

اثر پیش تیمار اسمز - اولتراسونیک و خشک کردن تکمیلی با مایکروویو بر خصوصیات کیفی گیلاس سیاه خشک شده

زهرا کریمی^{*}، قاسم یوسفی و زهرا امام جمعه^{**}

^{*} نگارنده مسئول: گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ص. پ. ۳۸۶، تلفن: ۰۴۱۷۱۲۲۵۱۷۰۴، پیام‌نگار: z_karami_gua@yahoo.com

^{**} به ترتیب: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه گرگان؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد؛ و دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه تهران
تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۴

چکیده

در این پژوهش، اثر خشک کردن اسمزی با کاربرد اولتراسوند و دوره تکمیلی خشک کردن با مایکروویو روی خصوصیات کیفی (آنتوسیانین‌های پلیمری شده، آنتوسیانین‌های وارد شده به محیط اسمزی و بافت) گیلاس سیاه خشک شده بررسی شد. برای خشک کردن، از محلول اسمزی (آب، ساکارز) استفاده شد و به منظور رسیدن به یک فرآیند اسمز بهینه، غلظت قند در سه سطح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد و دما در سه سطح ۶۰، ۵۰ و ۴۰ درجه سلسیوس آزمایش شد. فرآیند اولتراسوند نیز در دو فرکانس ۶۵ و ۱۳۰ کیلوهرتز مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های گیلاس سیاه به منظور افزایش نفوذپذیری پوست، به مدت دو دقیقه در سود ۰/۵ مولار، غوطه‌ور شدند. برای خشک کردن تکمیلی نیز از مایکروویو با توان‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ وات استفاده شد. به منظور تعیین نقاط بهینه فرایند خشک کردن ترکیبی اولتراسوند- اسمزی- مایکروویو از روش سطح پاسخ استفاده شد. آزمایش‌ها بر اساس طرح کامپوزیت مرکزی اجرا شدند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که شرایط خشک کردن اثر معنی‌داری بر میزان آنتوسیانین پلیمری، آنتوسیانین هدر رفته و بافت گیلاس‌های سیاه خشک شده دارد (p < ۰/۰۵). شرایط بهینه برای به حداقل رساندن مقدار آنتوسیانین ورودی به محیط اسمزی در فرکانس ۴۰/۷ کیلوهرتز، دمای ۴۰ درجه سلسیوس و غلظت ۴۰ درصد می‌دهد و شرایط بهینه برای حداقل آنتوسیانین پلیمری در غلظت ۶۰ درصد، دمای ۴۴/۴۴ درجه سلسیوس، توان ۳۰۰ وات و بدون فرکانس به دست آمد.

واژه‌های کلیدی

آنتوسیانین، اسمز - اولتراسوند، بافت، گیلاس سیاه، مایکروویو

مقدمه

می‌شود (Vanhellemont, 2009). این میوه در حالت تازه‌خوری از لحاظ ارگانولپتیکی طعم و مزه گس و تلخ دارد، که یکی از اهداف این پژوهش خارج کردن این محصول از حالت بی‌طعمی، ایجاد مزه‌های شیرین و ملایم در آن و غلبه بر گسی میوه است. میوه گیلاس سیاه دارای یک پروفیل گوناگون از مواد فیتوشیمیایی شامل

گیلاس سیاه با نام علمی *Prunus serotina*، متعلق به جنس *Prunus* و زیردسته *Padus* می‌باشد، بومی نواحی شمال شرق آمریکا و کاناداست. میوه این درخت شبیه آلوی کوچک به قطر حدود یک سانتی‌متر است که رنگ آن در ابتدا سبز مایل به زرد و بعد از رسیدن، سیاه

بیشتر و از دست رفتن ویتامین ث، کاهش تولید آنتوسیانین‌های پلیمر شده و کاهش عطر محصولات خشک شده با میکروویو نسبت به سایر روش‌های دیگر کمتر بوده است (Askari et al., 2006). برخی محققین معتقدند که استفاده از خشک‌کن هوا و متعاقب آن میکروویو موجب بهبود شاخص‌های کیفی محصول می‌شود (Shamaei et al., 2009). آنتوسیانین‌ها، نسبت به سایر فلاونوئیدها مانند کوئرستین^۱، لوتئولین^۲، آپیژنین^۳ و کامپفرول^۴، سهم بیشتری از مصرف روزانه مردم را شامل می‌شوند. آنتوسیانین‌ها به دلیل داشتن ویژگی‌های ضد سرطانی، آنتی‌اکسیدانی، فعالیت ضد رگ‌زایی و ضد التهابی، به سالم ماندن بدن کمک می‌کنند و از این نظر با اهمیت‌اند (Kong et al., 2003). واکنش‌های پلیمریزاسیون آنتوسیانین‌ها به هنگام فراوری^۵ و انبارداری میوه‌ها و سبزی‌های حاوی آنتوسیانین، به‌آسانی رخ می‌دهد. بررسی جذب ترکیباتی با ساختارهای مشابه (آنتوسیانین‌ها) نشان می‌دهد که با افزایش میزان پلیمری شدن این ترکیبات، جذب آنها کاهش پیدا می‌کند. درباره اثر واکنش‌های پلیمریزاسیون روی ترکیب شیمیایی و خصوصیت آنتی‌اکسیدانی میوه acai نشان می‌دهد که پلیمریزاسیون روی خصوصیات جذبی و آنتی‌اکسیدانی میوه تأثیر می‌گذارد و به‌طور معنی‌داری آنها را کاهش می‌دهد (Pacheco-Palencia et al., 2010). سانوا و همکاران (Tsanova-Savova et al., 2002) اثر فرآیند پلیمریزاسیون آنتوسیانین‌ها را روی ثبات رنگ قرمز آب انگور بررسی کردند و نشان دادند که درخشندگی رنگ قرمز آب انگور به‌علت فرآیند پلیمریزاسیون آنتوسیانین مونومری کاهش می‌یابد که دلیل آن ترکیب آنتوسیانین‌ها با استالدهید، تانن و ترکیبات فنولیک و تشکیل شکل‌های پلیمری است و با افزایش پلیمریزاسیون نسبت رنگ قرمز کمتر می‌شود. بنابراین، آنتوسیانین پلیمری شاخصی برای تخریب آنتوسیانین‌هاست.

ترکیبات فنولیک، آنتوسیانین‌ها و ترپن‌هاست که این ترکیبات خاصیت ضد سرطان‌زایی دارند (Cinquanta et al., 2002; Olszewska, 2008).

یکی از روش‌های نگهداری مواد غذایی خشک کردن اسمزی است که در آن مادهٔ آبدار مورد نظر با ساختار جامد سلولی، در یک محلول غلیظ غوطه‌ور می‌شود. انتقال جرم در خلال تیمار اسمتیک از طریق غشاهای سلولی نیمه‌تراوای موجود در مواد بیولوژیکی اتفاق می‌افتد که این مقاومت غالب در برابر فرایند است (Mohammadpour Karizaki et al., 2013). در این زمان، غشاهای سلولی چروکیده و سلول‌ها دچار شکست می‌شوند و در نتیجه انتقال جرم افزایش می‌یابد و از آن جایی که غشا به‌طور کامل انتخاب‌پذیر نیست، دو انتقال جرم غیر هم‌سو به وجود می‌آید، یکی نفوذ آب از ماده غذایی به محلول اسمزی و دیگری نفوذ حل‌شونده از محلول اسمزی به مادهٔ غذایی. محلول قندی در فرایند اسمز به‌میزان قابل توجهی بافت را محافظت می‌کند و موجب کاهش گسیختگی سلول‌ها و چروکیدگی و همچنین سبب بهبود بازجذب آب طی آبیگری مجدد می‌شود (Noshad et al., 2012). در مرحلهٔ تکمیلی خشک کردن، خشک کردن با میکروویو در مقایسه با روش‌های حرارت‌دهی رایج، به‌علت مکانیسم حرارت‌دهی حجمی، بسیار سریع‌تر انجام می‌شود علاوه بر این، حرارت در داخل بافت ماده غذایی تولید می‌شود و نیازی به انتقال آن با روش‌های انتشار و رسانایی به داخل ماده غذایی نیست. برخی محققان گزارش کرده‌اند که مزیت عمدهٔ کاربرد انرژی میکروویو، نسبت به روش رایج، کارایی بسیار بالاتر آن در مرحله سرعت نزولی خشک کردن است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از انرژی میکروویو به‌صورت ترکیبی همراه با سایر روش‌های خشک کردن، موجب بهبود کیفیت فرآورده پایانی می‌شود. در بعضی موارد حذف پدیده سخت‌شدن سطح، تنش‌های داخلی، بازده

