان‌های مختلف (۱۸۰-٦۰ دقیقه) فرآیند اسمز با روش سطح پاسخ انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت محلول اسمزی، دما و زمان فرآیند اسمز تأثیر معنی‌داری بر میزان رطوبت، بریکس، وزن نمونه‌ها طی فرآیند اسمز و فاکتورهای حسی محصول نهایی داشت. بالاترین مقدار بریکس (۳۹/٦۹٪) در نمونه‌های خشک‌شده در محلول اسمزی با غلظت ٦۰٪ به مدت ۱۸۰ دقیقه مشاهده شد درحالی‌که پایین‌ترین مقدار بریکس مربوط به زمان فرآیند اسمزی ٦۰ دقیقه و دمای محلول ٤۵ درجه سانتی‌گراد بود که نشان دهنده تأثیر معنی دار زمان و دمای فرآیند اسمز و غلظت محلول اسمزی بر تغییرات بریکس نمونه‌ها می‌باشد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که، بالاترین مقدار امتیاز بافت (۸/۸۵) و مطلوبیت رنگ (۸/٤٦) مربوط به نمونه‌های تولیدی در محدوده زمان فرآیند اسمزی ۱٦۰-۸۵ دقیقه و دمای محلول اسمزی ۵۲/۵-٤۵ درجه سانتی‌گراد بود و با افزایش زمان و دمای فرآیند اسمز از میزان امتیاز بافتی و مطلوبیت رنگ نمونه‌ها کاسته شد. هرچه غلظت محلول اسمزی بالاتر و زمان و دمای فرآیند اسمز کمتر باشد مطلوبیت رنگ و بافتی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. خشک کردن اسمزی باعث بهبود پارامترهای کیفی (رنگ، مزه و بافت) محصول نهایی در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد. افزایش بریکس محصول حین خشک کردن اسمزی، بیانگر افزایش انتقال مولکول‌های شکر به داخل بافت نمونه‌ها می‌باشد به همین دلیل در ارزیابی حسی طعم و مزه میزان امتیاز حسی مزه با افزایش زمان و دمای فرآیند اسمز و غلظت محلول اسمزی افزایش یافت.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

۱- مقدمه

از خشک کردن مواد غذایی جهت افزایش عمر ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات استفاده می‌شود. حفظ ارزش تغذیه‌ای و قابلیت جذب آب مجدد محصول خشک‌شده به عنوان دو شاخص کیفی مهم محصول مطرح می‌باشند. در طی فرآیند خشک کردن ارزش تغذیه‌ای (خصوصاً ویتامین‌ها) و رنگ محصول کاهش می‌یابد بنابراین بیشترین تلاش محققین در جهت خشک کردن و کاهش رطوبت ماده غذایی در عین حفظ ارزش تغذیه‌ای و ظاهر محصول است بنابراین روش‌های آبگیری نظیر خشک کردن اسمزی با کم‌ترین خسارت به محصول مورد توجه می‌باشد. در فرآیند خشک کردن اسمزی، محصولات با غوطه‌وری در محلول اسمزی مناسب، آبگیری می‌شوند [۱]. فرآیندهای اسمزی به عنوان زیرمجموعه‌ای از عملیات استخراج محسوب می‌شود که طی آن رطوبت در دماهای پایین از ماده غذایی حذف می‌شود. در این فرآیند با قرار دادن مواد غذایی نظیر میوه یا سبزی در یک محلول اسمزی، دیواره طبیعی سلول‌های ماده غذایی به صورت یک غشاء نیمه تراوا عمل کرده 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 [۲-۱]. در فرآیند آبگیری اسمزی، هم‌زمان دو جریان نا همسو اتفاق می‌افتد، اول جریان آب از ماده غذایی به داخل محیط اسمزی که جریان اصلی است و جریان دوم که به علت از دست رفتن بخشی از خاصیت انتخابی غشاء سلول‌ها رخ می‌دهد و شامل ورود مقدار کمی از مواد جامد محلول در آب، از محلول اسمزی به داخل قطعات ماده غذایی است که این مواد ممکن است موجب بهبود خواص حسی، افزایش ماندگاری و ارزش تغذیه‌ای محصول شوند [٦-۳]. از آبگیری اسمزی می‌توان برای تولید محصولاتی با رطوبت متوسط (۷۰-٤۰ درصد) یا به عنوان یک پیش تیمار برای فرآیندهای خشک کردن یا انجماد استفاده کرد [۷]. خشک کردن اسمزی به علت استفاده از دماهای پایین (کمتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد) باعث حفظ بهتر رنگ، عطر و طعم و ایجاد کیفیت بالاتر در محصول نهایی می‌گردد [۱۰-۸ و ۳]. تلفیق فرآیند اسمز و هوای گرم باعث ۲۰-۳۰٪ کاهش مصرف انرژی در مقایسه با خشک کردن به تنهایی می‌شود [۱۱]. در فرآیند خشک کردن اسمزی عواملی نظیر نوع و ترکیب محلول‌های اسمزی، دمای فرآیند، شکل و اندازه قطعات ماده غذایی، هم زدن و سیرکولاسیون محلول، مدت زمان فرآیند، نسبت ماده غذایی به محلول اسمزی و ویژگی‌های ماده غذایی مؤثر هستند. با افزایش دما، به علت کاهش ویسکوزیته محلول اسمزی و افزایش ضریب انتقال جرم میزان آبگیری اسمزی افزایش می‌یابد، ولی این افزایش دما در محلول اسمزی به علت اثرات منفی بر کیفیت محصول نهایی از نظر نرم شدن، از دست دادن عطر و طعم، رنگ و همچنین ظاهر محصول دارای محدودیت می‌باشد که در مورد میوه‌ها و سبزی‌ها محدوده دمای ٤۵-۵۰ درجه سانتی‌گراد را در نظر می‌گیرند [۱۲]. اختلال در انبساط غشای پروتوپلاسمی در نتیجه تجزیه حرارتی و همچنین نازک شدن یا از بین رفتن کامل دیواره سلولی منجر به نرم شدن و از دست رفتن بافت محصول می‌شود [۱۳]. در دماهای پایین هم انحلال مواد حل شده در محلول و خصوصیات انتقال جرم به دلیل ویسکوزیته بالاتر محیط، مطلوب نخواهد بود. [١٤]. چروکیدگی بافت شاخصی است که به طور مستقیم میزان جذب مجدد آب توسط محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هرچه میزان تخریب سلولی طی فرآیند خشک کردن کمتر باشد میزان آبگیری مجدد محصول بالاتر می‌باشد [۱۵].

در زمینه خشک کردن اسمزی مطالعات زیادی صورت گرفته است که در ادامه چند مورد بحث می‌شود. تحقیقات زیادی در خصوص فرآوری سیب با خشک کردن اسمزی یا فناوری هاردل قبل از خشک کردن انجمادی یا تحت خلأ انجام 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 نیز جلوگیری نمود [١٦]. ترگانو و همکاران (۱۹۹٦) تأثیر آبگیری اسمزی قبل از فرآیند انجماد را بر ویژگی‌های بافتی و ساختمانی سیب درختی مطالعه کردند و نتایج موید تأثیر مثبت فرآیند اسمز بر ویژگی‌های بافتی و حسی محصول نهایی بود. آن‌ها همچنین بیان کردند که استفاده از دماهای بالاتر فرآیند اسمزی (۵۰ درجه سانتی‌گراد) به علت اثر تخریبی دما موجب نرم شدن و کاهش سفتی

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

بافت می‌شود [۱۷].

مختاریان و همکاران (۲۰۱٤) سینتیک خشک کردن اسمزی کدو حلوایی را با استفاده از روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی بررسی نمودند و ملاحظه کردند که شبکه عصبی مصنوعی توانایی بالاتری نسبت به روش سطح پاسخ در پیش بینی سینتیک خشک کردن اسمزی کدو حلوایی دارد درحالی‌که با استفاده از روش سطح پاسخ می‌توان به شرایط بهینه فرآیند خشک کردن اسمزی دست یافت. آن‌ها همچنین بیان نمودند که دمای فرآیند اسمزی تأثیر بیشتری بر جذب مواد جامد یا افزایش بریکس محصول نهایی نسبت به سایر پارامترهای خشک کردن اسمزی (زمان فرآیند اسمز و غلظت محلول اسمزی) دارد [۱۸].

ناسو و لینا (۲۰۰۱) به بررسی تأثیر فرآیند اسمز بر ویژگی‌های کیفی طالبی، میگو و سیب درختی در مقایسه با میوه تازه پرداختند. نتایج نشان داد سیب‌های تازه، پذیرش کلی پایین‌تری نسبت به انواع اسمز شده داشت که این می‌تواند به دلیل نفوذ قند به داخل بافت میوه باشد که باعث افزایش شیرینی و بهبود طعم محصول شده است [۱۰]. مندلا و همکاران (۲۰۰٤) ویژگی‌های کیفی قطعات سیب خشک‌شده با روش اسمز- هوای داغ تحت تأثیر غلظت‌های مختلف محلول‌های اسمزی ساکاروز و گلوکز را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که اتلاف وزن نمونه‌های تیمار شده در محلول گلوکز نسبت به نمونه‌های تیمار شده با محلول ساکاروز بیشتر بود و این نمونه‌ها در مراحل اولیه خشک کردن میزان رطوبت بیشتری را از دست دادند. همچنین در اثر استفاده از محلول اسمزی حاوی گلوکز پدیده سخت شدن پوسته بیشتر مشاهده شد [۱۹].