1- Quercetin
3- Apigenin
5-Processing

2- Luteolin
4- Aempferol

فرکانس ۶۵ و ۱۳۰ کیلوهرتز با توان ۱۰۰ درصد و دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس انجام شد. این پیش فرآیند (فرآیند اسمز-اولتراسونیک) به مدت ۱۴ ساعت انجام شد. سپس نمونه‌های خشک شده در محلول اسمزی تحت اولتراسوند هسته‌گیری و سپس در خشک‌کن مایکروویو با سه توان ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ وات قرار داده شدند و بر اساس کاهش رطوبت (۳-۴ درصد) از مایکروویو بیرون آورده شدند.

استخراج آنتوسیانین

آنتوسیانین به کمک اتانول همراه با اسید کلریدریک ۰/۱ مولار با نسبت ۱۵:۸۵ استخراج شد. به این صورت که ابتدا ۱۵ گرم از نمونه‌ها با ۲۰ میلی‌لیتر حلال مخلوط و به کمک مخلوط‌کن کاملاً همگن شد. سپس مخلوط‌کن با ۲۰ میلی‌لیتر حلال شسته و این مقدار حلال به نمونه بالا (۱۵ گرم نمونه گیلاس سیاه خشک شده و ۲۰ میلی‌لیتر حلال) اضافه شد. نمونه‌ها پس از نگهداری به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس نگه داشته شده و سپس سانتریفوژ شدند (۱۵ دقیقه، ۴۰۰۰ دور در دقیقه)، به نمونه‌ها باز هم ۵ میلی‌لیتر حلال اضافه و بار دیگر سانتریفوژ شدند (Stojanovic & Silva, 2007). آنتوسیانین با روش اختلاف pH در دو سطح ۱ و ۴/۵ و در دو طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر (سسیل، CE 2502، انگلستان) سنجیده شد. مقدار ۱ میلی‌لیتر از نمونه به دو بالن ۲۵ میلی‌لیتری ریخته شده و به ترتیب با تامپون‌های pH=۱ و pH=۴/۵ به حجم رسانده شدند. برای به تعادل رسیدن فرم‌های آنتوسیانین و تغییر شکل آنها در بافرهای مختلف، حدود ۱۵ دقیقه زمان لازم است که بعد از گذشت این مدت زمان جذب نمونه‌ها در کووت ۱۰ میلی‌متر با طول موج ۵۱۰ نانومتر خوانده شد. جذب در طول موج ۵۰۰ نانومتر (که طول موج ماکزیمم است) و نیز در طول موج ۷۰۰ نانومتر (برای حذف عوامل کدورت که ممکن است در نمونه باشند و خطا ایجاد کنند)

با توجه به مطالب ذکر شده در مورد اهمیت آنتوسیانین‌ها و نیز توجه به ناپایداری و حساسیت آنها، یافتن شرایط بهینه برای پایداری آنتوسیانین میوه گیلاس سیاه طی فرآیند خشک کردن، ضروری به نظر می‌رسد. در این بررسی، به منظور خشک کردن گیلاس سیاه از پیش تیمار اسمز-اولتراسونیک و خشک کردن تکمیلی با مایکروویو استفاده و اثر آن بر میزان آنتوسیانین‌های پلیمری شده، آنتوسیانین‌های وارد شده به محیط اسمزی و بافت نمونه‌های خشک شده تجزیه و تحلیل شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه: گیلاس سیاه (*Prunus Serotina*) از بازار محلی کرج خریداری و تا زمان آغاز فرآیند در یخچال با دمای سه درجه سلسیوس نگهداری شد. یک ساعت قبل از فرآیند، نمونه‌ها از یخچال بیرون آورده و در معرض دمای محیط قرار داده شدند. با شستن نمونه‌ها، مواد خارجی مثل گرد و خاک روی آنها به خوبی زدوده شدند. میوه‌ها بر اساس درجه رسیدگی، اندازه و رنگ دسته‌بندی شده، نمونه‌های نارس و آسیب دیده‌ها جدا شدند. گیلاس‌های سیاه تازه پس از شستشو با آب، با دستمال خشک، توزین و سپس در محلول سود ۰/۵ مولار به مدت دو دقیقه، به منظور افزایش نفوذپذیری پوسته، غوطه‌ور شدند. نمونه‌ها از محلول خارج و پس از شستشو با آب، خشک گردیدند.

سپس محلول اسمزی آب و ساکارز در سه غلظت ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد تهیه شد. نمونه‌ها به نسبت ۱ به ۱۰ (میوه به محلول) در محلول اسمزی قرار داده شدند. این پیش فرآیند (فرآیند اسمزی) در سه دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس انجام گرفت (Shamaei et al., 2012).

هم چنین بشره‌های حاوی محلول اسمزی در حمام اولتراسوند (الما، D-78224 Singen/ Htw مجهز به سنسور کنترل دما) قرار داده شدند. تیمار اولتراسوند در دو سطح

اندازه‌گیری شد که در این حالت‌ها هر کدام از جذب‌ها باید قبلاً با نمونه شاهد صفر شده باشد.

جذب نمونه مطابق رابطه ۱ محاسبه شد:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH 1} - (A_{510} - A_{700})_{pH 4.5} \quad (1)$$

آنتوسیانین کل مطابق رابطه ۲ محاسبه شد:

$$\text{Total anthocyanins (mg/L)} = \frac{(A \times MW \times DF \times 1000)}{\epsilon} \quad (2)$$

که در آن،

A = جذب نمونه محاسبه شده در بالا؛ MW = وزن مولکولی (بر حسب سیانیونین - ۳ - گالاکتوزید = ۵۰۲/۵)؛ DF = فاکتور رقت؛ و ϵ = جذب مولار است.

توجه به این نکته لازم است که MW و ϵ به آنتوسیانین غالب در نمونه بستگی دارد. اگر ترکیبات نمونه ناشناخته باشد محاسبات رنگ بر اساس سیانیدین - ۳ - گالاکتوزید ($\epsilon = 34700$ و $MW = 502/5$) خواهد بود (Stojanovic & Silva, 2007).