کلباسی و فاطمیان (۱۳۷۹) اثر دماها و غلظت‌های مختلف محلول اسمزی (ساکاروز و گلوکز به همراه نمک) را بر سینتیک تغییرات رطوبت و جذب مواد جامد محلول ورقه‌های سیب درختی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش دما و غلظت محلول اسمزی میزان جذب مواد جامد محلول روند صعودی و خطی پیدا می‌کند درحالی‌که با افزودن مقداری نمک به محلول اسمزی، میزان جذب مواد جامد میوه کاهش و اتلاف رطوبت آن افزایش می‌یابد. این محققین همچنین بیان کردند که نوع محلول اسمزی تأثیر فراوانی بر میزان آبگیری اسمزی و انتقال مواد جامد به داخل بافت میوه دارد به طوری که محلول‌های گلوکزی در غلظت برابر نسبت به محلول‌های ساکاروزی توانایی بیشتری نسبت به افزایش بریکس و کاهش رطوبت از میوه دارند. در حقیقت فشار اسمزی یک محلول به تعداد ذرات حل شده به صورت یون یا مولکول‌های آن محلول بستگی دارد و محلول‌هایی که تعداد یون‌ها و مولکول‌های بیشتری تولید می‌کنند به علت ایجاد فشار اسمزی بالاتر، قابلیت نفوذ بالاتری به داخل بافت ماده غذایی دارند که محلول گلوکزی از این لحاظ از محلول ساکاروزی برتر می‌باشد. همچنین افزایش دمای فرآیند در محلول‌های غلیظ‌تر باعث افزایش انتقال مواد جامد به داخل بافت میوه می‌شود ولی با کاهش غلظت محلول اسمزی افزایش دما موجب رقیق شدن محلول و افزایش سرعت خروج رطوبت در مقایسه با جذب مواد جامد از میوه می‌شود. این محققین در نهایت بیان کردند بهترین شرایط برای خشک کردن اسمزی سیب درختی استفاده از محلول اسمزی ۵۰ درصد ساکاروز حاوی ۱ درصد نمک کلرور سدیم و اعمال دمای فرآیند اسمزی ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد [۱۵].

صوتی و همکاران (۲۰۰۳) به بررسی تأثیر شرایط فرآیند اسمز بر آبگیری برگه هلو پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از غلظت‌های مختلف ساکاروز و گلوکز و تیمار ترکیبی آن‌ها به عنوان محلول اسمزی باعث افزایش آبگیری اسمزی برگه‌های هلو شده بود و با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان آبگیری افزایش یافت. همچنین آن‌ها نشان دادند که ساکاروز به دلیل اندازه و وزن مولکولی کمتر نسبت به گلوکز میزان فشار اسمزی بالاتر و در نتیجه میزان آبگیری بیشتری را ایجاد کرده بود. همچنین خشک کردن اسمزی با محلول گلوکز به دلیل درشت بودن مولکول‌های گلوکز منجر به جذب مواد جامد کمتری در مقایسه با محلول ساکاروز شده بود [۲۰]. در مجموع با توجه به مزایای روش خشک کردن اسمزی و عوامل موثر بر فرآیند اسمز، این مطالعه با هدف بررسی و بهینه‌سازی شرایط موثر بر انتقال جرم، باز جذب مجدد آب، خواص کیفی و حسی ورقه‌های نازک سیب درختی طی خشک کردن اسمزی انجام شد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی مواد اولیه

در این تحقیق، سیب درختی رقم گلدن دلیشز[1] به صورت فله‌ای از بازار محلی (کرمانشاه) خریداری و پس از انتقال به آزمایشگاه و شستشو تا قبل از انجام آزمایشات در یخچال نگهداری شد. محلول‌های اسمزی به کار رفته در این پژوهش با انحلال شکر در آب مقطر تهیه شدند. نسبت وزنی سیب درختی به محلول اسمزی ۱:۱۰ بود. پیش از انجام هر آزمایش محلول‌ها در حمام آب (شیمی فن، ایران) قرار داده می‌شد و پس از رسیدن به دمای مورد نظر نمونه‌های سیب در آن غوطه‌ور شد. در حین انجام فرآیند اسمز، دمای محلول‌ها با استفاده از دماسنج کنترل شد. نمونه‌ها پس از شستشو، پوست گیری و هسته گیری به صورت برش‌های مکعبی شکل با ضخامت‌های ۵ میلی‌متر تهیه شدند. سپس نمونه‌ها به وسیله ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم برای بررسی رطوبت اولیه توزین و بریکس نمونه‌ها به وسیله رفراکتومتر تعیین گردید.

۲-۲- فرآیند خشک کردن اسمزی

محلول اسمزی ساکاروز با غلظت‌های مختلف (۰، ۳۰ و ٦۰ درصد وزنی-وزنی) تهیه شده و پس از رسیدن به دماهای مختلف (٤۵، ۵۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد)، ورقه‌های سیب درختی در این محلول‌ها غوطه‌ور می‌شد. سپس نمونه‌ها در زمان‌های متوالی (٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه) از محلول خارج شده و پس از شستشوی سطحی و خشک کردن سطح آن‌ها، توزین شدند. بریکس و رطوبت نهایی محصول اسمز شده نیز محاسبه و ثبت شد. در این مطالعه محدوده متغیرهای مستقل بر اساس بررسی منابع و پیش آزمون‌هایی که قبل از شروع مطالعه انجام گرفت انتخاب گردید. لازم به ذکر است که در هر یک از محدوده‌های انتخاب شده، حفظ خواص کیفی محصول به لحاظ ظاهر، رنگ و نیز رسیدن به رطوبت تعادلی به عنوان ضوابط مهم فرآیند در نظر گرفته شد. به عنوان مثال بعد از زمان ۱۸۰ دقیقه (زمان رسیدن به رطوبت تعادلی) انتقال جرم و رطوبت در محصول بسیار ناچیز و ثابت بود و این زمان به عنوان زمان پایان فرآیند اسمزی در نظر گرفته شد. همچنین استفاده از دماهای بالاتر از ۵۵ درجه سانتی‌گراد نیز در پیش آزمون‌ها بررسی و مطالعه شد اما به علت اثرات منفی (تخریب و نرم شدن) دماهای بالاتر از ۵۵ درجه سانتی‌گراد روی بافت محصول، حد نهایی دمای فرآیند اسمزی ۵۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. غلظت صفر محلول اسمزی به عنوان تیمار شاهد و مقایسه کیفیت محصول تولیدی حاصل از خشک کردن اسمزی با این تیمار (شاهد) انتخاب شد. همچنین با توجه به اینکه در غلظت‌های بالاتر از ٦۰ درصد ساکاروز عملاً تغییرات رطوبت تفاوت چندانی با غلظت ٦۰ درصد نداشت ولی به لحاظ اقتصادی باعث افزایش هزینه‌های فرآیند می‌شد، غلظت ٦۰ درصد به عنوان غلظت نهایی محلول اسمزی در نظر گرفته شد.

۲-۳- آزمایشات انجام شده روی محصول خشک شده

۲-۳-۱- اندازه‌گیری رطوبت

مقدار مشخصی از نمونه‌ها توزین و پس از قرارگیری در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند (استاندارد ملی ایران، ٦۷۲). مقدار رطوبت از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد رطوبت} = M_1 - M_2 / M_1 \times 100$$

که M_1 و M_2 به ترتیب وزن نمونه‌ها قبل و بعد از آون گذاری می‌باشد.

۲-۳-۲- اندازه‌گیری بریکس

بریکس نمونه‌ها با استفاده از رفراکتومتر اندازه‌گیری شد. برای این کار مقداری از عصاره نمونه‌های مورد نظر روی رفراکتومتر ریخته و مقدار بریکس آن اندازه‌گیری شد.

۲-۳-۳- باز جذب آب نمونه‌های خشک‌شده

قدرت آبگیری مجدد نمونه‌های خشک‌شده به وسیله غوطه‌وری ۵ گرم از نمونه‌های خشک‌شده در آب مقطر با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و انجام توزین‌های پی در پی با فواصل زمانی ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه ارزیابی شدند. لازم به ذکر است که پس از زمان ۱۸۰ دقیقه میزان باز جذب آب نمونه‌ها تقریباً ثابت می‌شد و این زمان به عنوان زمان نهایی فرآیند باز جذب آب (رسیدن به رطوبت تعادلی) انتخاب شد.

۲-۳-٤- ارزیابی خصوصیات حسی

ارزیابی حسی محصول خشک شده نهایی بر مبنای مقیاس امتیازدهی انجام شد. به این منظور نمونه‌ها کد گذاری شده و در اختیار ۱۲ نفر ارزیاب آموزش‌دیده قرار گرفتند. از ارزیاب‌ها

1. Golden delicious

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

خواسته شد که نمونه‌ها را از نظر رنگ، مزه و بافت بین ۱ تا ۱۰ امتیازدهی کنند که هرچه امتیاز بالاتر باشد بیانگر مطلوبیت بیشتر نمونه است.

۲-٤- تجزیه و تحلیل آماری و رسم نمودار

بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن اسمزی ورقه‌های سیب درختی با استفاده از روش سطح پاسخ انجام شد به این منظور طرح مرکب مرکزی (CCD[2]) با ۳ سطح و ۵ تکرار در نقطه مرکزی مورد استفاده قرار گرفت و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Design Expert (6.0.2)[3] انجام گرفت. در خشک کردن اسمزی متغیرهای مستقل دمای محلول اسمزی (X_1)، زمان فرآیند خشک کردن اسمزی (X_2) و غلظت محلول اسمزی (X_3) با استفاده از آزمون‌های اولیه و در نظر گرفتن رسیدن به رطوبت تعادلی و حفظ خواص کیفی و حسی محصول تولیدی استنتاج گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغییرات وزن و بریکس ورقه‌های ۵ میلی‌متری سیب درختی پس از خشک کردن اسمزی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر پارامترهای مختلف (زمان فرآیند اسمز، غلظت و دمای محلول اسمزی) بر تغییرات وزن و بریکس ورقه‌های سیب درختی پس از فرآیند خشک کردن اسمزی در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود دما و زمان فرآیند اسمزی تأثیر معنی داری بر میزان تغییرات وزن ورقه‌های سیب درختی پس از خشک کردن اسمزی دارند درحالی‌که تأثیر غلظت محلول اسمزی روی تغییرات وزن محصول معنی دار نمی‌باشد. اما غلظت محلول اسمزی در ترکیب با دما و زمان فرآیند اسمزی اثر تشدید کننده همدیگر را داشته و تأثیر معنی داری روی تغییرات وزن محصول پس از اسمز دارند (جدول ۱).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که هر سه عامل غلظت محلول اسمزی، زمان و دمای فرآیند اسمز تأثیر معنی داری بر تغییرات بریکس ورقه‌های سیب درختی پس از فرآیند خشک کردن اسمزی داشتند (جدول ۱). اما تنها اثر متقابل زمان فرآیند اسمز و غلظت محلول اسمزی موجب تغییرات معنی دار میزان بریکس محصول شد درحالی‌که اثرات درجه دوم این پارامترها و اثرات متقابل زمان- دمای فرآیند اسمز و دما- غلظت محلول اسمزی بر میزان بریکس ورقه‌های سیب درختی پس از فرآیند خشک کردن اسمزی معنی دار نبود.

روند تغییرات وزن و بریکس نمونه‌ها پس از خشک کردن اسمزی تحت تأثیر پارامترهای مختلف (زمان فرآیند اسمز، غلظت و دمای محلول اسمزی) در شکل ۱ ارائه شده است. همان طور که در بخش الف شکل ۱ مشاهده می‌شود در زمان ثابت فرآیند اسمزی با افزایش دمای فرآیند اسمزی میزان وزن نمونه‌ها روند ثابت و نزولی دارد. همچنین در دمای ثابت فرآیند اسمزی با افزایش زمان اسمز، میزان وزن نمونه‌ها روند صعودی را طی می‌کند که می‌تواند ناشی از افزایش انتقال مواد جامد از محلول‌های اسمزی به داخل بافت نمونه باشد [۱۵]. کاهش وزن نمونه‌ها در اثر افزایش دمای فرآیند اسمز (زمان اسمز ثابت) می‌تواند به علت تأثیر دما در افزایش اندازه منافذ بافت و افزایش سرعت خروج مواد جامد از ورقه‌های سیب درختی باشد که با نتایج کلباسی و فاطمی (۱۳۷۹) و صوتی و همکاران (۲۰۰۳) هم‌خوانی داشت [۱۵ و ۲۰]. بالاترین و پایین‌ترین مقدار وزن نمونه‌ها پس از فرآیند اسمز به ترتیب ۰/۸۸٦۹ و ۰/٦۱٥٤ بود که در محدوده زمان فرآیند اسمزی بالاتر از ۱۷۰ دقیقه و دماهای ٥٢/٥-٤٥ درجه سانتی‌گراد و محدوده زمان فرآیند اسمزی کم‌تر از ۱۲۰ دقیقه و محدوده دمای فرآیند اسمزی ٥٥-٥۱ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. کلباسی و فاطمیان (۱۳۷۹) بیان داشتند که در غلظت‌های پایین محلول اسمزی، افزایش زمان فرآیند اسمزی منجر به افزایش بریکس و مواد جامد محلول محصول می‌شود درحالی‌که در محلول‌های اسمزی غلیظ‌تر، افزایش دمای فرآیند باعث افزایش انتقال مواد جامد به داخل بافت میوه می‌شود ولی با کاهش غلظت محلول اسمزی افزایش دما موجب رقیق شدن محلول و افزایش سرعت خروج رطوبت در مقایسه با جذب مواد جامد از میوه می‌شود [۱۵]. همان طور که در شکل ۱ ب ملاحظه می‌شود با افزایش دمای محلول اسمزی میزان وزن نمونه‌ها روند نزولی دارد که این امر در غلظت‌های پایین محلول اسمزی شدیدتر نیز می‌باشد. درحالی‌که در غلظت‌های بالای محلول اسمزی با افزایش دمای محلول اسمزی، تغییرات وزن نمونه‌ها روند تقریباً ثابتی دارد. همچنین در دماهای پایین

2 .Central Composite Design
3. Design Expert, 6.0.2 Trial, Stat-Ease Inc

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]
[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

فرآیند اسمز با افزایش غلظت محلول اسمزی وزن نمونه‌ها روند نزولی دارد که به علت پدیده اسمز و خروج رطوبت از نمونه‌ها می‌باشد درحالی‌که در دماهای بالاتر فرآیند اسمز با افزایش غلظت محلول اسمزی، وزن نمونه‌ها افزایش می‌یابد که این امر به علت تأثیر دماهای بالا بر باز شدن منافذ سلولی و تسهیل ورود مواد جامد از محلول اسمزی به بافت نمونه می‌باشد که با نتایج کلباسی و فاطمیان (۱۳۷۹) مطابقت داشت [۱۵]. در شکل ۱ ج مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی میزان وزن نمونه‌های تیمار شده افزایش می‌یابد که به علت تسهیل شرایط انتقال مواد جامد از محلول اسمزی به بافت ورقه‌های سیب درختی می‌باشد. پایین‌ترین میزان وزن نمونه‌ها در زمان اسمز ۸۰-۶۰ دقیقه و غلظت ۲۰-۰٪ ساکاروز مشاهده شد (۰/۶۱۵٤). همان‌طور که در شکل ۱ (الف تا ج) مشاهده می‌شود زمان فرآیند اسمزی و غلظت محلول اسمزی به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین تأثیر را بر میزان تغییرات وزن ورقه‌های سیب درختی طی فرآیند اسمز دارا می‌باشند.

همان طور که در بخش د مشاهده می‌شود زمان فرآیند اسمزی و دمای محلول اسمزی تأثیر معنی‌داری بر بریکس ورقه‌های سیب درختی دارند به طوری که با افزایش زمان فرآیند اسمزی، مقدار بریکس نمونه‌ها روند صعودی دارد. بالاترین مقدار بریکس در فرآیند اسمز با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۸۰ دقیقه مشاهده شد (۳۰/۵۷۳۵) درحالی‌که پایین‌ترین مقدار بریکس مربوط به زمان فرآیند اسمزی ٦۰ دقیقه و دمای محلول اسمزی ٤۵ درجه سانتی‌گراد بود در حقیقت افزایش دمای فرآیند اسمز موجب باز شدن منافذ سلولی و تسهیل ورود مواد جامد از محلول اسمزی به بافت نمونه می‌شود و در این حالت هرچه زمان فرآیند اسمزی طولانی‌تر شود فرصت کافی برای نفوذ حداکثری مواد جامد به داخل بافت میوه فراهم می‌شود که با نتایج محققینی نظیر کلباسی و فاطمیان (۱۳۷۹)، صوتی و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت داشت [۱۵ و ۲۰]. با توجه به اینکه شیب تغییرات بریکس نمونه‌ها با تغییرات زمان فرآیند اسمزی بیشتر از شیب تغییرات بریکس با دمای فرآیند اسمزی است می‌توان نتیجه گرفت که زمان فرآیند اسمزی تأثیر بیشتری بر میزان بریکس محصول نسبت به دمای فرآیند اسمز دارد.

در بخش ه شکل ۱ اثر هم‌زمان دما و غلظت محلول اسمزی بر مقدار بریکس ورقه‌های سیب درختی خشک‌شده مشاهده می‌شود. همان طور که ملاحظه می‌شود غلظت محلول اسمزی تأثیر بیشتری در افزایش بریکس محصول نهایی نسبت به دمای محلول اسمزی دارد. در حقیقت با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان ماده جامد بیشتری در اثر فرآیند اسمز به داخل بافت محصول نفوذ می‌کند که با افزایش دمای محلول اسمزی آهنگ انتقال جرم تشدید می‌شود به طوری که بالاترین مقدار بریکس (۳۷/۲۵۸۲٪) در ورقه‌های سیب درختی خشک‌شده در محلول ساکاروز با غلظت ٦۰٪ و دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. کلباسی و فاطمیان (۱۳۷۹) افزایش انتقال مواد جامد به داخل بافت میوه را به نقش دمای فرآیند در باز شدن منافذ سلولی و از دست رفتن خاصیت نیمه تراوایی غشاء سلولی مرتبط دانستند [۱۵]. همان طور که از شکل ۱ ی ملاحظه می‌شود 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. غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی تأثیر سینرژیست بر همدیگر داشته و باعث تشدید اثر همدیگر روی بریکس محصول می‌شوند البته با توجه به شیب بیشتر تغییرات بریکس نمونه‌ها با تغییرات زمان فرآیند اسمزی نسبت به تغییرات غلظت محلول اسمزی می‌توان نتیجه گرفت که زمان فرآیند اسمز تأثیر بیشتری نسبت به غلظت محلول اسمزی بر تغییرات بریکس محصول دارد. همان طور که ملاحظه می‌شود بالاترین مقدار بریکس (۳۹/٦۹۱٦٪) در نمونه‌هایی که به مدت ۱۸۰ دقیقه در محلول ساکاروز با غلظت ٦۰٪ غوطه ور شده بودند، مشاهده گردید.