اندازه‌گیری آنتوسیانین پلیمری شده با اسپکتروفتومتر

برای محاسبه آنتوسیانین پلیمری در ۲ کووت به صورت جداگانه ۲/۸ میلی لیتر نمونه (محلول تهیه شده با روش قبلی از نمونه خشک گیلاس سیاه) ریخته شده، به یکی از این دو، ۰/۲ میلی لیتر متابی سولفیت پتاسیم ۲۰ درصد (تازه درست شده) اضافه شد. جذب برای همه نمونه‌ها در طول موج‌های ۴۲۰، ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر خوانده شد. پس از آن درصد پلیمری شدن آنتوسیانین با استفاده از رابطه‌های ۳، ۴ و ۵ محاسبه شد (Stojanovic & Silva, 2007).

$$CD = [(A_{420} - A_{700}) + (A_{510} - A_{700})] \times DF \quad (3)$$

که در آن،

CD = دانسیته رنگ نمونه کنترل (نمونه‌ای که به آن آب اضافه شد) (میلی گرم در لیتر)؛ A = میزان جذب نمونه در طول موج تنظیم شده؛ و DF = فاکتور رقت است.

$$PC = [(A_{420} - A_{700}) \text{ (میلی گرم در لیتر)}] \times DF + (A_{510} - A_{700}) \quad (4)$$

که در آن،

PC = رنگ پلیمری شده نمونه رنگ‌بری شده با متابی سولفیت پتاسیم است.

$$\text{Percent Polymeric Color} = (PC/CD) \times 100 \quad (5)$$

بافت‌سنجی

بافت نمونه‌های خشک شده با استفاده از دستگاه بافت‌سنج مدل اینستران (Hounsfield-H5KS) ساخت انگلستان سنجیده شد. بیشتر بودن نیروی وارد شده به معنی سفتی بافت نمونه گیلاس است. در بافت‌سنجی، این شرایط برقرار بود:

پروپ استوانه‌ای با قطر: دو میلی متر، سرعت حرکت آن: ۵۰ میلی متر بر دقیقه، بارسنج: ۵۰ نیوتن و نقطه پایان آزمون: ۱۰ میلی متر.

طرح آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

روش سطح پاسخ^۲ (RSM) مجموعه‌ای از روش‌های آماری است که در بهینه‌سازی فرآیندهایی به کار می‌رود و در آنها پاسخ مورد نظر تحت تأثیر تعدادی از متغیرها قرار می‌گیرد. شمای گرافیکی مدل ریاضی، سبب تعریف واژه "روش سطح پاسخ" شده است. با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش می‌یابد و کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها، قابل برآورد هستند. مهم‌ترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و

(X2)، دما (X3) و توان (X4) در سه سطح مورد ارزیابی قرار گرفت؛ در جدول‌های ۱ و ۲، متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آنها نشان داده شده است. سایر داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS آنالیز و گراف‌ها با نرم‌افزار Excel رسم شد. کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد.

متقابل فاکتورها بود، و به همین دلیل طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد. در این مطالعه، به منظور بررسی میزان آنتوسیانین‌های وارد شده به محیط اسمزی اثر متغیرهای مستقل شامل: غلظت ساکارز (X1)، فرکانس (X2) و دما (X3) و به منظور بررسی میزان آنتوسیانین‌های پلیمری شده اثر متغیرهای مستقل شامل فرکانس (X1)، غلظت

جدول ۱- متغیرهای فرایند اسمز-اولتراسونیک و سطوح آنها در طرح کامپوزیت مرکزی (آنتوسیانین هدر رفته)

متغیر	نماد	سطوح متغیر		
		-۱	۰	+۱
غلظت ساکارز (درصد)	X ₁	۴۰	۵۰	۶۰
فرکانس (کیلوهرتز)	X ₂	۰	۶۵	۱۳۰
دما (درجه سلسیوس)	X ₃	۴۰	۵۰	۶۰

جدول ۲- متغیرهای فرایند اسمز-اولتراسونیک و سطوح آنها در طرح کامپوزیت مرکزی (آنتوسیانین پلیمر شده)

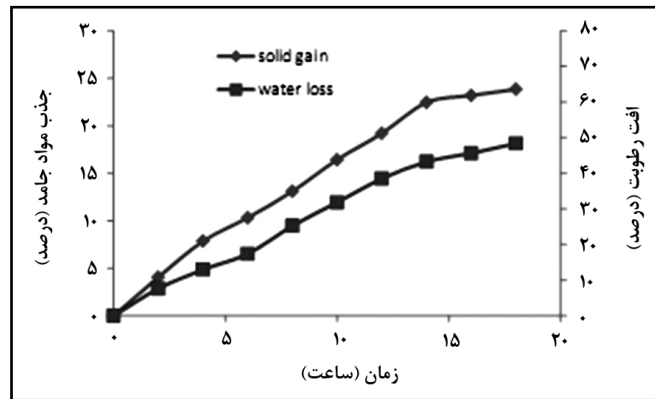
متغیر	نماد	سطوح متغیر		
		-۱	۰	+۱
فرکانس (کیلوهرتز)	X ₁	۰	۶۵	۱۳۰
غلظت ساکارز (درصد)	X ₂	۴۰	۵۰	۶۰
دما (درجه سلسیوس)	X ₃	۴۰	۵۰	۶۰
توان (وات)	X ₄	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰

محرکه برای جریان آب کاهش یافت. لایه‌های سطحی حاصل از مواد جامد اسمزی سبب ایجاد مقاومت در برابر انتقال جرم شد و به همین دلیل بعد از گذشت چندی به حالت ایستایی رسید. این حالت ایستایی در منحنی‌های از دست دادن آب و جذب مواد جامد قابل مشاهده است (Kargozari et al., 2010).

در شکل ۱ مشاهده می‌شود که میزان کاهش آب نمونه طی خشک کردن اسمزی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. بدین معنی که نمونه‌های گیلان سیاه با گذشت زمان رطوبت کمتری از دست دادند. خروج رطوبت در نمونه‌ها در زمان پس از ۱۴ ساعت، خیلی کم است که می‌توان از ادامه فرایند بیشتر صرفه نظر کرد و مدت زمان اسمز-اولتراسونیک را ۱۴ ساعت در نظر گرفت.

نتایج و بحث

طی فرایند آبیگری اسمزی گیلان سیاه، انتقال جرم با سه متغیر مستقل (غلظت محلول اسمزی، شدت فرکانس اولتراسوند و دما) هر کدام در سه سطح بررسی شد. مقدار رطوبت اولیه نمونه گیلان سیاه 1 ± 80 درصد (بر اساس وزن مرطوب) و مقدار ماده خشک آن 1 ± 20 درصد (بر اساس وزن مرطوب) محاسبه شد. در فرایند اسمزی مشاهده شد تا زمانی مشخص میزان از دست دادن آب و جذب مواد جامد انحلال پذیر افزایش یافته اما با گذشت زمان سرعت این فعل و انفعالات کاهش می‌یابد و سرانجام به حالت ایستا می‌رسد. لایه حاصل از مواد جامد تغلیظ شده در زیر سطح ماده غذایی باعث تغییر در گرادیان غلظت بین محلول و ماده غذایی شد و نیروی

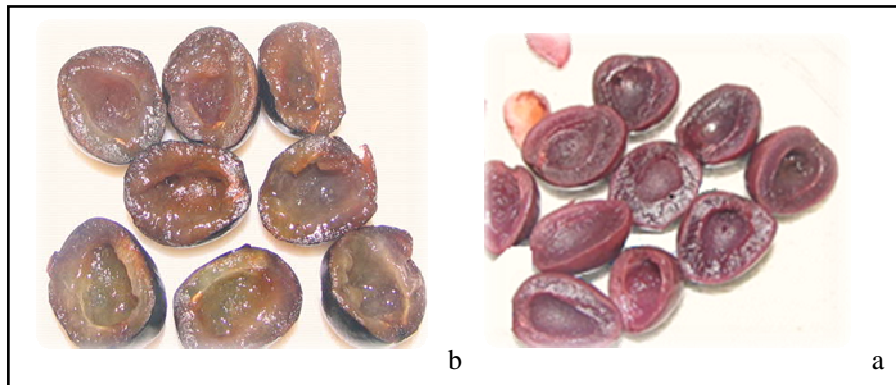


شکل ۱- افت آب و افزایش مواد جامد در فرایند اسمزی بدون اولتراسوند

اسمزی وارد و بخشی دیگر در داخل بافت پخش می‌شود (شکل ۲). این نکته، اهمیت اندازه‌گیری آنتوسیانین‌های وارد شده به محیط اسمزی را آشکار می‌کند. به این منظور از طرح آماری RSM برای به‌دست آوردن شرایطی با حداقل میزان آنتوسیانین وارد شده به محیط اسمزی، آنتوسیانین‌های هدر رفته^۱ استفاده شد.