۳-۲- تغییرات مقدار رطوبت و ارزیابی حسی بافت ورقه‌های ۵ میلی‌متری سیب درختی پس از خشک کردن اسمزی

منحنی‌های دو بعدی (کانتور) تغییرات مقدار رطوبت نمونه‌های سیب خشک‌شده اسمزی تحت شرایط مختلف فرآیند (زمان فرآیند اسمزی، غلظت و دمای محلول اسمزی) در شکل ۲ ارائه شده است. همان طور که از شکل ۲ الف ملاحظه می‌شود در دمای ثابت محلول اسمزی با افزایش زمان فرآیند اسمزی از میزان رطوبت نمونه‌ها کاسته می‌شود که می‌تواند ناشی از خروج رطوبت از بافت ماده غذایی تحت تأثیر شیب غلظت

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

باشد. حرکت آب از محیط‌های رقیق به سمت محیط‌های غلیظ به راحتی صورت می‌گیرد (پدیده انتشار) [۲-۱]. همچنین در زمان‌های ثابت فرآیند اسمزی با افزایش دمای محلول اسمزی، مقدار رطوبت نمونه‌ها روند تقریباً ثابت و نزولی آهسته‌ای دارد. بالاترین مقدار رطوبت (۷۷/۵۷۹۵٪) در نمونه‌های تولیدشده تحت شرایط زمان فرآیند اسمزی کم‌تر از ۷۵ دقیقه و دمای محلول اسمزی کم‌تر از ۵۲/۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. منحنی سه بعدی تأثیر هم‌زمان غلظت و دمای محلول اسمزی بر میزان رطوبت محصول تولیدی در شکل ۲ ب ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود در دمای ثابت با افزایش غلظت محلول اسمزی تا ٤٥٪ میزان رطوبت نمونه‌ها روند صعودی دارد درحالی‌که با افزایش غلظت محلول اسمزی تا بریکس ٦٠٪ میزان رطوبت نمونه‌ها کاهش می‌یابد که می‌تواند به علت جذب مواد جامد از محلول اسمزی توسط محصول باشد که با نتایج تغییرات بریکس محصول مطابقت دارد. کلباسی و فاطمیان (۱۳۷۹) بیان داشتند که با کاهش غلظت محلول اسمزی، افزایش دمای محلول موجب رقیق شدن محلول و افزایش سرعت خروج رطوبت در مقایسه با جذب مواد جامد از میوه می‌شود اما در غلظت‌های بالاتر محلول اسمزی افزایش دما موجب کاهش رطوبت محصول و افزایش بریکس آن می‌شود که با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد [۱۵]. همچنین در غلظت ثابت محلول اسمزی با افزایش دمای محلول اسمزی میزان رطوبت محصول روند تقریباً ثابت و توأم با افزایش را دنبال می‌کند. منحنی سه بعدی تغییرات مقدار رطوبت ورقه‌های سیب درختی تحت تأثیر هم‌زمان غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی در شکل ۲ ج ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود در زمان ثابت فرآیند اسمزی با افزایش غلظت محلول اسمزی تا ٤٥٪ مقدار رطوبت نمونه‌ها روند افزایشی و سپس با افزایش غلظت محلول اسمزی منحنی رطوبت نمونه‌ها روند نزولی به خود می‌گیرد درحالی‌که با افزایش زمان فرآیند اسمزی منحنی رطوبت ماده غذایی روند نزولی آهسته‌ای دارد که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر غلظت محلول اسمزی بر میزان رطوبت محصول در مقایسه با زمان فرآیند اسمزی دارد. در حقیقت در محلول‌های غلیظ‌تر با افزایش زمان فرآیند اسمز میزان جذب مواد جامد (بریکس) محصول افزایش می‌یابد ولی در محلول‌های اسمزی رقیق‌تر، افزایش زمان فرآیند اسمز باعث خروج بیشتر رطوبت از بافت محصول می‌شود که با نتایج سایر محققین مطابقت داشت [۱۵]. همان‌طور که تغییرات میزان رطوبت محصول نشان داد هر سه پارامتر زمان فرآیند اسمز، غلظت و دمای محلول اسمزی، همچنین اثرات درجه دوم غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی تأثیر معنی داری بر میزان تغییرات رطوبت ورقه‌های سیب درختی پس از فرآیند اسمز داشتند (جدول ۱). اما اثرات متقابل این پارامترها بر میزان رطوبت ورقه‌های سیب درختی پس از فرآیند خشک کردن اسمزی تأثیر معنی داری نداشت.

نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت محلول اسمزی، زمان و دمای فرآیند اسمزی بر تغییرات بافت نمونه‌های سیب نشان داد که هر سه عامل و اثرات درجه دوم آن‌ها تأثیر معنی داری بر میزان تغییرات امتیاز حسی بافت محصول پس از خشک کردن اسمزی داشت درحالی‌که اثرات متقابل این پارامترها تأثیر معنی داری بر کیفیت بافتی محصول تولیدی نداشت (جدول ۱). منحنی سه بعدی روند تغییرات بافت ورقه‌های سیب درختی خشک‌شده تحت شرایط هم‌زمان دمای محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمز در شکل ۲ د ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود در دمای ثابت محلول اسمزی با افزایش زمان فرآیند اسمزی تا ۱۵۰ دقیقه میزان امتیاز بافتی نمونه‌های نهایی روند صعودی دارد درحالی‌که با افزایش زمان فرآیند اسمزی از ۱۵۰ تا ۱۸۰ دقیقه از میزان امتیاز بافتی محصول نهایی کاسته شد که می‌تواند به علت آبگیری بیش از حد نمونه‌ها و سفتی بافت محصول تولیدی باشد. همچنین در زمان فرآیند اسمزی ثابت با افزایش دمای محلول اسمزی امتیاز بافتی نمونه‌های نهایی روند نزولی آهسته‌ای را طی نمود که می‌تواند به علت نقش دماهای بالا در افزایش میزان انتقال جرم به داخل بافت ورقه‌های سیب درختی و خروج آب از آن و در نتیجه سفت شدن بافت نمونه‌های خشک‌شده باشد که با نتایج مختاریان و همکاران (۲۰۱٤) مطابقت داشت [۱۸]. بالاترین مقدار امتیاز بافتی نمونه‌ها (۸/۸۵۲٦) در محدوده زمان فرآیند اسمزی ۱۵۰-۹۰ دقیقه و دمای محلول اسمزی ۵۲/۵-٤٥ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. منحنی دو بعدی (کانتور) تغییرات بافت محصول نهایی تحت تأثیر هم‌زمان غلظت و دمای محلول اسمزی در شکل ۲ ه ارائه شده است. همان طور که ملاحظه

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

می‌شود با افزایش غلظت محلول اسمزی تا ۵۰٪ میزان امتیاز بافتی نمونه‌ها روند نزولی پیدا می‌کند و سپس با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان امتیاز بافتی نمونه‌ها افزایش آهسته‌ای دارد. در غلظت‌های پایین محلول اسمزی با افزایش دمای فرآیند اسمز میزان امتیاز بافتی نمونه‌ها بهبود یافت که این امر می‌تواند به علت افزایش میزان آبگیری اسمزی به علت افزایش دما در غلظت‌های پایین محلول اسمزی باشد درحالی‌که در غلظت‌های بالای محلول اسمزی با افزایش دمای محلول اسمزی میزان امتیاز بافتی نمونه‌ها روند ثابت و نزولی آهسته‌ای دارد. در غلظت‌های بالا با افزایش دمای محلول اسمزی میزان انتقال جرم به داخل بافت محصول افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند باعث سفت شدن بیش از حد بافت محصول و کاهش امتیاز بافتی آن طی ارزیابی حسی شود. همچنین اختلال در انبساط غشای پروتوپلاسمی در نتیجه تجزیه حرارتی و نازک شدن یا از بین رفتن کامل دیواره سلولی می‌تواند منجر به نرم شدن و کاهش امتیاز بافتی محصول شود [۱۳].

در شکل ۲ ی منحنی دو بعدی (کانتور) تغییرات امتیاز بافت محصول نهایی تحت تأثیر هم‌زمان غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمز ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود با افزایش غلظت محلول اسمزی امتیاز بافتی نمونه‌ها روند افزایشی تقریباً ثابت و آهسته‌ای داشت ولی با افزایش زمان فرآیند اسمزی تا ۱۵۰ دقیقه امتیاز بافتی نمونه‌ها افزایش و سپس با افزایش زمان فرآیند اسمزی، از میزان امتیاز بافتی نمونه‌ها کاسته شد که روندی مشابه با تغییر امتیاز بافتی نمونه‌ها تحت تأثیر هم‌زمان دما و زمان فرآیند اسمزی دارد. در حقیقت در شرایط اسمزی شدید (غلظت و دمای بالای محلول اسمزی) با افزایش زمان فرآیند اسمزی بالاتر از ۱۵۰ دقیقه به علت تأثیر دما در تخریب منافذ سلولی و از بین رفتن خاصیت انتقال فعال و نیمه تراوایی غشا مواد جامد بالاتری جذب بافت شده و از این جهت سفتی بافت افزایش می‌یابد اما خود افزایش دما هم باعث نرم شدن و تغییر شکل بافت میوه و در نتیجه کاهش امتیاز بافتی کسب شده در حین ارزیابی حسی محصول می‌شود [۱۵، ۱۸، ۲۰].