آنتوسیانین‌های وارد شده به محیط اسمزی (آنتوسیانین‌های هدر رفته)

به‌نظر می‌رسد تیره‌تر بودن رنگ پوست گیلاس سیاه با متمرکز شدن آنتوسیانین‌های میوه آن در پوست میوه ارتباط دارد که هنگام قرار گرفتن در شرایط اسمز- اولتراسونیک بخشی از این ترکیبات به محیط



شکل ۲- (a) گیلاس سیاه پس از شرایط اسمز- اولتراسونیک، (b) گیلاس سیاه قبل از شرایط اسمز- اولتراسونیک

آنتوسیانین‌های وارد شده به محیط اسمزی و پارامترهای خشک کردن اسمز- اولتراسونیک، شامل فرکانس، دما و غلظت ساکارز را نشان می‌دهد.

$$Y_{\text{LossAC}} = 1177/71 + 78/68 X_2 + 316/81 X_2^2 + 268/91 X_3 - 30/188 X_1^2 + 159/38 X_2^2 - 221/14 X_3^2 + 87/83 X_1 X_2 - 20/07 X_2 X_3 + 107/79 X_2 X_3 \quad (6)$$

نتایج نشان می‌دهد که اثر خطی دما و فرکانس و اثر

با توجه به نقاط تعریف شده در طرح RSM، آزمون‌های مربوط اجرا شد. در جدول ۳ نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های تعیین میزان آنتوسیانین‌های وارد شده به محیط اسمزی ارائه شده است. در مرحله بعد داده‌های به‌دست آمده از آزمون‌های مختلف با روش سطح پاسخ تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج تجزیه و تحلیل، مقدار رگرسیون خوبی (R²=0/869) را نشان می‌دهد. رابطه ۶، روابط بین میزان

درجه دوم غلظت ساکارز تأثیر معنی داری بر میزان آنتوسیانین‌های وارد شده به محیط اسمزی دارند ($P < 0/05$). در مورد اثرهای متقابل، هیچ یک از متغیرها معنی دار نیست. برای بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از نمودار ۳ بعدی سطح پاسخ رسم شده با مدل استفاده شد. در هر دو نمودار اثر دو متغیر در حالتی بررسی شده که متغیر سوم در نقطه مرکزی قرار دارد.

جدول ۳- نتایج آزمون در نقاط مشخص شده با طرح کامپوزیت مرکزی (آنتوسیانین وارد شده به محیط اسمزی)

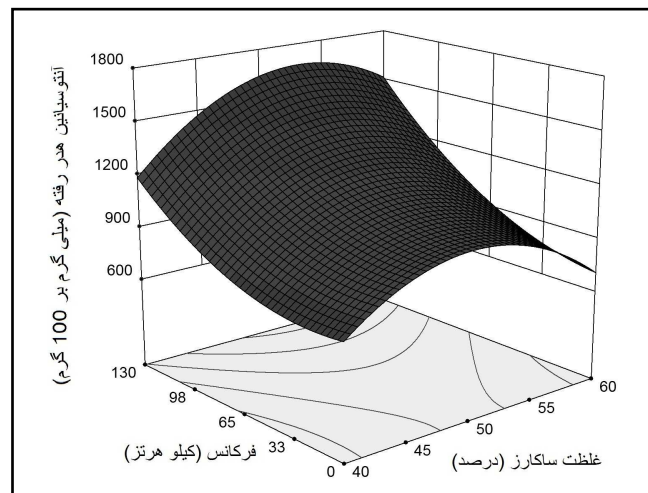
تیمار	غلظت ساکارز (x_1) (درصد)	فرکانس (x_2) (کیلوهرتز)	دما (x_3) (درجه سلسیوس)	آنتوسیانین هدر رفته
۱	۴۰	۰	۴۰	۲۲۸/۳۱
۲	۵۰	۱۳۰	۵۰	۱۵۰/۱۸۷
۳	۴۰	۱۳۰	۶۰	۱۴۰/۳۲
۴	۵۰	۶۵	۵۰	۱۱۹۲/۱۶
۵	۵۰	۶۵	۵۰	۱۲۵۰/۰۹
۶	۶۰	۶۵	۵۰	۱۲۰۳/۱۹
۷	۵۰	۰	۵۰	۱۰۶۳/۶۴
۸	۴۰	۰	۶۰	۶۹۴/۳۷
۹	۵۰	۶۵	۴۰	۸۰۷/۷
۱۰	۴۰	۶۵	۵۰	۷۳۹/۷۳
۱۱	۶۰	۰	۴۰	۲۶۰/۰۹
۱۲	۵۰	۶۵	۵۰	۹۱۷/۰۲
۱۳	۶۰	۱۳۰	۶۰	۱۷۰۳/۱۲
۱۴	۶۰	۱۳۰	۴۰	۸۸۶/۱۷
۱۵	۵۰	۶۵	۵۰	۱۱۳۹/۰۷
۱۶	۵۰	۶۵	۵۰	۹۹۴/۲۵
۱۷	۴۰	۱۳۰	۴۰	۶۸۶/۰۲
۱۸	۵۰	۶۵	۵۰	۱۱۹۱/۱۶
۱۹	۶۰	۰	۶۰	۴۶۲/۹۴
۲۰	۵۰	۶۵	۶۰	۱۲۹۶/۶۹

شکل مواد جامد متخلخل مانند میوه‌ها و ایجاد کانال‌های میکرو و کاهش ضخامت لایه مرزی می‌شود، همه این موارد به افزایش انتقال جرم در میوه می‌انجامد (Fernandes et al., 2008). مطابق شکل ۳، با افزایش غلظت، میزان آنتوسیانین وارد شده به محیط اسمزی افزایش پیدا می‌کند و کمترین میزان آنتوسیانین وارد شده به محیط اسمزی در غلظت ۴۰ درصد و بیشترین آن در غلظت‌های ۵۵-۵۰ درصد مشاهده شده است. در غلظت‌های بالاتر، تفاوت چندانی در میزان ورود

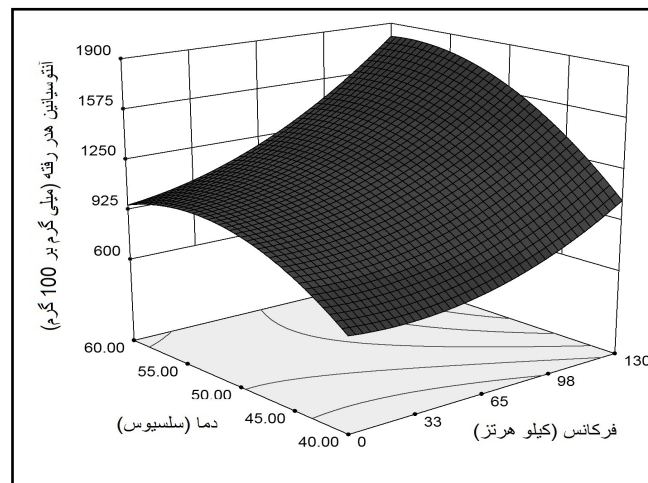
میزان آنتوسیانین کل در میوه گیلاس سیاه تازه ۳۷۶۵ میلی‌گرم در صد گرم محاسبه شد. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده، میزان آنتوسیانین وارد شده به محیط اسمزی با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد که این موضوع می‌تواند به دلیل کاویتاسیون تولید شده بر اثر امواج صوتی باشد. کاویتاسیون عبارت است از تشکیل و فروپاشی حباب در مایع که می‌تواند به حذف آب متصل کمک کند. سرعت کاویتاسیون و انقباض و انبساط‌های متوالی بستگی به فرکانس اولتراسوند دارد و سبب تغییر

داده‌اند که وقتی غلظت ساکارز تا ۲۰ درصد بالا رود، پایداری آنتوسیانین‌های توت فرنگی نیز افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، با افزایش دما از ۴۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس و افزایش فرکانس، میزان بیشتری از آنتوسیانین‌ها وارد محیط اسمزی می‌شود. افزایش دما با شکستن اجزای سلولی سلول‌های گیاهی منجر به افزایش نفوذپذیری غشای سلولی می‌شود که در نتیجه باعث تسهیل در خروج آنتوسیانین‌ها خواهد شد (Wang et al., 2008). این نتایج با نتایج تحقیقات لی و همکاران (Lee et al., 2002) و رسی و همکاران (Rossi et al., 2003) مطابقت دارد.

آنتوسیانین به محیط اسمزی دیده نمی‌شود، هر چند با افزایش قندها، پایداری آنتوسیانین‌ها در میوه کاهش پیدا می‌کند، مثال مشخص از تولیدات و محصولات تخریبی حاصل توسط قندها، فورفورال است (Nikkhah et al., 2012). نتایج تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که اضافه کردن قندها و نمک‌ها اثر منفی روی پایداری آنتوسیانین دارد (Rosso & Mercadante, 2007). واکنش‌های آنتوسیانین‌ها با تولیدات تخریبی قندها، باعث شکل‌گیری رنگیزه‌های پلیمری قهوه‌ای می‌شود (Krifi et al., 2000). اثر قند اضافه شده روی پایداری آنتوسیانین بستگی به ساختار آن، غلظت و نوع قند دارد. نیکخواه و همکاران (Nikkhah et al., 2012) گزارش



شکل ۳ - نمودار سه‌بعدی میزان آنتوسیانین‌های هدر رفته (میلی گرم بر ۱۰۰ گرم) در برابر غلظت ساکارز (درصد) و فرکانس (کیلوهرتز)



شکل ۴ - نمودار سه‌بعدی میزان آنتوسیانین‌های هدر رفته (میلی گرم بر ۱۰۰ گرم) در برابر دما (درجه سلسیوس) و فرکانس (کیلوهرتز)

اثر پیش تیمار اسمز-اولتراسونیک و خشک کردن...

آنتوسیانین‌های پلیمری
 با توجه به نقاط تعریف شده در طرح RSM، آنتوسیانین پلیمری شده اندازه‌گیری شد. در جدول ۴، نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های تعیین میزان آنتوسیانین‌های پلیمری شده ارائه شده است. در مرحله بعدی داده‌های به‌دست آمده از آزمون‌های مختلف با روش سطح پاسخ آنالیز و ضرایب رگرسیونی نیز تخمین زده شدند.

جدول ۴- نتایج آزمون آنتوسیانین پلیمری شده در نقاط مشخص شده با طرح کامپوزیت مرکزی

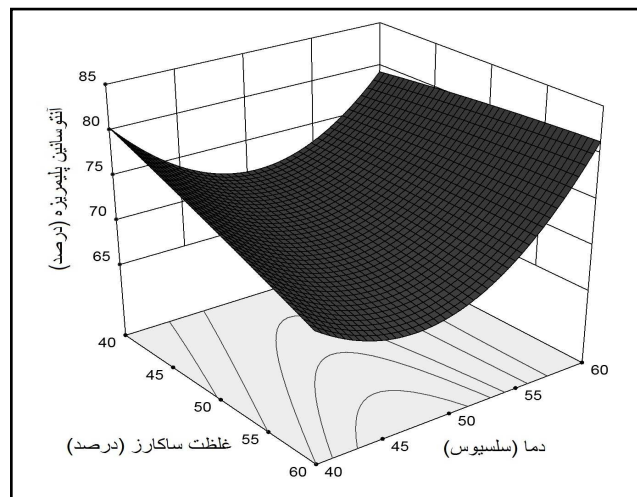
تیمار	فرکانس (x1) (کیلوهرتز)	غلظت (x2) درصد	دما (x3) (درجه سلسیوس)	توان (x4) (وات)	آنتوسیانین پلیمری شده (درصد)
۱	۶۵	۵۰	۵۰	۲۰۰	۷۰/۷
۲	۱۳۰	۴۰	۶۰	۳۰۰	۵۶/۶
۳	۱۳۰	۶۰	۶۰	۱۰۰	۷۷
۴	۰	۴۰	۶۰	۳۰۰	۵۶/۹
۵	۶۵	۵۰	۵۰	۱۰۰	۷۶/۸
۶	۶۵	۵۰	۵۰	۲۰۰	۶۹/۸
۷	۱۳۰	۴۰	۴۰	۳۰۰	۶۰/۵
۸	۰	۵۰	۵۰	۲۰۰	۵۷
۹	۰	۶۰	۴۰	۳۰۰	۳۱/۸
۱۰	۰	۴۰	۴۰	۱۰۰	۷۳/۴
۱۱	۶۵	۵۰	۵۰	۲۰۰	۷۲
۱۲	۶۵	۵۰	۵۰	۳۰۰	۵۰/۹
۱۳	۱۳۰	۶۰	۴۰	۱۰۰	۷۵/۴
۱۴	۶۵	۴۰	۵۰	۲۰۰	۷۱/۲
۱۵	۱۳۰	۶۰	۴۰	۳۰۰	۴۸/۴
۱۶	۶۵	۵۰	۵۰	۲۰۰	۷۱/۷
۱۷	۰	۶۰	۴۰	۱۰۰	۶۹/۵
۱۸	۰	۴۰	۶۰	۱۰۰	۷۶/۸
۱۹	۶۵	۵۰	۶۰	۲۰۰	۷۸/۴
۲۰	۰	۶۰	۶۰	۳۰۰	۵۰/۹
۲۱	۰	۴۰	۴۰	۳۰۰	۵۰/۵
۲۲	۱۳۰	۴۰	۴۰	۱۰۰	۷۸/۵
۲۳	۶۵	۵۰	۵۰	۲۰۰	۶۷/۴
۲۴	۶۵	۵۰	۵۰	۲۰۰	۶۷/۹
۲۵	۶۵	۵۰	۵۰	۲۰۰	۷۲/۷
۲۶	۰	۶۰	۶۰	۱۰۰	۷۷/۷
۲۷	۱۳۰	۴۰	۶۰	۱۰۰	۷۰/۱
۲۸	۱۳۰	۶۰	۶۰	۳۰۰	۶۲/۷
۲۹	۶۵	۶۰	۵۰	۲۰۰	۶۷/۳
۳۰	۶۵	۵۰	۴۰	۲۰۰	۷۷/۱
۳۱	۱۳۰	۵۰	۵۰	۲۰۰	۶۴/۱

درصد میزان آنتوسیانین‌های پلیمری شده تفاوت معنی‌داری ندارد. همچنین با افزایش دما از ۴۰ به ۵۰ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری در میزان آنتوسیانین‌های پلیمری دیده نمی‌شود و حتی مقادیر ناچیزی کاهش پیدا می‌کند ولی با افزایش دما از ۵۰ به ۶۰ درجه سلسیوس میزان پلیمری‌شدن آنتوسیانین‌ها افزایش می‌یابد که این نتیجه با یافته‌های خانال و همکاران (Khanal *et al.*, 2010) هم‌خوانی دارد. استفاده از اولتراسوند در کلیه دماها، پلیمری شدن را در مقایسه با فرایند بدون اولتراسوند، افزایش می‌دهد. فرایند اولتراسوند منجر به افزایش پلیمری شدن آنتوسیانین‌ها می‌شود و این پدیده با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد ولی در فرکانس‌های بالاتر به علت کوچک شدن طول موج و کاهش نفوذ آن به داخل بافت و کم شدن شدت تأثیر انبساط و انقباض، مقدار آنتوسیانین پلیمری کاهش پیدا می‌کند (شکل ۵ و ۶). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که با استفاده مایکروویو و افزایش توان آن، پلیمری‌شدن آنتوسیانین کاهش می‌یابد. همچنین استفاده از اولتراسوند در کلیه توان‌ها (نسبت به تیمار بدون اولتراسوند) و افزایش فرکانس آن، به افزایش پلیمری‌شدن می‌انجامد (شکل ۷). نتایج این آزمون با نتایج تحقیقات شامعی و همکاران (Shamaei *et al.*, 2009) مطابقت دارد.