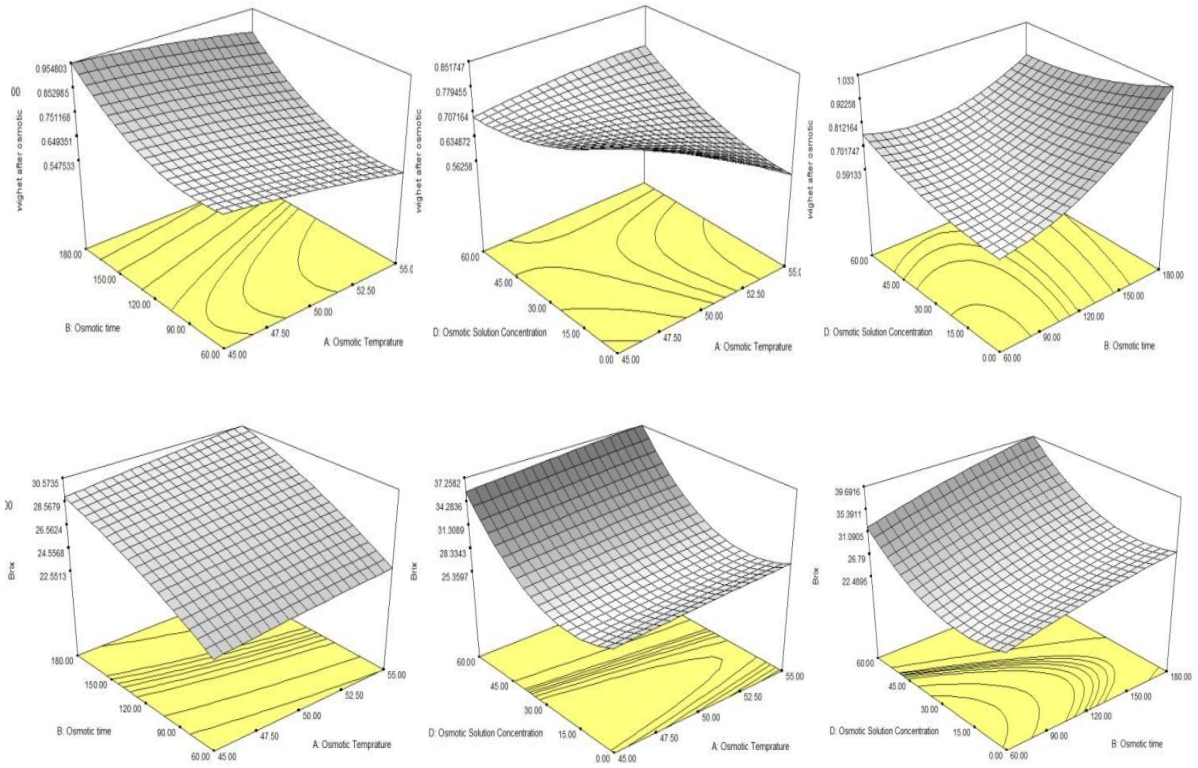

Fig 1 3D surface of the simultaneous effect of different osmotic processing conditions (Osmotic solution temprature and concentration and osmotic process duration) on the a) weight and b) brix of apple fruit slices

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

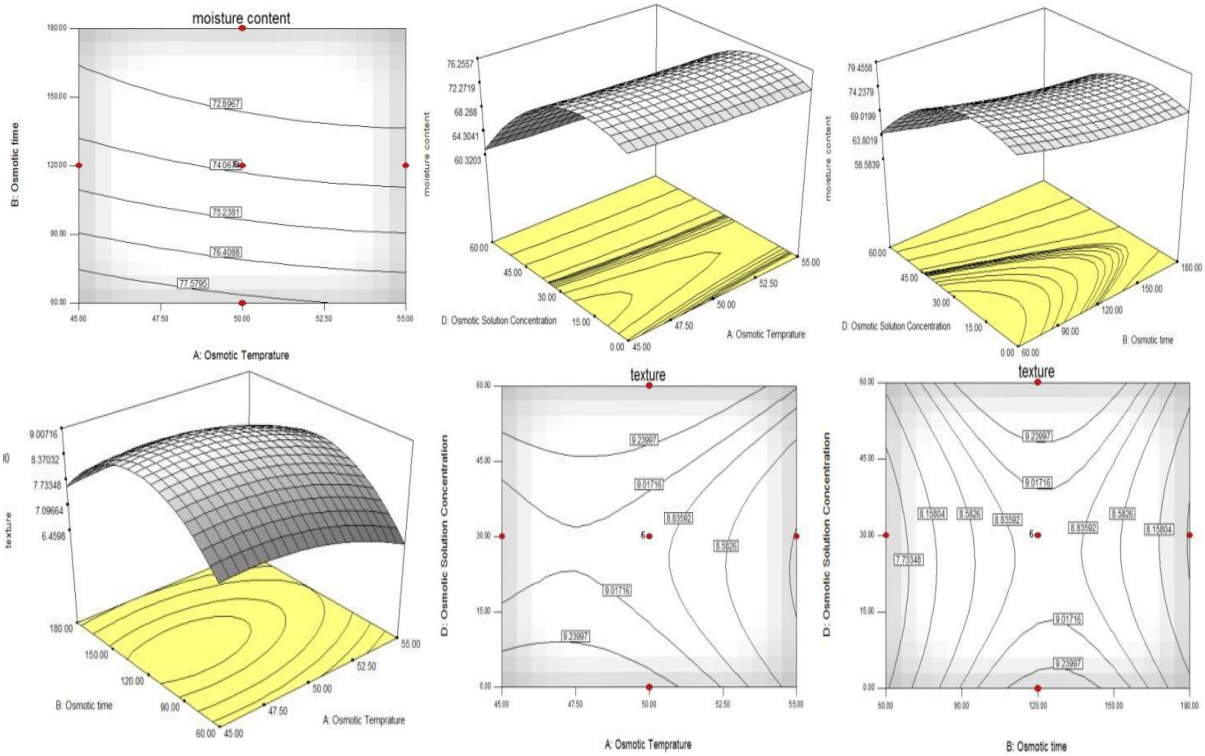

Fig 2 3D surface of the simultaneous effect of different osmotic processing conditions (Osmotic solution temprature and concentration and osmotic process duration) on the a) moisture content and b) textural sensory score of apple fruit slices

۳-۳- ارزیابی حسی رنگ و مزه ورقه‌های ۵ میلی‌متری سیب درختی پس از خشک کردن اسمزی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر پارامترهای مختلف (غلظت محلول اسمزی، زمان و دمای محلول اسمزی) بر تغییرات امتیاز حسی رنگ و مزه محصول تولیدی پس از فرآیند خشک کردن اسمزی در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود دما و زمان فرآیند اسمزی تأثیر معنی داری بر مطلوبیت رنگ ورقه‌های سیب درختی پس از خشک کردن اسمزی دارند درحالی‌که تأثیر غلظت محلول اسمزی روی امتیاز حسی رنگ محصول معنی دار نمی‌باشد. اما در ارتباط با تأثیر پارامترهای خشک کردن اسمزی بر امتیاز حسی مزه نمونه‌ها مشخص شد که زمان فرآیند اسمزی و غلظت محلول اسمزی تأثیر معنی داری بر میزان امتیاز حسی کسب شده برای شاخص مزه محصول دارند درحالی‌که دمای فرآیند اسمزی تأثیر معنی داری بر مزه نمونه‌ها ندارد. همچنین مشخص شد که اثر متقابل پارامترهای خشک کردن اسمزی با یکدیگر تأثیر معنی داری روی شاخص‌های حسی رنگ و مزه محصول تولیدی ندارند (جدول ۱). در شکل ۳ تأثیر هم‌زمان پارامترهای مختلف فرآیند اسمزی (زمان فرآیند اسمزی، غلظت و دمای محلول اسمزی) بر میزان تغییرات ارزیابی حسی رنگ محصول تولیدی ارائه شده است. همان طور که از شکل ۳ الف ملاحظه می‌شود در زمان فرآیند اسمزی ثابت با افزایش دمای محلول اسمزی از میزان مطلوبیت رنگ نمونه‌ها کاسته می‌شود درحالی‌که در دمای ثابت محلول اسمزی با افزایش زمان فرآیند اسمزی تا ۱۶۰ دقیقه میزان مطلوبیت رنگ نمونه‌ها روند صعودی دارد اما با افزایش زمان فرآیند اسمزی از ۱۶۰ دقیقه به بعد از میزان مطلوبیت رنگ نمونه‌ها کاسته می‌شود که می‌تواند به تشدید قهوه‌ای شدن محصول ناشی از طولانی شدن زمان فرآیند باشد. در ارزیابی حسی بالاترین میزان مطلوبیت رنگ (۸/۴۶۵) در نمونه‌های فرآیند شده در شرایط اسمزی با دمای کم‌تر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶۰-۸۵ دقیقه مشاهده شد درحالی‌که پایین‌ترین مقدار نمره رنگ (۵/۷۸۱۳۶) مربوط به نمونه‌های خشک‌شده با شرایط دمای اسمزی ۵۵-۵۲/۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۷۰-۶۰ دقیقه بود.

روند تغییرات شاخص حسی رنگ نمونه‌های تولیدی تحت تأثیر هم‌زمان دما و غلظت محلول اسمزی در شکل ۳ ب ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود در دماهای پایین محلول اسمزی با افزایش غلظت محلول اسمزی، شاخص

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

رنگی نمونه در ارزیابی حسی نمره بالاتری کسب نمودند درحالی‌که با افزایش دمای محلول اسمزی میزان مطلوبیت رنگی نمونه‌ها روند نزولی پیدا نمود. بالاترین میزان مطلوبیت رنگی (۹/۱۷۱۸٦) در نمونه‌های خشک‌شده در محلول اسمزی با غلظت ٦۰٪ ساکاروز و دمای محلول اسمزی ٤٥ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. درحالی‌که کم‌ترین میزان مطلوبیت شاخص رنگی در نمونه‌های خشک‌شده در محلول اسمزی با غلظت ٦۰٪ ساکاروز و دمای ٥٥ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. همان طور که در بخش ج شکل ۳ ملاحظه می‌شود زمان فرآیند اسمزی تأثیر بیشتری بر میزان مطلوبیت رنگ نمونه‌ها نسبت به غلظت محلول اسمزی دارد. با افزایش غلظت محلول اسمزی، میزان مطلوبیت رنگ نمونه‌ها روند ثابت و توأم با افزایش کمی داشت درحالی‌که با افزایش زمان فرآیند اسمزی تا ۱٥۰ دقیقه میزان مطلوبیت رنگ نمونه‌ها در حین ارزیابی حسی افزایش یافت. اما اعمال فرآیند اسمزی با زمان طولانی‌تر از ۱٥۰ دقیقه باعث کاهش مطلوبیت رنگی نمونه‌ها شد. غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی باعث تشدید اثر یکدیگر روی مطلوبیت رنگی نمونه‌ها شده بودند به طوری که بالاترین میزان مطلوبیت رنگی (۳/۳۹۸۸۷) در محدوده زمان فرآیند اسمزی ۱۳۰-۱۲۰ دقیقه و غلظت محلول اسمزی ٥٥-٤۰٪ ساکاروز مشاهده شد. در خشک کردن اسمزی، غوطه‌ور بودن بافت میوه در محلول اسمزی مانع تماس اکسیژن با بافت محصول می‌شود که خود همین کمبود اکسیژن باعث کندی واکنش قهوه‌ای شدن محصول شده و باعث افزایش امتیاز حسی رنگ و ظاهر محصول می‌شود اما میزان تغییرات رنگ به حدی نیست که اثر منفی نسبت به نمونه‌های شاهد ایجاد کند که با نتایج سایر محققین نیز مطابقت داشت [۲۲-۲۱].

افزایش زمان فرآیند اسمزی تا ۱٥۰ دقیقه باعث افزایش مزه محصول تولیدی شده است؛ و سپس با افزایش زمان فرآیند از ۱٥۰ تا ۱۸۰ دقیقه از میزان مزه محصول نهایی کاسته شد. همچنین در زمان فرآیند اسمزی ثابت با افزایش دمای محلول اسمزی، میزان طعم و مزه نمونه‌ها روند افزایشی ثابتی را طی نمود که می‌تواند به علت نقش دما در افزایش میزان انتقال جرم به داخل بافت ورقه‌های سیب خشک‌شده باشد (شکل ۳ د).

منحنی سه بعدی تأثیر هم‌زمان غلظت و دمای محلول اسمزی بر شاخص حسی مزه محصول در شکل ۳ ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود هر دو عامل غلظت و دمای محلول اسمزی باعث تشدید مزه محصول نهایی شده‌اند به طوری که بالاترین میزان شاخص حسی مزه (۹/۸۱۳) در محلول اسمزی با غلظت ٦۰٪ ساکاروز و محدوده دمایی بالاتر از ٥۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد.

در شکل ۳ منحنی سه بعدی تغییرات مزه محصول نهایی تحت تأثیر هم‌زمان غلظت محلول اسمزی و زمان فرآیند اسمزی ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان مطلوبیت مزه نمونه‌ها افزایش می‌یابد ولی با افزایش زمان فرآیند اسمزی تا ۱۳۰ دقیقه مطلوبیت مزه و طعم نمونه‌ها افزایش یافت و سپس با افزایش زمان فرآیند اسمزی، میزان مطلوبیت مزه نمونه‌ها کاهش می‌یابد. بالاترین میزان امتیاز مزه (۹/۸۲٤) در نمونه‌هایی مشاهده شد که به مدت ۱۲۰ دقیقه در محلول ٦۰٪ ساکاروز آبگیری شده بودند.

همان‌طور که مشاهده شد به طور کلی در زمان‌های فرآیند اسمزی کمتر از ۱۲۰ دقیقه و دماهای کمتر از ٥٥ درجه سانتی‌گراد و یا غلظت‌های بالاتر محلول اسمزی، میزان امتیاز حسی کسب شده برای شاخص مزه افزایش یافت اما با افزایش زمان فرآیند اسمزی از میزان امتیاز حسی کسب شده برای مزه کاسته می‌شد که می‌تواند ناشی از عدم اتلاف ترکیبات آروما در زمان‌های اسمزی کمتر از ۱۲۰ دقیقه و اتلاف آن در شرایط طولانی‌تر فرآیند اسمزی باشد. در مورد نتایج ارزیابی حسی مزه بایستی به این نکته اشاره نمود که علی رغم آموزش ارزیاب‌ها با مفهوم مزه (جهت اندازه گیری صرفاً فاکتور مزه) محصول که معیاری از میزان شیرینی می‌باشد منتهی با توجه به ارتباط و نزدیکی طعم و آروما با مزه احتمالاً در زمان‌های طولانی‌تر فرآیند اسمزی (بالاتر از ۱۲۰ دقیقه) به علت خروج مواد فرار عطر و طعمی و اتلاف آروما میزان بازخورد ارزیاب‌ها نسبت به شاخص طعم کاهش یافته و میزان امتیاز حسی کمتری را به مزه محصول داده‌اند.

۳-٤- بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن اسمزی ورقه‌های ٥ میلی‌متری سیب درختی

جدول ۲ شرایط تعیین‌شده برای متغیرهای مستقل (جهت بهینه‌سازی خشک کردن اسمزی ورقه‌های ٥ میلی‌متری سیب درختی) و شرایط بهینه را نشان می‌دهد. متغیرهای مستقل (زمان فرآیند اسمزی، غلظت و دمای محلول اسمزی) در محدوده انتخاب‌شده در نظر گرفته شده است. همچنین

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

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 جدول ۲ ارائه شده است که هرچه مطلوبیت بالاتر و به ۱ 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 خشک کردن اسمزی در شرایطی که غلظت ساکاروز در محلول اسمزی ٦٠٪ باشد و دما و زمان خشک کردن اسمزی به ترتیب ٥٠/٦٧ درجه سانتی‌گراد و ١٤٤/٧٦ دقیقه باشد می‌توان به محصولی با کیفیت مناسب از نظر رنگ، بافت، مزه و مقدار ماده جامد محلول کل رسید.

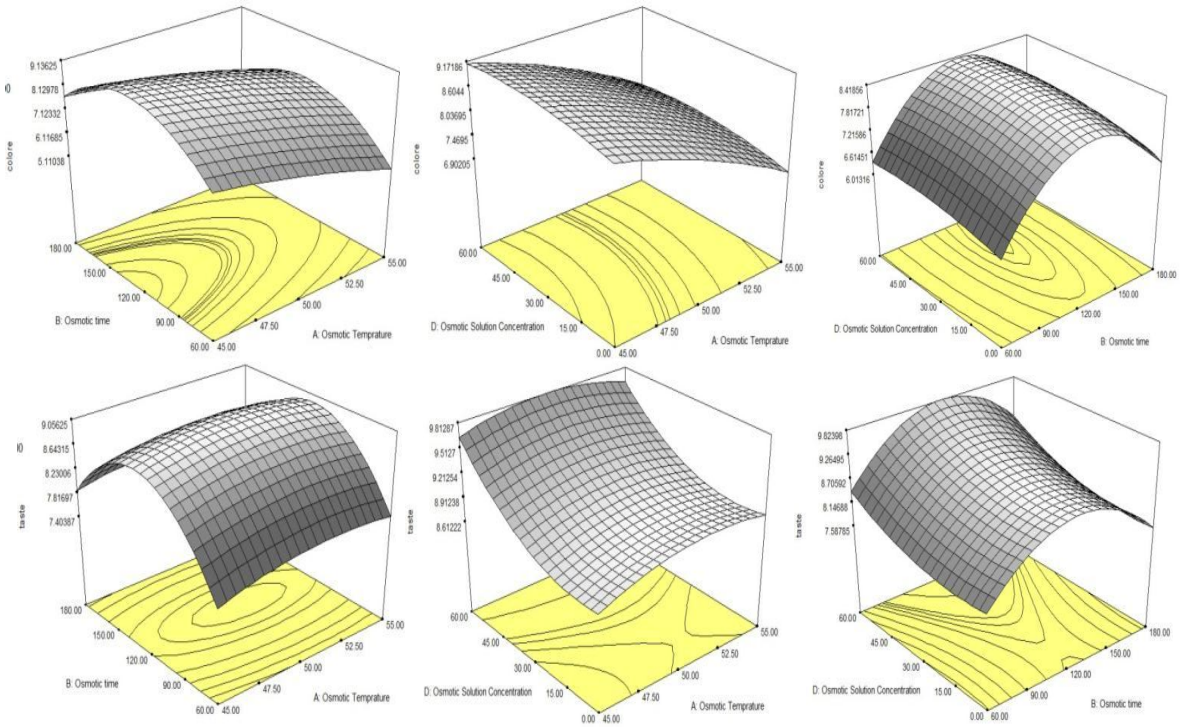

Fig 3 3D surface of the simultaneous effect of different osmotic processing conditions (Osmotic solution temprature and concentration and osmotic process duration) on the a) color and b) taste sensory score of apple fruit slices during sensory evaluation