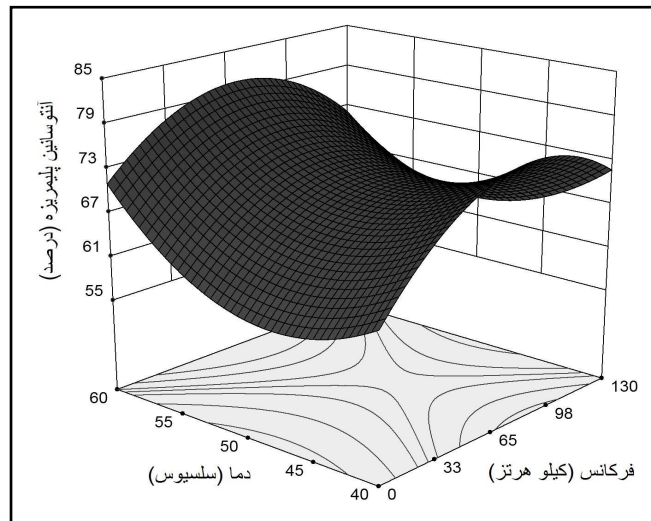
آنالیز سطح پاسخ داده‌ها نشان می‌دهد که روابط بین آنتوسیانین‌های پلیمری شده و پارامترهای خشک‌کردن اسمز-اولتراسونیک با خشک کردن تکمیلی مایکروویو از نوع درجه دوم با ضریب رگرسیون مناسب ($R^2 = 0/98$) است. رابطه ۷، رابطه بین آنتوسیانین پلیمری شده و پارامترهای خشک کردن را نشان می‌دهد.

$$Y_{ACP} = 331/53 + 0/288X_1 + 1/173 X_2 - 9/666X_3 - 0/09X_4 - 0/002X_1^2 - 0/002X_2^2 + 0/083X_3^2 - 0/001X_4^2 + 0/002X_1X_2 - 0/003X_1X_3 + 0/0029X_2X_3 - 0/002X_2X_4 + 0/002X_3X_4 \quad (7)$$

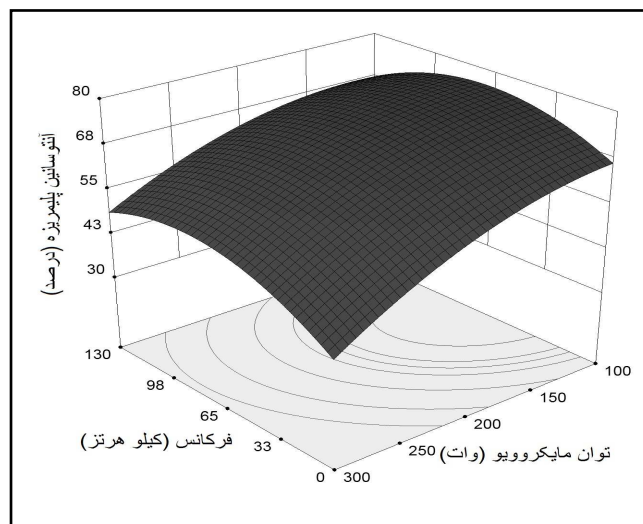
شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نمودار فضایی اثر فرکانس، غلظت، دما و توان مایکروویو را بر میزان آنتوسیانین‌های پلیمری شده نشان می‌دهد. آنتوسیانین پلیمری شاخصی برای تخریب آنتوسیانین‌هاست. فرکانس و دما تأثیرات معنی‌داری درجه اول و توان، فرکانس و دما اثرات معنی‌داری درجه دوم را بر میزان آنتوسیانین‌های پلیمری نشان می‌دهند ($p < 0/05$). همچنین، برهم‌کنش‌ها بین فرکانس و دما، فرکانس و توان، غلظت و دما، غلظت و توان، دما و توان تأثیراتی معنی‌دار بر میزان آنتوسیانین‌های پلیمری شده نشان می‌دهند ($p < 0/05$). نتایج نشان می‌دهد که با افزایش غلظت قند از ۴۰ به ۶۰



شکل ۵- نمودار سه‌بعدی میزان آنتوسیانین پلیمری شده (درصد) در برابر دما (درجه سلسیوس) و غلظت ساکارز (درصد)



شکل ۶- نمودار سه بعدی میزان آنتوسیانین های پلیمری شده (درصد) در برابر دما (درجه سلسیوس) و فرکانس (کیلوهرتز)



شکل ۷- نمودار فضایی میزان آنتوسیانین های پلیمری شده (درصد) در برابر فرکانس (کیلوهرتز) و توان (وات) بهینه سازی

غلظت ۴۰ درصد به دست آمد. میزان مطلوبیت به دست آمده برای کمترین میزان آنتوسیانین پلیمری شده ۱۰۰ درصد است. این مقادیر بهینه در غلظت ۶۰ درصد، دمای ۴۴/۴۴ درجه سلسیوس، توان ۳۰۰ وات و بدون فرکانس به دست آمد.

بافت گیلان سیاه خشک شده

آزمایش فشار یکی از متداول ترین روش های ارزیابی و تجزیه تحلیل بافت است. ساده ترین کار در این مورد اندازه گیری حداکثر فشار مورد نیاز برای تخریب بافت ماده

متغیرهای وابسته بهینه سازی شدند و برای دستیابی به کمینه آنتوسیانین های پلیمری شده طی خشک کردن اسمز- اولتراسونیک همراه با خشک کردن تکمیلی با مایکروویو و آنتوسیانین های وارد شده به محیط اسمزی طی فرایند خشک کردن اسمز- اولتراسونیک میوه گیلان سیاه، نقاط اپتیمم به دست آمدند. میزان مطلوبیت به دست آمده برای کمترین میزان آنتوسیانین ورودی به محیط اسمزی ۹۷ درصد است. این مقادیر بهینه در فرکانس ۴۰/۷ کیلوهرتز، دمای ۴۰ درجه سلسیوس و

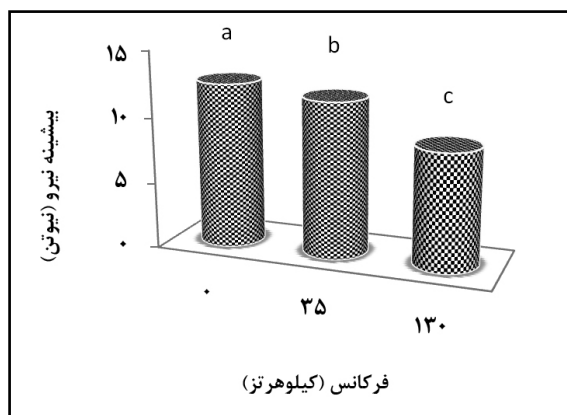
به دلیل فشار بخار زیادی که در آن ایجاد خواهد شد باد می‌کند و پس از چند ثانیه به حالت اول بر می‌گردد، در بازگشت به حالت اول، به دلیل تخریب زیاد، دیواره سلولی نمی‌تواند خود را حفظ کند و مجدداً منافذ مسدود و بافت سفت‌تر خواهد شد (Shamaei et al, 2009).