Table 1 Analysis variance of regression coefficients of predicted quadratic polynomial models for predicting different quality attributes of osmotic dried apple fruit slices

Quality attributes	Source	DF	Sum of squares	Mean of squares	F-Value	p-Value	Coefficient	Coefficient of determination (R^2)
Weight after osmotic process	Model	9	1.962109	0.140151	22.57552	< 0.0001	0.681316	0.9547
	X1	1	0.0722	0.0722	11.63	0.0039	-0.06333	
	X2	1	0.34445	0.34445	55.48414	< 0.0001	0.138333	
	X3	1	8.89E-05	8.89E-05	0.014318	0.9063	0.002222	
	X1 × X1	1	0.000312	0.000312	0.050177	0.8258	-0.01096	
	X2 × X2	1	0.02291	0.02291	3.690411	0.0739	0.094035	
	X3 × X3	1	0.003948	0.003948	0.635924	0.4376	0.039035	
	X1 × X2	1	0.002025	0.002025	0.326188	0.5764	0.01125	
	X1 × X3	1	0.105625	0.105625	17.01412	0.0009	0.08125	
	X2 × X3	1	0.1089	0.1089	17.54166	0.0008	-0.0825	
	Residual	10	0.093121	0.006208				
	Lack of fit	5	0.091438	0.009144	27.15976	0.0010		
	Pure error	5	0.001683	0.000337				
	Total	19	2.05523					

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

Brix	Model	9	705.9575	50.42553	433.6553	< 0.0001	27.15351	0.9975
	X1	1	9.827222	9.827222	84.51328	< 0.0001	0.738889	
	X2	1	192.7339	192.7339	1657.495	< 0.0001	3.272222	
	X3	1	363.6006	363.6006	3126.934	< 0.0001	4.494444	
	X1 × X1	1	0.014067	0.014067	0.120975	0.7328	-0.07368	
	X2 × X2	1	0.852703	0.852703	7.333177	0.0162	-0.57368	
	X3 × X3	1	60.35089	60.35089	519.0125	< 0.0001	4.826316	
	X1 × X2	1	0.050625	0.050625	0.435371	0.5194	0.05625	
	X1 × X3	1	0.225625	0.225625	1.940356	0.1839	0.11875	
	X2 × X3	1	4.305625	4.305625	37.02801	< 0.0001	0.51875	
	Residual	10	705.9575	0.11628				
	Lack of fit	5	9.827222	0.163087	7.195014	0.0209		
	Pure error	5	192.7339	0.022667			-	
	Total	19	363.6006		-	-	-	
Moisture content	Model	9	1182.408	84.45771	782.0012	< 0.0001	73.91219	0.9986
	X1	1	4.982272	4.982272	46.13129	< 0.0001	-0.52611	
	X2	1	160.3841	160.3841	1485.01	< 0.0001	-2.985	
	X3	1	768.4507	768.4507	7115.151	< 0.0001	-6.53389	
	X1 × X1	1	0.12045	0.12045	1.115255	0.3077	0.215614	
	X2 × X2	1	2.466086	2.466086	22.8337	0.0002	0.975614	
	X3 × X3	1	121.0183	121.0183	1120.519	< 0.0001	-6.83439	
	X1 × X2	1	0.294306	0.294306	2.725007	0.1196	0.135625	
	X1 × X3	1	0.120756	0.120756	1.118092	0.3071	0.086875	
	X2 × X3	1	0.039006	0.039006	0.361162	0.5568	0.049375	
	Residual	10	1.62003	0.108002				
	Lack of fit	5	0.77323	0.077323	0.45656	0.8636		
	Pure error	5	0.8468	0.16936				
	Total	19	1184.028				-	

** significant at 1%, * significant at 5%, ns non significant

X1= Osmotic Temperature, X2= Osmotic time, X3= Osmotic Solution Concentration

Table 1 Continue

Quality attributes	Source	DF	Sum of squares	Mean of squares	F-Value	p-Value	Coefficient	Coefficient of determination (R^2)
Texture	Model	9	53.15496	3.796783	53.74288	< 0.0001	8.908772	0.9805
	X1	1	2.722222	2.722222	38.53264	< 0.0001	-0.38889	
	X2	1	0.5	0.5	7.077424	0.0178	0.166667	
	X3	1	0.5	0.5	7.077424	0.0178	0.166667	
	X1 × X1	1	0.382464	0.382464	5.413721	0.0344	-0.38421	
	X2 × X2	1	4.964282	4.964282	70.26866	< 0.0001	-1.38421	
	X3 × X3	1	0.982464	0.982464	13.90663	0.0020	0.615789	
	X1 × X2	1	53.15496	0.25	3.538712	0.0795	0.125	
	X1 × X3	1	2.722222	0.25	3.538712	0.0795	0.125	
	X2 × X3	1	0.5	0.25	3.538712	0.0795	-0.125	
	Residual	10	0.5	0.070647				
	Lack of fit	5	0.382464	0.078637	1.43849	0.3609		
	Pure error	5	4.964282	0.054667				
	Total	19	0.982464					
Color	Model	9	44.80013	3.200009	10.8266	< 0.0001	8.362281	0.9099
	X1	1	16.05556	16.05556	54.3208	< 0.0001	-0.94444	
	X2	1	2	2	6.766605	0.0200	0.333333	
	X3	1	0.5	0.5	1.691651	0.2130	0.166667	
	X1 × X1	1	0.078949	0.078949	0.26711	0.6128	-0.17456	
	X2 × X2	1	7.265313	7.265313	24.58075	0.0002	-1.67456	
	X3 × X3	1	0.078949	0.078949	0.26711	0.6128	-0.17456	
	X1 × X2	1	0.25	0.25	0.845826	0.3723	0.125	
	X1 × X3	1	0	0	0	1.0000	0	
	X2 × X3	1	0	0	0	1.0000	0	

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

	Residual	10	4.433538	0.295569				
	Lack of fit	5	4.278538	0.427854	13.80174	0.0048		
	Pure error	5	0.155	0.031				
	Total	19	49.23367					
Taste	Model	9	27.33523	1.952517	32.311	< 0.0001	9.048246	0.9679
	X1	1	0.055556	0.055556	0.919355	0.3528	0.055556	
	X2	1	0.5	0.5	8.274194	0.0115	0.166667	
	X3	1	3.555556	3.555556	58.83871	< 0.0001	0.444444	
	X1 × X1	1	0.083782	0.083782	1.386455	0.2574	-0.17982	
	X2 × X2	1	3.606509	3.606509	59.68191	< 0.0001	-1.17982	
	X3 × X3	1	0.2656	0.2656	4.395253	0.0534	0.320175	
	X1 × X2	1	0.0625	0.0625	1.034274	0.3253	-0.0625	
	X1 × X3	1	0.0625	0.0625	1.034274	0.3253	-0.0625	
	X2 × X3	1	0.0625	0.0625	1.034274	0.3253	0.0625	
	Residual	10	0.906433	0.060429				
	Lack of fit	5	0.698099	0.06981	1.675439	0.2961		
	Pure error	5	0.208333	0.041667				
	Total	19	28.24167					

** significant at 1%, * significant at 5%, ns non significant

X1= Osmotic Temperature, X2= Osmotic time, X3= Osmotic Solution Concentration

Table 2 The optimum conditions for apple fruit slices osmotic drying process

Constraints	Goal	Lower limit	upper limit	Lower Weight	upper Weight	Importance	Optimum condition
Osmotic solution temperature (^{0}C)	is in range	45	55	1	1	3	50.66
osmotic processing time (minutes)	is in range	60	180	1	1	3	144.64
Osmotic solution concentration (%w/w)	is in range	0	60	1	1	3	60.00
moisture content (%)	minimize	58.81	78.73	1	1	3	59.67
Brix	maximize	23	40	1	1	3	37.93
wighet after osmotic process	maximize	1	2	1	1	3	1.12
Texture score	maximize	5	10	1	1	3	8.79
Taste score	maximize	6	10	1	1	3	9.22
Colore score	maximize	5	9	1	1	3	9.09
Desirability							0.786

۳-۵- جذب آب مجدد نمونه‌های سیب درختی خشک‌شده تحت تأثیر پارامترهای مختلف خشک کردن اسمزی

نتایج مربوط به باز جذب مجدد آب نمونه‌های تولیدی در شرایط مختلف اسمزی در جدول ۳ ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود در نمونه‌های خشک شده در محلول اسمزی با ۴۰٪ ساکاروز و دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد با افزایش زمان فرآیند اسمزی میزان باز جذب آب نمونه‌های تولیدی افزایش می‌یابد ($p<۰/۰۵$). همچنین با افزایش غلظت محلول اسمزی در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد، با افزایش زمان فرآیند اسمزی میزان باز جذب آب نمونه‌های تولیدی افزایش می‌یابد ($p<۰/۰۵$). در دماهای بالای محلول اسمزی، میزان باز جذب آب نمونه‌های تولیدی با افزایش زمان فرآیند کاهش یافت که می‌تواند به علت تخریب منافذ بافتی نمونه‌ها در اثر افزایش دمای محلول اسمزی می‌باشد.