بررسی شکل ۹ نشان می‌دهد که افزایش دما منجر به ایجاد بافت نرم‌تر در میوه می‌شود که می‌تواند به دلیل اثر دما بر گرادیان فشار اسمزی و در نتیجه ایجاد بافت متخلخل در میوه، افزایش افت کلسیم و جذب مواد جامد نیز باشد. اسمز و اولتراسوند نیز با افزایش دما همان روند بدون اولتراسوند را دنبال می‌کنند. همانند قبل، استفاده از فرایند اولتراسوند به دلیل افزایش تخریب دیواره سلولی و ایجاد میکرو کانال و بافت اسفنجی در نمونه، افزایش افت کلسیم و جذب مواد جامد باعث کاهش بیشینه نیرو می‌شود (Shamaei et al., 2009).

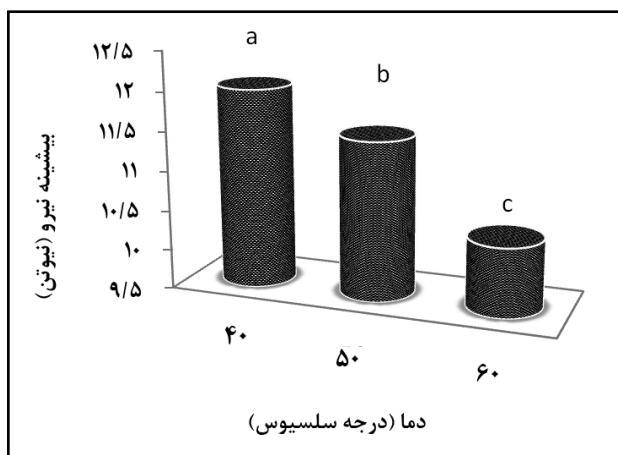
نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش غلظت قند، بیشینه نیرو کاهش می‌یابد زیرا مطابق نتایج پژوهشگران پیشین تخلخل نمونه‌های اسمز شده، به ویژه نمونه‌های فرایند شده در محلول ساکارز، با افزایش غلظت ساکارز افزایش می‌یابد. در غلظت‌های بالا کاهش رطوبت^۱ در مقایسه با جذب مواد جامد^۲ بیشتر است. با توجه به این واقعیت، قندها قادر به پوشاندن فضاهای خالی نیستند (Shamaei et al., 2012). علاوه بر این، مقادیر بالای تخلخل طی خشک کردن را می‌توان به بالاتر بودن ویسکوزیته ماتریس بافتی طی فرایند خشک کردن با هوای گرم نسبت داد که مانع از ریزش و افتادگی لایه‌های بافت می‌شود. همین‌طور، با افزایش غلظت قند و در نتیجه گرادیان فشار اسمزی، افت کلسیم از نمونه به محیط بیشتر می‌شود و این خود نرم شدن بافت را در پی دارد (شکل ۱۰).

غذایی است. اصطلاحات کیفی پیچیده نظیر سختی و قابلیت جویدن، با روش‌هایی پیچیده مانند تجزیه تحلیل پروفیل تخریب بافت کمی می‌شود. آزمایش فشار به وسیله اعمال تغییر شکل با سرعتی ثابت و اندازه‌گیری نیروی مورد نیاز برای تغییر شکل و میزان تغییر شکل حاصل، انجام می‌گیرد و سپس منحنی‌های تنش- تغییر شکل رسم شود. آزمایش فشار تا هنگام تخریب نمونه ادامه می‌یابد. رفتارهای بافتی تا حدود زیادی به ساختمان ماده غذایی بستگی دارد. ویژگی‌های بافتی به خصوصیات شیمیایی و بیوفیزیکی محصول نیز وابسته است. خصوصیات رئولوژیکی مواد غذایی خشک شده حین آزمایش فشار و تحلیل کرنش بررسی شده است. هر دو آزمایش طبیعت ویسکوالاستیک مواد غذایی خشک شده نظیر پارامترهای الاستیسیته از جمله مدول الاستیسیته را ارزیابی می‌کنند (Mujumdar, 2000). با دستگاه بافت‌سنج اینسترون، نیروی بیشینه در نمونه‌های خشک شده با اسمز- اولتراسونیک و خشک کردن تکمیلی با مایکروویو، اندازه‌گیری شد که نتایج آن در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ گزارش شده است. استفاده از فرایند اولتراسوند باعث کاهش بیشینه نیرو می‌شود که دلیل آن تخریب شدید سلولی و ایجاد میکرو کانال و بافت اسفنجی در نمونه، افزایش افت کلسیم و افزایش جذب مواد جامد است. شکل ۸ نشان می‌دهد که با افزایش فرکانس از ۶۵ کیلوهرتز به ۱۳۰ کیلوهرتز، بیشینه نیروی کمتری به دست می‌آید؛ زیرا در این فرکانس تخریب بیشتری اتفاق می‌افتد و حفره‌های بیشتری در بافت ایجاد می‌شود (Shamaei et al., 2009). با افزایش توان، بیشینه نیرو افزایش می‌یابد و این اثر در ۱۳۰ بسیار نمایان است که دلیل آن افزایش تخریب دیواره سلولی با افزایش فرکانس است و زمانی که از مایکروویو با توان ۳۰۰ وات استفاده می‌شود، نمونه

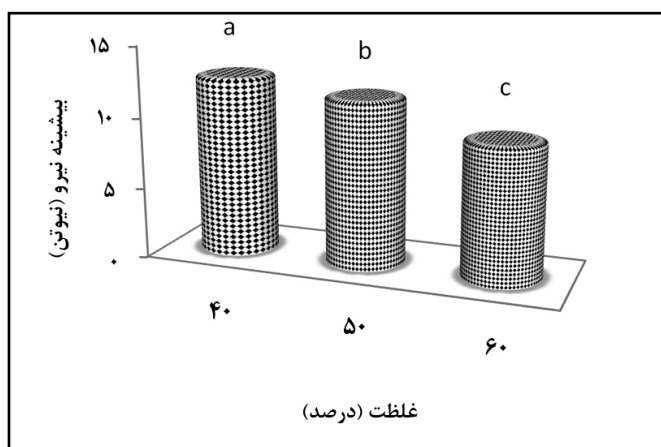
اثر پيش تیمار اسمز- اولتراسونیک و خشک کردن...



شکل ۸- میزان بیشینه نیرو در فرکانس‌های (کیلوهرتز) و توان‌های میکروویو متفاوت (وات) میانگن‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۹- میزان بیشینه نیرو در دماهای متفاوت (درجه سلسیوس) میانگن‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۱۰- میزان بیشینه نیرو در غلظت‌های متفاوت ساکارز میانگن‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری

فرکانس با مطلوبیت ۱۰۰ درصد به‌دست می‌آید. خشک‌کردن در شرایط بهینه ارائه شده توسط مدل در سه تکرار اجرا شد و نتیجه با مقدار پیش‌بینی شده توسط آن مقایسه گردید. میزان آنتوسیانین پلیمری و آنتوسیانین ورودی به محیط اسمزی پیش‌بینی شده مدل به‌ترتیب ۳۰/۸۷ درصد و ۲۶۵/۹۹ میلی‌گرم در صد گرم و نتایج حاصل از آزمایش‌های اجرا شده در این شرایط به‌ترتیب ۳۰/۹۲±۰/۲ درصد و ۲۶۴±۲ گرم است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مدل توانسته است تا حدود زیادی اثر متغیرهای توان مایکروویو، دما، غلظت ساکارز و فرکانس اولتراسوند را بر خصوصیات ذکر شده گیلاس سیاه خشک شده پیش‌بینی کند. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که اثر غلظت ساکارز، دما و فرکانس روی خصوصیات کیفی بافت معنی‌دار است و در خشک کردن تکمیلی با مایکروویو در توان‌های بالاتر سفتی بیشتر بافت را سبب می‌شود.