۴- نتیجه گیری کلی

امروزه تقاضای مصرف‌کننده جهت حفظ و نگهداری مواد غذایی و ارزش تغذیه‌ای آن‌ها افزایش یافته است و محققان به فکر ارائه و دست‌یابی به بهترین روش ممکن برای پاسخگویی به این نیاز هستند. خشک کردن اسمزی یکی از روش‌های افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی است. در این تحقیق تأثیر پارامترهای زمان فرآیند اسمزی، غلظت و دمای محلول اسمزی بر ویژگی‌های کیفی ورقه‌های سیب درختی طی خشک کردن اسمزی بررسی و بهینه‌سازی شد. نتایج نشان داد که غلظت محلول اسمزی، دما و زمان فرآیند اسمزی تأثیر معنی‌داری در پارامترهای مقدار رطوبت، بریکس، مقدار وزن پس از فرآیند اسمز و فاکتورهای حسی محصول تولیدی داشت. خشک کردن اسمزی باعث بهبود پارامترهای کیفی محصول نظیر

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

رنگ، طعم و بافت شد. به طور کلی در فرآیند اسمزی با افزایش دما و غلظت محلول اسمزی مقدار رطوبت ورقه‌های سیب درختی کاهش و مقدار بریکس به عنوان شاخص جذب ساکاروز افزایش می‌یابد. میزان جذب ماده جامد و حذف آب در فرآیند خشک کردن اسمزی به طور مستقیم به غلظت محلول اسمزی وابسته است و با افزایش غلظت محلول اسمزی افزایش پیدا کرد. با توجه به خصوصیات کیفی و نتایج ارزیابی حسی ورقه‌های سیب درختی دست‌یابی به شرایط بهینه فرآیند در این مطالعه امکان‌پذیر است. در نمونه‌های با ضخامت ۵ میلی‌متر با اعمال شرایطی نظیر استفاده از محلول اسمزی با غلظت ٦٠٪ ساکاروز، دمای محلول اسمزی ٥٠/٦٧ و زمان فرآیند اسمزی ١٤٤/٧٦ دقیقه بهترین محصول به لحاظ حسی و کیفی حاصل می‌شود.

Table 3 Water rehydration of apple fruit slices during osmotic drying and 180 minutes of water rehydration process

Osmotic solution temperature (^{0}C)	Osmotic solution concentration (%w/w)	osmotic drying processing time (minutes)		
		60	120	180
45	40	1.99	2.14	3.43
	60	2.04	2.27	2.69
50	40	2.1	2.09	1.96
	60	1.80	1.71	1.68
55	40	2.11	2.08	1.94
	60	1.69	1.69	1.79

۵- منابع

[1] Azuara, E., Garcia, H.S., and Beristain, C.I. 1996. Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. *Food Research International,* 29 (2):195-199.

[2] Barat, J.M., Fito, P., and Chiralt, A. 2001. Modeling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. *Journal of Food Engineering,* 49: 77-85.

[3] Delvalle, J. M., Aranguiz, V., and Leon, H. 1999. Effects of blanching and calcium infiltration on PPO activity, texture, microstructure and kinetics of osmotic dehydration of apple tissue. *Food Research International,* 31 (8): 557-569.

[4] Ertekin, F.K., and Cakaloz, T. 1996. Osmotic dehydration of peas: influence of process variables on mass transfer. *Journal of Food Processing and Preservation,* 20: 87-104.

[5] Ertekin, F.K., and cakaloz, T. 1996. Osmotic dehydration of peas: II influence of osmotic on drying behavior and product quality. *Journal of Food Processing and Preservation,* 20: 105-119.

[6] Gomes, D., Barbosa, J.L., Colato, G. and Fernando, E. M. 2004. Osmotic dehydration of a cerola fruit (malpighia punici folial). *Journal of Food Engineering,* 25: 176-183.

[7] Kar, A., and Gupta, D.K. 1001. Osmotic dehydration characteristics of button mushroom. *Journal of Food Science and Technology,* 38(4): 352-357.

[8] Moreno-Castillo, E. J., González-García, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera, M. A., and Abud-Archila, M. 2005. Water diffusivity and color of cactus pear fruits (Opuntia ficus indica (subjected to osmotic dehydration. *International Journal of Food Properties,* 8: 323- 336.

[9] Mujaffar, S., and Sankat, C. K. 2006. The mathematical modeling of the osmotic dehydration of shark fillets at different brine temperatures. *International Journal of Food Science and Technology,* 41: 405- 416.

[10] Nassu R.T, Lima J.R, and Souza Filho M. de S.M. 2001. Consumer's acceptance of fresh and combined methods processed melon, mango and cashew apple. *Revista Brasileira de Anestesiologia,* 23: 551-554.

[11] Saputra, D. 2001. Osmotic dehydration of pine apple. *Drying Technology,* 19 (2): 415-425.

[12] Oliveira, I. M., Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., Sousa, P. H. M,. Maia, G. A., and Figueiredo, W. 2006. Modeling and optimization of osmotic dehydration of banana followed by air drying. *Journal of Food Process Engineering*, 29: 400- 413.

[13] Tavakoli Pour, H. 2000. Principle and methods of food drying. Tehran, Aeej, 30-40.

[14] Lazarides, H. N., Fito, P., Chiralt, A., Gekas, V., and Lenart, A. 1998. Advances in

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

osmotic dehydration. In: Oliveira F.A.R. and Oliveira J.C. (eds.), Processing of foods: Quality optimization and process assesment. Boca Raton: CRC Press. pp. 175–200.

[15] Kalbasi, A., and Fatemian, H. 2001. Effect of osmotic dehydration properties on quality criteria of sliced golden delicious apple. *Iranian Journal of Agircultural Sciences,* 32 (4): 835-845 [in Persian].

[16] Chiralt, A., and Talens, P. 2005. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *Journal of Food Engineering,* 67: 167-177.

[17] Tregunno, N.B., and Goff, H.D.1996. Osmotic dehydro freezing of aplles : structural and textural effects. *Food Research International,* 29(5-6): 471-479.

[18] Mokhtarian, M., Heydari Majd, M., Koushki, F., Bakhshabadi, H., Daraei Garmakhany, A., and Rashidzadeh, S. 2014. Optimisation of pumpkin mass transfer kinetic during osmotic dehydration using artificial neural network and response surface methodology modelling. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods,* 6: 201-214.

[19] Mandala, I.G., Anagnostaras, E. F., Oikonomou, C. K. 2004. Influence of osmotic dehydration condition on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering,* 20 (6): 1227-1242.

[20] Souti, M., Sahari, M. A., and Emam-Djomeh, Z. 2003. An evaluation of the process affecting conditions of dehydration rate in peach slices. *Iranian Journal of Agricultural Science,* 34 (2): 283-291 [in Persian].

[21] Ponting, J. D. 1973. Osmotic dehydration of fruits- recent modifications and application. *Process Biochemistry,* 8: 18-20.

[22] Krokida, M. K., Kiranoudis, C. T., Maroulis, Z. B., and Marinos-kouris, D. 2000. Effect of pretreatment on color of dehydrated products. *Drying Technology,* 18(6): 1238-1250.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Response surface modeling of mass transfer and water rehydration phenomena of apple fruit slices during osmotic drying

Khanahmadzadeh, A. [1], Moradi, M. [2*]

1. Department of Biosystem Engineering, Sannadaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.
2. MSc graduated student, Department of Food Science and Technology, Sannadaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran.

ARTICIE INFO

Article History:

Received 2020/ 12/ 14
Accepted 2021/ 06/ 12

Keywords:

Osmotic dehydration,
Apple fruit,
Process optimization,
Brix,
Moisture content.

DOI: 10.52547/fsct.18.08.06

*Corresponding Author E-Mail:
Miladmoradi_19@yahoo.com

ABSTRACT

In this study response surface modeling was performed by using experimental data's obtained from the amount of samples weigh, moisture content and the Brix of produced samples after different condition of osmotic dehydration process including: different concentration (0-60 %w/w) of sucrose solution with different temperature (45-55 ^{0}C) and different processing time (60-180 minutes). Results showed that osmotic solution concentration and temperature and duration of osmotic process had significant effect on the amount of moisture content, Brix, the weight of sample after osmotic process and sensory attributes of final product. The highest amount of Brix (39.69%) was observed in the dried samples in osmotic solution with 60% concentration for 180 minutes, while the lowest amount of brix was related to osmotic processing time of 60 minutes and solution temperature of 45 ° C, which shows the significant effect of osmotic solution concentration and osmotic processing temperature and time on the brix changes of samples. Results of the sensory evaluation showed that, the highest amount of texture (8.85) and color (8.46) desirability score were observed in the osmotic processing time and temperature range from 45-52.5 ° C for 160-85 minutes. The amount of texture and color desirability score of the samples decreased by increasing osmotic processing time and temperature. The higher osmotic solution concentration and the lower osmotic processing time and temperature lead to the better color and texture of the samples. Osmotic dehydration improved different quality attributes (color, taste and texture) of final product compared with blank samples. Increase of samples Brix during osmotic dehydration process, indicates an increase in the transfer of sugar molecules into the samples tissue. Therefore, in sensory evaluation, the amount of taste sensory score increased with increasing osmotic processing time and temperature and osmotic solution concentration.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-22]

[DOI: 10.52547/fsct.18.117.65]