در این پژوهش، از خشک کردن اسمزی همراه با اولتراسوند و خشک کردن تکمیلی با مایکروویو برای گیلاس سیاه استفاده و دو موضوع بررسی شد: یکی اثر فرآیند اسمز- اولتراسونیک روی از دست دادن آنتوسیانین و ورود آن به محیط اسمزی و دیگری اثر اسمز- اولتراسونیک به‌همراه خشک کردن تکمیلی با مایکروویو روی میزان آنتوسیانین‌های پلیمری شده گیلاس سیاه خشک شده و بافت میوه خشک شده با استفاده از دستگاه بافت‌سنج اینسترون. نتایج بهینه‌سازی با RSM نشان می‌دهد که کمترین میزان آنتوسیانین ورودی به محیط اسمزی در فرکانس ۴۰/۷ کیلوهرتز، دمای ۴۰ درجه سلسیوس و غلظت ۴۰ درصد با مطوبیت ۹۷ درصد و کمترین میزان آنتوسیانین پلیمری در غلظت ۶۰ درصد، دمای ۴۴/۴۴ درجه سلسیوس، توان ۳۰۰ وات و بدون

مراجع

- Askari, G. A., Emam-Djomeh, Z. and Mousavi, S. M. 2006. Effect of combined coating and microwave assisted hot-air drying on the texture, microstructure and rehydration characteristics of apple slices. *J. Food Sci. Technol.* 12(1): 39-46.
- Cinquanta, L., Matteob, M. D. and Estia, M. 2002. Physical pre-treatment of plums (*Prunus domestica*). Part 2. Effect on the quality characteristics of different prune cultivars. *Food Chem.* 79, 233-238.
- Fernandes, F. A. N., Gallaõ, M. I. and Rodrigues, S. 2008. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration. *LWT. Food Sci. Technol.* 41(4): 604-610.
- Kargozari, M., Moini, S. and Emam-Djomeh, Z. 2010. Prediction of some physical properties of osmodehydrated carrot cubes using response surface methodology. *J. Food Process. Pres.* 34(6): 1041-1063.
- Kong, J., Chia, L., Goh, N., Chia, T. and Brouillard, R. 2003. Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry.* 64, 923-933.
- Krifi, B., Chouteau, F., Boudrant, J. and Metche, M. 2000. Degradation of anthocyanins from blood orange juices. *Int. J. Food Sci. Technol.* 35(3): 275-283.
- Lee, J., Durst, R. W. and Wrolstad, R. E. 2002. Impact of juice processing on blueberry anthocyanin and polyphenolics: comparison of two pretreatments. *J. Food Sci.* 67, 1660-1667.

- Marquis, D. A. 1990. Black Cherry *Prunus Serotina* Ehrh. In: Burns, R. M. and Honkala, B. H. (Eds.) *Silvics of Forest Trees in the United States. Agriculture Handbook 654. Vol. 2: Hardwoods.* United States Department of Agriculture. Forest Service. Washington, D. C.
- Mohammadpour Karizaki, V., Sahin, S., Sumnu, G., Mosavian, M. T. H. and Luca. A. 2013. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration as a pretreatment on deep fat frying of potatoes. *Food Bioprocess. Technol.* 6, 3554-3563.
- Mujumdar, A. S. 2000. *Drying Technology in Agricultural and Food Science.* Publishers Inc. Plymoth. UK.
- Nikkhah, E., Khayyami, M. and Heidari, R. 2012. Effect of some chemicals on stability of anthocyanins from blackberry (*Morus nigra*). *Iranian J. biology* 25, 32-43. (in Farsi)
- Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F. and Mortazavi, S. A. 2012. Effect of osmosis and ultrasound pretreatment on the moisture adsorption isotherms of quince. *Food Bioprod. Process.* 90, 266-274.
- Olszewska, M. 2008. Optimization and validation of an HPLC-UV method for analysis of corosolic, oleanolic, and ursolic acids in plant material: Application to *Prunus serotina* Ehrh. *Acta Chromatogr.* 20(4): 643-659.
- Pacheco-Palencia, L. A., Susanne, U., Mertens-Talcott, S. U. and Talcott, S. T. 2010. In vitro absorption and antiproliferative activities of monomeric and polymeric anthocyanin fractions from açai fruit (*Euterpe oleracea* Mart.). *Food Chem.* 119, 1071-1078.
- Rossi, M., Giussani, E., Morelli, R., Scalzo, R. L., Nani, R. C. and Torreggiani, D. 2003. Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice. *Food Res. Int.* 36, 999-1005.
- Rosso, V. V. and Mercadante, A. Z. 2007. Evaluation of colour and stability of anthocyanins from tropical fruits in an isotonic soft drink system. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 8, 347-352.
- Shamaei, S., Emam-Djomeh, Z. and Moeini, S. 2009. Prediction of quality properties of dried cranberry with combination methods of ultrasound-osmotic-microwave using neural networks. M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Tehran University. Karaj. Iran. (in Farsi)
- Shamaei, S., Emam-Djomeh, Z. and Moini, S. 2012. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of cranberries: effect of finish drying methods and ultrasonic frequency on textural properties. *J. Texture Stud.* 43,133-141.
- Stojanovic, J. and Silva, J. 2007. Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chem.* 101, 898-906.
- Tsanova-Savova, S., Dimovw, S. and Ribarova, F. 2002. Anthocyanins and color variables of Bulgarian aged red wines. *J. Food Comp. Anal.* 15(6): 647-654.
- Vanhellemont, M. 2009. Present and future population dynamics of *Prunus serotina* in forests in its introduced range. Ph. D. Thesis. Ghent University. Ghent. Belgium.
- Wang, J., Sun, B., Cao, Y., Tian, Y. and Li, X. 2008. Optimisation of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from wheat bran. *Food Chem.* 106, 804-810.

Effect of Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration and Microwave Drying on Quality of Dried Black Cherries

Z. Karami^{*}, Gh. Yousofi and Z. Emam-Djomeh

* Corresponding Author: M. Sc. of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. P. O. Box: 386. E-mail: z_karami_gua@yahoo.com

Received: 8 September 2012, Accepted: 4 May 2013

The effect of microwave-assisted finish drying following osmotic dehydration with the application of ultrasound was investigated. Qualitative characteristics of dried black cherries (polymeric anthocyanin, loss of anthocyanin into osmotic solution, texture) were determined. Osmotic dehydration was done in osmotic solution (sucrose-water) with concentrations of 40%, 50%, and 60% sucrose. Osmotic dehydration was determined at 40, 50 and 60 °C. The influence of ultrasonic frequency at 65 and 130 KHz was also studied. To increase the permeability of skin of the black cherries, they were dipped in NaOH (0.5 mol) for 2 min. Microwave drying was done at 100 W, 200 W and 300 W to complete the drying process. Response surface methodology was used to optimize the osmotic-ultrasound-microwave drying conditions of the black cherry to achieve minimum loss of anthocyanin into the osmotic solution and polymeric anthocyanin. Experiments used a central composite rotatable design. The results showed that drying condition had a significant effect on anthocyanin loss, polymeric anthocyanin, and texture after dehydration. The optimal conditions for minimum anthocyanin loss were a temperature of 40°C, 40% concentration and ultrasonic frequency of 40.7 kHz. The optimal conditions for minimum polymeric anthocyanin were a temperature of 44.44°C, 60% concentration, 300 W of power and no ultrasonic frequency.

Keywords: Anthocyanin, Black cherries, Microwave, Texture, Ultrasound-osmotic